

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
Área de concentração: Infraestrutura e Meio Ambiente

Tese de Doutorado

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO EM SUSTENTABILIDADE
UTILIZADO EM PROCESSOS DE MANUFATURA

Leandro Dóro Tagliari

Passo Fundo

2020



Leandro Dóro Tagliari

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO EM SUSTENTABILIDADE
UTILIZADO EM PROCESSOS DE MANUFATURA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia, sob a orientação do Prof. Dr. Vandrê Barbosa Brião e coorientação do Prof. Dr. Rodrigo Panosso Zeilmann.

Passo Fundo

2020

CIP – Catalogação na Publicação

T126a Tagliari, Leandro Dóro
Avaliação do desempenho em sustentabilidade utilizado
em processos de manufatura / Leandro Dóro Tagliari. – 2020.
290 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Vandré Barbosa Brião.
Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo Panosso Zeilmann.
Tese (Doutor em Engenharia) – Universidade de Passo
Fundo, 2020.

1. Sustentabilidade. 2. Processos de fabricação. 3. Processo
decisório. 4. Método AHP. I. Brião, Vandré Barbosa,
orientador. II. Zeilmann, Rodrigo Panosso, coorientador.
III. Título.

CDU: 621.9

Catalogação: Bibliotecário Luís Diego Dias de S. da Silva – CRB 10/2241

Leandro Dóro Tagliari

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO EM SUSTENTABILIDADE
UTILIZADO EM PROCESSOS DE MANUFATURA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do título de Doutor (a).

Aprovação em 15 de dezembro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Drº. Vandrê Barbosa Brião
Universidade de Passo Fundo (UPF)

Prof. Drº. Rodrigo Panosso Zeilmann
Universidade de Caxias do Sul (UCS)

Prof. Drº. Jeferson Stefanello Piccin
Universidade de Passo Fundo (UPF)

Prof. Drº. Charles Leonardo Israel
Universidade de Passo Fundo (UPF)

Prof. Drº. Leandro Luis Corso
Universidade de Caxias do Sul (UCS)

Prof. Drº. Gilmar ferreira Batalha
Escola Politécnica Universidade de São Paulo (USP)

Passo Fundo

2020

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por mais uma oportunidade e conquista.

Aos meus orientadores professor Vandr e Barbosa Brião, professor Rodrigo Zeilmann e ao professor Adalberto Pandolfo, sempre pacientes e amigos.

A M rcia, sempre companheira, amiga e amorosa.

A minha mãe Claci e meu pai Telmo *in memoriam*, que sempre acreditou em mim e nunca mediu esforços para que eu pudesse estudar.

Aos meus colegas do grupo de pesquisa do professor Adalberto que compartilhávamos trabalhos, experiências e expectativas.

Aos meus professores de mestrado e doutorado.

A banca que contribuiu imensamente com minha pesquisa.

A todos os funcionários dos laboratórios da Engenharia Mecânica da UPF que sempre colaboraram na execu o das atividades e experimentos.

A UPF por investir e me conceder a bolsa de doutorado.

RESUMO

A adoção da sustentabilidade na manufatura possibilita à indústria melhorar de forma tecnológica o desempenho econômico, social e ambiental. A indústria está se esforçando, cada vez mais, para alcançar a sustentabilidade através de mudanças em produtos, ciclos de materiais, processos, recuperação de recursos e inovações em práticas de produção. Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa é a obtenção de um modelo para a avaliação do desempenho em sustentabilidade na comparação de processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento. A pesquisa consiste em três etapas e cada uma dessas está dividida em fases. A primeira etapa identifica os modelos existentes que avaliam desempenho da sustentabilidade para obter-se um conjunto amplo de aspectos relativos às dimensões ambientais, sociais e econômicas. Na segunda etapa, definiu-se a estrutura do procedimento estruturado, visando quantificar os aspectos relativos às dimensões ambientais, sociais e econômicas. Por fim, na terceira etapa, são determinados os índices de sustentabilidade nas dimensões ambiental, social e econômica, e determinados os índices na área de fabricação para os processos de furação convencional e por escoamento. As informações coletadas nas manufaturas são dados quantitativos, e a compilação desses resultados se deu com base no método multicritério AHP, o que possibilitou a validação do modelo desenvolvido, e os processos de furação convencional e do processo de furação por escoamento foram utilizados para validação do modelo. Os resultados apresentados auxiliarão no processo de apoio à tomada de decisão pelos stakeholders das indústrias, considerando que o modelo desenvolvido pode ser utilizado e adaptado para qualquer processo de manufatura das indústrias brasileiras.

Palavras-chave: Método AHP. Aspectos de sustentabilidade. Processo de furação convencional. Processo de furação por escoamento.

ABSTRACT

The adoption of sustainability in the manufacturing enables the industry to improve technologically in their economic, social and environmental performances. The industry is increasingly striving to reach sustainability through changes in products, material cycles, processes, resource recovery, and innovations in production practices. In this context, the objective of this research is to obtain a model for the assessment of sustainability performance in the comparison of manufacturing processes of conventional drilling and flow drilling. The methodology consists of three stages and each one is divided into steps. The first stage identifies the existing models that assess sustainability performance in order to obtain a wide range the aspects related to the environmental, social and economic dimensions. In the second stage, the structure of the structured procedure was defined, aiming to quantify the aspects related to the environmental, social and economic dimensions. Finally, in the third stage, the sustainability levels are determined in the environmental, social and economic dimensions, and the levels in the manufacturing area for the conventional drilling and flow drilling processes were determined. The data collected in the manufactures are quantitative and the compilation of these results was based on the multi criteria AHP method, which enabled the validation of the developed model, and the conventional drilling and the flow drilling processes were used to validate the model. The results presented will assist in the decision support process by the stakeholders of the industry, considering that the developed model may be used and adapted for any manufacturing process of the Brazilian industries.

Keywords: AHP method. Sustainability aspects. Conventional drilling process. Flow drilling process.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo GRI para sustentabilidade.	33
Figura 2 - Fluxo da manufatura verde.....	36
Figura 3 - Evolução da manufatura.....	38
Figura 4 - Hierarquia do sistema de avaliações.	41
Figura 5 - Fluxograma de indicadores, instrumento de avaliação da sustentabilidade.....	42
Figura 6 - Esquema do processo de furação, com B representando força de avanço e A rotação.	44
Figura 7 - Processos convencionais de furação.	45
Figura 8 - Furação convencional.	46
Figura 9 - Elementos de uma broca helicoidal.	46
Figura 10 - Modelos de broca helicoidal.....	47
Figura 11 - Broca helicoidal afiação em cruz e cobertura de (TiN).	48
Figura 12 - Estágios de uma furação por escoamento.	50
Figura 13 - Aplicações do processo de furação por escoamento na indústria automobilística.	51
Figura 14 - Etapa de montagem da fuselagem de um avião.....	51
Figura 15- Ferramenta para furação por escoamento.....	54
Figura 16 - Dimensões da bucha.	55
Figura 17 – Desenho esquemático formação de ferrita alotriomórfica equiaxial nos contornos de grão austeníticos.....	59
Figura 18 (A) e (B) – Curva TTT (A) para uma liga de ferro-carbono com composição eutetóide, onde: (A=austenita, B=bainita, M=martensita e P=perlita). Curva TTT (B) para um aço-liga, onde: (A= austenita, B=bainita, M=martensita e F= ferrita proeutetóide).....	62
Figura 19 - Processo substituição aço convencional pelo aço de alta resistência.	65
Figura 20 - Economia de CO2 provém do menor peso.....	65
Figura 21 - Tempo de retorno de CO2.....	66
Figura 22 - Dimensão da Sustentabilidade Corporativa.	68
Figura 23 - Método de avaliação de desempenho de processos de manufatura.....	70
Figura 24 - Procedimento analítico do método AHP.....	72
Figura 25 - Estruturação hierárquica – árvores de decisão.	73
Figura 26 - Escala Fundamental de Saaty.	74

Figura 27 - Laboratório Manufatura CNC.	78
Figura 28 - Fluxograma da metodologia.	79
Figura 29 - Fluxograma de desenvolvimento da pesquisa.	80
Figura 30 - Metodologia desenvolvida para identificação dos modelos.	81
Figura 31 - Combinação das palavras chave.	82
Figura 32 - Metodologia para a pesquisa.	84
Figura 33 - Estruturação dos modelos Excel.	84
Figura 34 - Recorte do questionário Brainstorming.	87
Figura 35 - Organograma procedimento estruturado.	88
Figura 36 - Ferramenta de furação por escoamento.	89
Figura 37 - Pesquisa realizada com os colaboradores setor manufatura questões sociais.	96
Figura 38 - Monitoramento do Ruído na máquina CNC em fabricação.	99
Figura 39 - Estrutura dos Dados compilados ambiental, social e econômico.	104
Figura 40 - Matriz avaliação aspectos.	105
Figura 41 - Matriz vetores médios.	105
Figura 42 – Recorte simulando o preenchimento do formulário de Pesquisa <i>stakeholders</i> . .	106
Figura 43 - Matriz da média normalizada \sum linha:	107
Figura 44 – Cálculo do índice de sustentabilidade (Vetor médio x Matriz normalizada).	107
Figura 45 – Cálculo do índice de sustentabilidade (Vetor médio x Peso dos <i>Stakeholders</i>).	108
Figura 46 - Matriz Média dos índices de sustentabilidade.	109
Figura 47 - Matriz Unificação do Índice de sustentabilidade.	110
Figura 48 - Matriz Índice de Sustentabilidade.	110
Figura 49 - Aspectos definidos para o Procedimento Estruturado.	121
Figura 50 - Procedimento estruturado.	122
Figura 51 - Centro de usinagem Romi V-400.	123
Figura 52 - Romi V-400 fluxo do processo (Entradas e Saídas).	124
Figura 53 - Perfil da Ferramenta de furação por escoamento (Medidas mm).	125
Figura 54 - Etapas do processo de furação por escoamento durante os ensaios.	125
Figura 55 - Dispositivos de fixação.	126
Figura 56 - Corrente medida durante a furação convencional.	131
Figura 57 - Corrente medida durante a furação escoamento.	131

Figura 58 – Componentes manufaturados, resíduo sólido gerado e coletado materiais (A) e (B):	133
Figura 59 - Resíduo sólido gerado (Kg) na furação convencional ASTM A36 e STRENX 700 MCD:	133
Figura 60 - Furação por escoamento materiais ASTM A36 e STRENX 700 MCD que não gera resíduos sólidos.....	134
Figura 61 - Componentes Manufaturados em furação por escoamento ASTM A36 e STRENX 700 MCD:.....	134
Figura 62 – Exemplo de Imagem térmica, aquecimento gerado pela manufatura mensurando a temperatura nos processos de furação convencional e por escoamento:	139
Figura 63 - Média do Aquecimento mensurado em unidade de Temperatura (°C).....	140
Figura 64 - Média do Aquecimento mensurado em unidade de Temperatura (°C).....	141
Figura 65 - Zonas de perigo da Máquina CNC V-400.....	146
Figura 66 - Respostas dos colaboradores aos questionários sobre segurança do trabalho no setor de manufatura.	148
Figura 67 - Questionário quanto a treinamentos no Processo de furação convencional e no Processo de furação por escoamento.	150
Figura 68 - Questionário quanto a ruído Processo de furação convencional e Processo de furação por escoamento.	156
Figura 69 – Ruído (Pressão Sonora) Laqm Furação convencional.	157
Figura 70 - Ruído (Pressão Sonora) Laqm Furação escoamento.	157
Figura 71 - Índices Monitorados durante as manufaturas Furação Convencional.	166
Figura 72 - Índices Coletados durante as manufaturas Furação Escoamento.	168
Figura 73 - Cálculo do Vetor Médio.....	170
Figura 74 - Pesquisa realizada com os <i>stakeholders</i>	172
Figura 75 - Pesquisa realizada com <i>Stakeholders</i>	173
Figura 76 - Cálculo da Matriz Normalizada.....	175
Figura 77 - Cálculo do Índice de sustentabilidade (Vetor médio x Matriz normalizada).....	176
Figura 78 - Cálculo do Índice de sustentabilidade (Vetor médio x Pesquisa realizada com Stakeholders).	178
Figura 79 - Média Ponderada dos Índice de sustentabilidade.	179
Figura 80 - Unificação da Sustentabilidade.	181

Figura 81 - Publicações por Ano.	244
Figura 82 - Publicações por país.	244
Figura 83 - Meios de publicação utilizados.	245
Figura 84 - Publicações por ano.	246
Figura 85 - Publicações por país.	247
Figura 86 - Meios de publicação utilizados.	247
Figura 87 - Comprimento ZTMA processo furação por escoamento à Seco e MQL STRENX 700 MCD.	252
Figura 88 - Comprimento ZTMA processo furação por escoamento à Seco e MQL ASTM A-36.	253
Figura 89 -: Endentações ZTMA até Metal-base	254
Figura 90 - Microdureza material STRENX 700 MCD.	254
Figura 91 - Gráfico de dispersão microdureza condição 1.	255
Figura 92 - Gráfico de dispersão micro dureza condição 2.	256
Figura 93 - Microdureza material ASTM A-36.	257
Figura 94 - Gráfico de dispersão ASTM A-36 condição 1.	258
Figura 95 - Gráfico de dispersão ASTM A-36 condição 2.	258
Figura 96 – Posição de análise Micrografia.	260
Figura 97 – Aços estruturais ASTM A-36 e STRENX 700 MCD, em microscópio ótico com 100x de ampliação	261
Figura 98 - Metalografia das condições analisadas do aço estrutural Strenx 700.	263
Figura 99 - Metalografia das condições analisadas do aço ASTM A 36.	266
Figura 100 - Ferramenta quebrou devido a um erro de programação.	274
Figura 101 – Corpo de prova durante o ensaio de fadiga.	283
Figura 102 - Índices coletados durante as Manufaturas Ambiental.	286
Figura 103 - Índices coletados durante as Manufaturas Social.	286
Figura 104 - Índices coletados durante as Manufaturas Economico.	286
Figura 105 - Exemplo de cálculo vetor médio Ambiental.	287
Figura 106 - Exemplo de cálculo vetor médio Social.	287
Figura 107 - Exemplo de cálculo vetor médio Econômico.	287
Figura 108 - Pesquisa realizada com especialistas Ambiental.	287
Figura 109 - Pesquisa realizada com especialistas Social.	287

Figura 110 - Pesquisa realizada com especialistas Econômico.....	288
Figura 111 - Cálculo da Matriz normalizada ambiental.....	288
Figura 112 - Cálculo da Matriz normalizada Social.....	288
Figura 113 - Cálculo da Matriz normalizada Econômico.....	289
Figura 114 - Cálculo do Índice de sustentabilidade Vetor Médio x Matriz Normalizada Ambiental.....	289
Figura 115 - Cálculo do Índice de sustentabilidade Vetor Médio x Matriz Normalizada Social.....	289
Figura 116 - Cálculo do Índice de sustentabilidade Vetor Médio x Matriz Normalizada Econômico.....	289
Figura 117 - Cálculo do Índice de sustentabilidade Vetor Médio x Pesquisa Stakeholders Ambiental.....	290
Figura 118 - Cálculo do Índice de sustentabilidade Vetor Médio x Pesquisa Stakeholders Social.....	290
Figura 119 - Cálculo do Índice de sustentabilidade Vetor Médio x Pesquisa Stakeholders Econômico.....	290
Figura 120 - Média Ponderada dos Índices de Sustentabilidade Furação Convencional.....	290
Figura 121 - Média Ponderada dos Índices de Sustentabilidade Furação Convencional.....	291
Figura 122 - Unificação do Índice de Sustentabilidade.....	291

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estratégias da manufatura verde.....	37
Quadro 2 - Desafios da manufatura verde.....	39
Quadro 3 - (A) Planilha de avaliação dos modelos.....	85
Quadro 4 - Modelos utilizados para avaliar sustentabilidade.....	113
Quadro 5 - Planilha ambiental.....	114
Quadro 6 - Planilha econômica.....	116
Quadro 7 - Planilha social.....	118
Quadro 8 - Média de furos realizados furação convencional.....	142
Quadro 9 - Dimensional das Perfurações em cada condição Processo de furação convencional.	143
Quadro 10 - Média de furos realizados para furação escoamento considerando 03 repetições:	144
Quadro 11 - Dimensional das Perfurações em cada condição Processo furação escoamento.	144
Quadro 12 - Descritivos dos riscos de acordo com as zonas de perigo da figura 63.....	147
Quadro 13 - Pesos das zonas de Perigo da máquina CNC.....	148
Quadro 14 - Ponderação de Pesos dos treinamentos furação convencional e por escoamento	150
Quadro 15 - Pesos quanto à Saúde.....	152
Quadro 16 - Pesos para quantificar as relações para o trabalho.....	154
Quadro 17 - Pesos quanto a relações para o trabalho.....	154
Quadro 18 - Artigos relevantes para a pesquisa sobre Modelos de avaliação sustentabilidade.	243
Quadro 19 - Artigos relevantes para a pesquisa AHP.....	248
Quadro 20 - Condições de manufatura e as ampliações definidas para STRENX 700.....	262
Quadro 21 - Condições de manufatura e as ampliações definidas para o aço ASTM A-36..	265
Quadro 22 - Desgaste ferramenta condição 1 RPM1274 e Avanço F446 MQL ASTM A-36.	269
Quadro 23 - Desgaste ferramenta condição 1 RPM1274 e Avanço F446 à Seco ASTM A-36.	269

Quadro 24 - Desgaste ferramenta condição 2 RPM 500 e Avanço F100 MQL ASTM A-36.	270
Quadro 25 - Desgaste ferramenta condição 2 RPM 500 e Avanço F100 à Seco ASTM A-36.	270
Quadro 26 - Condição 1: RPM1274 e veloc. avanço Vf446mm/min MQL STRENX 700 MCD.	271
Quadro 27 - Condição 1 RPM1274 e veloc. Avanço Vf446 mm/min à Seco STRENX 700 MCD.....	272
Quadro 28 - Condição 2 RPM500 e Veloc. avanço F100 mm/min MQL STRENX 700 MCD.	273
Quadro 29 - Condição 2 RPM500 e Veloc. avanço F100 mm/min à Seco STRENX 700 MCD.	273
Quadro 30 - Desgaste ferramenta condição 1 RPM2000 e Avanço F250 MQL ASTM A36.	274
Quadro 31 - Desgaste ferramenta condição 1 RPM2000 e Avanço F250 à Seco ASTM A36.	275
Quadro 32 - Desgaste ferramenta condição 1 RPM1500 e Veloc. avanço Vf300 mm/min ASTM A-36 MQL.....	276
Quadro 33 - Desgaste ferramenta condição 2 RPM1500 e Veloc. avanço Vf300 mm/min ASTM A-36 à Seco.....	276
Quadro 34 - Desgaste ferramenta condição 1 RPM2000 e Veloc. avanço Vf250 mm/min MQL STRENX 700.....	277
Quadro 35 - Desgaste ferramenta condição 1 RPM2000 e Veloc. avanço Vf250 mm/min à Seco STRENX 700	278
Quadro 36 - Desgaste ferramenta condição 2 RPM1500 e Veloc. avanço Vf300mm/min MQL STRENX 700.....	279
Quadro 37 - Desgaste ferramenta condição 2 RPM1500 e Veloc. avanço F300 mm/min à Seco STRENX 700.....	280
Quadro 38 - Correlação Vida da ferramenta x Processo.....	281

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos da composição química.	63
Tabela 2 - Propriedades Mecânicas CF-21 ao CF-30 ABNT NBR 6650(1980).....	63
Tabela 3 - Valores de R I por Saaty, (1980).....	76
Tabela 4 - Valores de R I recalculados por Saaty, (1990).....	76
Tabela 5 - Artigos após a aplicação filtros.	83
Tabela 6 - Especialistas participantes da etapa de <i>brainstorming</i>	86
Tabela 7 - Condição de contorno para material “X” – Processo “Y”.....	91
Tabela 8 - Custo por furo furação convencional e por escoamento ASTM A36 e STRENX 700 MCD.....	103
Tabela 9 - Especialistas participantes da etapa de brainstorming.....	120
Tabela 10 - Condição de contorno Furação convencional MATERIAL ASTM A-36 e STRENX 700 MCD.....	129
Tabela 11 - Condição de contorno Furação por escoamento ASTM A-36 E STRENX 700 MCD.	129
Tabela 12 - Resultado do somatório dos pesos na furação convencional.	148
Tabela 13 - Resultado do somatório dos pesos na furação escoamento.	149
Tabela 14 - Pesos treinamento genérico e treinamento específico Processo furação convencional.....	151
Tabela 15 - Resultado do somatório dos pesos treinamento na furação escoamento.	151
Tabela 16 - Pesquisa com os colaboradores quanto à saúde.	153
Tabela 17 -Pesos do questionário quanto a relações para o trabalho.....	155
Tabela 18 - Custo médio de mão de Obra em furação convencional e em furação por escoamento.	159
Tabela 19 - Custo do equipamento CNC em furação convencional e em furação por escoamento	159
Tabela 20 - Custo das Ferramentas em furação convencional e furação por escoamento	160
Tabela 21 - Tempos médios Troca (<i>Set up</i>) furação convencional e furação por escoamento.	161
Tabela 22 - Tempos médios de manufatura furação convencional e furação por escoamento.	162

Tabela 23 - Tempos médios totais de manufatura furação convencional e furação por escoamento.	162
Tabela 24 - Custos de Manufatura Processo de furação convencional e furação por escoamento.	163
Tabela 25 - Custos Totais manufatura dos corpos de prova furação convencional e furação por escoamento.	164
Tabela 26 - Custo por furo furação convencional e escoamento ASTM A36 e STRENX 700 (MQL e à Seco).	165
Tabela 27 - Relação de Consistência.	183
Tabela 28 - Correlação Dureza x ZTMA.	259
Tabela 29 - Resumo de resultados ZTMA x Seco x MQL x Materiais x Condições.	259
Tabela 30 - Resumo de resultados Dureza x Seco x MQL x Materiais x Condições.	260
Tabela 31 - Custos (R\$) por furo para os dois métodos de furação estudados.	282
Tabela 32 – Ensaio de fadiga nas perfurações ASTM A-36:	284
Tabela 33 – Ensaio de fadiga nas perfurações STRENX 700 MCD:	284
Tabela 34 – Resumo dos ensaios realizados ASTM A-36:	285
Tabela 35 – Resumo dos ensaios realizados STRENX 700 MCD:	285

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Análise do Ciclo de Vida
ADM	Apoio à Decisão Multicritério
ANP	Analytic Network Process
ARBL	Aços de alta resistência e baixa liga
ASTM	American Society for Testing and Materials
CBCA	Centro Brasileiro da Construção em Aço
DIN	Deutsches Institut für Normung
EIAs	Estudos de Impactos Ambientais
ELECTRE	Elimination and Choice Expressing Reality
GWMO	Global Waste Management Outlook
ISA	Índice de Sustentabilidade Ambiental
Máquina CNC	Controle Numérico Computadorizado
Método AHP	Analytic Hierachy Process
MQL	Mínima quantidade de fluído
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
NAIADE	Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
UNEP	United Nations Environment Programme
UNIFAL	Universidade Federal de Alfenas
WWF	World Wide Fund for Nature
ZTMA	Zona Térmica e Mecanicamente Afetada

LISTA DE SÍMBOLOS

CO ₂	Dióxido de Carbono
NiT	Nitreto de titânio
WC	Tungstênio
Co	Cobalto
λ máx	Média das medidas de consistência calculadas
LAeq	Pressão sonora equivalente
NPS	Nível de pressão sonora
Li	Nível de pressão sonora
dB	Decibéis
ZnS	Sulfeto de zinco
CR	Consistency Ratio
CI	Consistency Index
RI	Random Index
NE	Nível médio
TE	Tempo de duração
Kg	Quilograma
°C	Grau Celsius

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	24
1.1 PROBLEMÁTICA DA PESQUISA	26
1.2 JUSTIFICATIVAS	27
1.3 OBJETIVOS	30
1.3.1 Objetivo geral	30
1.3.2 Objetivos específicos.....	30
1.4 ESTRUTURA DA TESE.....	31
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	32
2.1 SUSTENTABILIDADE	32
2.2 MANUFATURA VERDE.....	34
2.3 INDICADORES DE DESEMPENHO EM SUSTENTABILIDADE	39
2.4 PROCESSO DE FURAÇÃO CONVENCIONAL	43
2.5 PROCESSO DE FURAÇÃO POR ESCOAMENTO	48
2.5.1 Aplicações do processo	50
2.5.2 Ferramentas do processo	52
2.5.3 Características do processo	54
2.5.4 Forma e dimensões da bucha	55
2.5.5 Desgaste e vida da ferramenta	56
2.5.6 Sistema de lubrificação-refrigeração	56
2.5.7 Óleos minerais, Óleos graxos, Óleos compostos, Óleos de extrema pressão	57
2.5.8 MQL (Mínima quantidade de fluido).....	57
2.5.9 À Seco 57	
2.6 AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA E BAIXA LIGA (ARBL)	58
2.6.1 EFEITO DOS ELEMENTOS DE LIGA	60
2.6.1 ASTM A-36.....	62
2.6.2 STREX 700 MCD	64
2.6.2.1 Como economizar dióxido de carbono	64
2.6.2.2 Economia de CO2	65
2.6.2.3 Tempo de retorno de CO2	66
2.6.2.4 Conceitos <i>EcoUpgraded</i>	66

2.7 MODELOS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SUSTENTABILIDADE	67
2.8 MÉTODOS MULTIATRIBUTOS AHP (<i>ANALYTIC HIERARCHY PROCESS</i>).....	69
2.8.1 Calcular a relação de consistência	75
2.9 MEDIÇÃO DO RUÍDO (PRESSÃO SONORA).....	77
3 METODOLOGIA DA PESQUISA	78
3.1 CARACTERIZAÇÕES DO OBJETO DE ESTUDO	78
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	79
3.3 ETAPA 1 IDENTIFICAÇÃO DOS MODELOS EXISTENTES NA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA SUSTENTABILIDADE.....	81
3.3.1 FASE 1.1 Modelos utilizados para avaliar sustentabilidade.....	81
3.3.2 FASE 1.2 Identificação dos modelos ambientais, sociais e econômicos.....	84
3.3.3 FASE 1.3 Estruturar um procedimento para avaliar o desempenho em sustentabilidade comparando os processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento ambiental, econômico e social.....	86
3.4 ETAPA 2: ESTRUTURAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO VISANDO QUANTIFICAR OS ASPECTOS RELATIVOS AS DIMENSÕES AMBIENTAIS, SOCIAIS E ECONÔMICAS DA SUSTENTABILIDADE.....	88
3.4.1 FASE 2.1 Caracterização da máquina, Ferramentas utilizadas, dispositivos de fixação, equipamentos de medição, materiais e corpos de prova, sistema de lubrificação.....	88
3.4.2 FASE 2.2 Avaliação de aspectos para o processo de furação convencional e processo de furação por escoamento ambiental, social e econômico.....	91
3.4.3 FASE 2.3 Desenvolvimento da metodologia experimental adotada para as manufaturas e coleta de informações do desempenho em sustentabilidade utilizado na comparação de processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento	91
3.4.4 FASE 2.3.1 Estruturação do procedimento ambiental	91
3.4.5 FASE 2.3.2 Estruturação do procedimento social.....	95
3.4.6 FASE 2.3.3 Estruturação da avaliação da dimensão econômica no processo de furação convencional e processo de furação por escoamento.....	100
3.5 ETAPA 3: DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE NAS DIMENSÕES AMBIENTAL, SOCIAL E ECONÔMICO	103

3.5.1 FASE 3.1 Índices coletados durante as manufaturas Furação Convencional;	103
3.5.2 FASE 3.2 Índices coletados durante as manufaturas Furação Escoamento	104
3.5.3 FASE 3.3 Método multicritério AHP - Cálculo do Vetor Médio.....	104
3.5.4 FASE 3.4 Pesquisa realizada com <i>stakeholders</i> processo de furação convencional e processo de furação por escoamento	105
3.5.5 FASE 3.5 Método multicritério AHP - cálculo da matriz normalizada;.....	106
3.5.6 FASE 3.6 Método multicritério AHP - Cálculo do índice de sustentabilidade considerando Vetor médio x Matriz normalizada	107
3.5.7 FASE 3.7 Método multicritério AHP – Cálculo do índice de sustentabilidade considerando Vetor médio x Pesquisa realizada com <i>Stakeholders</i> ;	108
3.5.8 FASE 3.8 Método multicritério AHP – Média ponderada dos índices de Sustentabilidade	109
3.5.9 FASE 3.9 Método multicritério AHP – Validação do Modelo desenvolvido.....	109
3.5.10 FASE 3.10 Método multicritério AHP - Unificação do índice de sustentabilidade	110
3.5.11 FASE 3.11 Calcular a relação de consistência.....	111
4 RESULTADOS	112
4.1 ETAPA 1 IDENTIFICAÇÃO DOS MODELOS EXISTENTES NA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA SUSTENTABILIDADE.....	112
4.1.1 FASE 1.1 Modelos utilizados para avaliar sustentabilidade.....	112
4.1.2 FASE 1.2 Identificação dos modelos ambientais, sociais e econômicos.....	114
A) AVALIAÇÃO AMBIENTAL.....	114
B) AVALIAÇÃO ECONÔMICA	115
C) AVALIAÇÃO SOCIAL.....	117
4.1.3 FASE 1.3 Estruturar um procedimento para avaliar o desempenho em sustentabilidade comparando os processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento ambiental, econômico e social.....	120
4.2 ETAPA 2 ESTRUTURAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO VISANDO QUANTIFICAR OS ASPECTOS RELATIVOS AS DIMENSÕES AMBIENTAIS, SOCIAIS E ECONÔMICAS DA SUSTENTABILIDADE.....	123

4.2.1 FASE 2.1 Caracterização da máquina, ferramentas utilizadas, dispositivos de fixação, equipamentos de medição, materiais e corpos de prova, sistemas de lubrificação	123
4.2.2 FASE 2.2 Desenvolvimento da metodologia experimental adotada para as manufaturas e coleta de informações do desempenho em sustentabilidade utilizado na comparação de processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento	128
4.2.3 FASE 2.3 – Avaliação de aspectos para o processo de furação convencional e processo de furação por escoamento ambiental, social e econômico	130
4.2.4 FASE 2.3.1 Estruturação do Procedimento ambiental	130
4.2.5 FASE 2.3.2 Estruturação do Procedimento social	145
4.2.6 FASE 2.3.3 Estruturação da avaliação da dimensão econômica no processo de furação convencional e processo de furação por escoamento	158
4.3 ETAPA 3 DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE NAS DIMENSÕES AMBIENTAL, SOCIAL E ECONÔMICO	165
4.3.1 Índices coletados durante as manufaturas Furação Convencional	166
4.3.2 Índices coletados durante as manufaturas Furação Escoamento	167
4.3.3 Método multicritério AHP - Cálculo do Vetor Médio	169
4.3.4 Método multicritério AHP – Pesquisa realizada considerando o Peso dos <i>Stakeholders</i>	171
4.3.5 Método multicritério AHP - cálculo da matriz normalizada	174
4.3.6 Método multicritério AHP - Cálculo do índice de sustentabilidade considerando Vetor médio x Matriz normalizada;	176
4.3.7 Método multicritério AHP – Cálculo do índice de sustentabilidade considerando Vetor médio x Pesquisa realizada com <i>Stakeholders</i> ;	177
4.3.8 Método multicritério AHP – Média ponderada dos índices de Sustentabilidade	179
4.3.9 Método multicritério AHP – Validação do Modelo desenvolvido	180
4.3.10 Método multicritério AHP - Unificação do índice de sustentabilidade	180
4.3.11 Calcular a relação de consistência	182
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	183
6 CONCLUSÕES:	186
REFERÊNCIAS	190

ANEXO 1 – AUTORIZAÇÃO	201
ANEXO 2 – PARECER PLATAFORMA BRASIL	202
APÊNDICE A – Artigo publicado.....	203
APÊNDICE B – Artigo em fase final de correção	214
APÊNDICE C – TCLE	236
APÊNDICE D – <i>Benchmenq</i>.....	237
APÊNDICE E – Pesquisa realizada com colaboradores	238
APÊNDICE F – Pesquisa realizada com <i>stakeholders</i>	239
APÊNDICE G - Resultados bibliométricos modelos de avaliação sustentabilidade	243
APÊNDICE H - Resultados bibliométricos método AHP	246
APÊNDICE I – Ensaio, Análises Metalográficas (Macrografia e Micrografia) e Microdureza	252
APÊNDICE J – Resultados do desgaste das ferramentas	268
APÊNDICE K – Ensaio de Fadiga realizado nas perfurações.	283
APÊNDICE L – Tabela Resumo dos Ensaio realizados e melhores condições de Manufatura.	285
APÊNDICE M – Modelo de avaliação do desempenho em sustentabilidade utilizado em processos de manufatura	286

1 INTRODUÇÃO

Com as perspectivas de um aumento da população global, o desenvolvimento global acelerado e o uso crescente de recursos associados e os impactos ambientais, parece cada vez mais evidente que os negócios normais não são uma opção para um futuro sustentável (WWF, 2012).

O crescimento das cidades, aumento da produção industrial e grande consumo de itens manufaturados têm gerado preocupações entre os cidadãos, consumidores, agências governamentais e investidores sobre sustentabilidade. Estas questões globais de consumo dos recursos naturais de maneira descontrolada vêm causando preocupação e observa-se uma crescente adoção das questões de sustentabilidade em todos os setores empresariais (ZANCOPÉ; ENSSLIN; ENSSLIN, 2012).

As organizações precisam ter maior preocupação com processo de tomada de decisão e também posteriormente com as ações decorrentes. A decisão é um processo complexo, no qual é possível escolher uma, entre várias alternativas, sendo que cada alternativa tem um conjunto de ações que visam alcançar um objetivo. Uma análise de decisão pode ser feita de forma que se encontre uma solução ótima ou ainda uma solução que seja a mais adequada para resolver um problema identificado, em que muitas vezes, requer uma estratégia que combine diferentes métodos multicritérios, indicadores e análise de ciclo de vida (CHIAVENATO, 2014).

Um novo cenário desafiador toma forma para as empresas de manufatura, e, nesse contexto, existe menor disponibilidade de recursos e maior pressão de diferentes *stakeholders* e da sociedade por melhores padrões de conduta e ética dos negócios (ARAÚJO, 2010).

Sustentabilidade é um conjunto de ações, visando ao respeito ao meio ambiente, são atitudes éticas, práticas que visem ao seu crescimento econômico, sem agredir o meio ambiente e também colaborar para o desenvolvimento da sociedade.

Os desafios da sustentabilidade para a gestão das empresas de manufatura abrangem questões que vão desde o aquecimento global, a proteção ambiental, o aumento de demandas por recursos; e, em geral, estão obrigando as empresas a reestruturarem seus modelos de negócio (GAMARRA; GUERRERO; MONTERO, 2016; SCHRETTLE, 2013).

Por esse motivo, os setores empresariais vêm adotando abordagens e práticas mais sustentáveis em seus processos, e as organizações empresariais enfrentam uma pressão crescente do público para demonstrar a sua responsabilidade social através de fatores econômicos, sociais e ambientais, avaliados através de relatórios de sustentabilidade (CHIA-WEI HSU, 2013).

Além de respeitar o meio ambiente, o termo sustentabilidade identifica uma imagem positiva. Com o aumento dos problemas ambientais gerados pelo crescimento desordenado nas últimas décadas, as pessoas ficaram mais conscientes da importância da defesa do meio ambiente. Cada vez mais, se busca produtos e serviços de empresas sustentáveis. A sustentabilidade não é composta por atitudes superficiais que visem ao marketing, aproveitando a chamada “onda ambiental”. As práticas adotadas de sustentabilidade devem apresentar resultados práticos e significativos para o meio ambiente e a sociedade como um todo.

Neste capítulo será apresentado o escopo da pesquisa de doutorado, trazendo inicialmente uma descrição do problema abordado. Em seguida, são apresentadas as justificativas. Por fim, descreve-se o objetivo geral e os objetivos específicos que delimitam as informações a serem geradas pelo procedimento estruturado que objetiva a obtenção de um modelo para a avaliação do desempenho em sustentabilidade na comparação de processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento.

O estudo está sendo desenvolvido na linha de pesquisa Planejamento Territorial e Gestão da Infraestrutura, sendo componente do projeto de pesquisa Gestão de Projetos de Infraestrutura, o qual está inserido no tema Gestão Ambiental e Gerenciamento de Resíduos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Passo Fundo (PPGENG/UPF) e a pesquisa contribui para o escopo do objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS 9) Indústria, Inovação e Infraestrutura, promovendo construir infraestrutura resiliente, promover a industrialização inclusiva e sustentável, e fomentar a inovação. Assim sendo, teve como grandes desafios mencionados o desenvolvimento do modelo de avaliação da sustentabilidade utilizando os processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento como estudos de caso para validação do modelo que pode ser aplicado para a avaliação da sustentabilidade em processos de manufatura.

1.1 PROBLEMÁTICA DA PESQUISA

O grande desafio da sociedade do século XXI está relacionada à sustentabilidade, à preservação dos recursos naturais, produção de bens de consumo adequando processos e a autorregulação do consumo dos recursos (SICHE et al., 2007).

Segundo UNEP (2015), na década de 1970 eram 03 megacidades, na década de 1990 eram 10 megacidades. Em 2014 eram 28 megacidades e até 2030 serão 40 megacidades, isso está ocorrendo devido ao crescimento das populações, maior consumo de matéria-prima, estímulo ao consumismo, avanços tecnológicos, obsolescência programada, contribuem para o aumento da utilização de recursos naturais.

As populações mundiais tiveram crescimento de 50% nesta última década e a população brasileira não menos, demonstra um crescimento de 20 milhões de habitantes em torno de 12,3% e 84% residindo nos centros urbanos (BERTICELLI, 2019).

O aumento das populações, a migração para as cidades e o desenvolvimento industrial sem controles resulta em problemas ambientais, sociais e econômicos e este é a grande problemática na atualidade: Como avaliar a sustentabilidade na Manufatura? de tal forma que se consiga através de ações sustentáveis mitigar impactos.

No Brasil, a manufatura está inserida nas discussões do objetivo 9 do desenvolvimento sustentável ODS-9 Indústria, inovação e infraestrutura, pela falta de desenvolvimento tecnológico e diversificação industrial. Há dificuldade de acesso da população às tecnologias, falta infraestrutura de qualidade e recursos para implementação, falta encorajar a construção de parcerias público-privadas, há pouco conhecimento sobre temas como a sustentabilidade e a participação nos processos decisórios. Além disso, há necessidade de se analisar se determinado sistema é mais sustentável, com base em metodologias simplificadas, de fácil acesso e de fácil compreensão para as pessoas (BRASIL, 2016).

Neste sentido, observa-se que os *stakeholders* que gerenciam as empresas industriais estão avaliando meios de minimizar recursos e maximizar os lucros, alterando produtos e processos e muitas vezes estas ações dependem de mudanças de paradigmas e aplicações de novas estratégias, como: produção mais limpa, manufatura verde, *design tink*, manufatura sustentável e é de fundamental importância que estes gestores tenham como estratégia para as tomadas de decisões relatórios de desempenho de sustentabilidade das suas corporações industriais (ZANCOPÉ; ENSSLIN; ENSSLIN, 2012).

A União Europeia (EU), destaca-se pela mudança significativa nas ações de sustentabilidade com relação a resíduos sólidos (reciclagem, compostagem). Vários países

estão trabalhando neste sentido com taxas de aterramento inferiores à 5%, entretanto no Brasil, nem sempre as diretrizes são seguidas ocasionando problemas ambientais, sociais e econômicos (BERTICELLI, 2019).

A análise da sustentabilidade é um grande desafio no cenário mundial, no que se refere a tomada de decisão envolvendo *stakeholders* e processos de manufatura sustentáveis. A análise da sustentabilidade nos processos de manufatura não é analisada e são poucas empresas que realizam e consideram a sustentabilidade dos seus produtos e processos.

Godoi (2014), realizou um Julgamento Holístico que visa dar auxílio à construção da matriz de julgamentos paritários utilizou o método AHP (*Analytic Hierachy Process*). Relata situações descritas por diversos autores sobre as dificuldades na realização dos julgamentos em pares e visa auxiliar o julgamento paritário.

O desenvolvimento de metodologias que considerem as três dimensões da sustentabilidade se faz necessária para que os *stakeholders* possam contribuir com decisões ambiental, econômica e socialmente favoráveis para as corporações industriais e estas metodologias devem possibilitar além da avaliação dos aspectos de cada dimensão da sustentabilidade mas também proporcionar a unificação destes indicadores, valorando qual processo pode ser considerado mais sustentável sob a ótica das três dimensões.

Sendo assim, o presente trabalho apresenta o modelo de avaliação da sustentabilidade que integra as dimensões da sustentabilidade, sendo que os eixos ambiental, econômico e social serão analisados separadamente e posteriormente serão unificados de modo a apresentar resultados de sustentabilidade e os estudos de caso dos processos de manufatura de furação convencional e por escoamento, foram utilizados para validar a metodologia.

Nesse contexto, tem-se como questão de pesquisa: Qual é o resultado da avaliação de desempenho em sustentabilidade utilizado na comparação de processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento objetivando proporcionar um modelo validado que unifique as dimensões da sustentabilidade e proporcione aos *stakeholders* nas tomadas de decisões das indústrias a optarem por processos de manufatura mais sustentáveis beneficiando o planeta e todas as populações.

1.2 JUSTIFICATIVAS

Avaliar sustentabilidade na indústria deve englobar as três dimensões: ambiental, social e econômica, as empresas procuram melhorar os processos para garantir essa sustentabilidade, buscando desenvolver novos conceitos em procedimentos e ações rotineiras tornando a

organização industrial comprometida com o meio ambiente, avaliando seus resíduos, efluentes e consumo de energia. Com respeito à comunidade, é importante realizar monitoramento do quanto essa atividade é importante para os colaboradores sob aspectos de treinamento, educação, saúde e relações no trabalho. Referente ao monitoramento econômico, uma avaliação de custos caracteriza os ganhos monetários que os processos devem agregar para a indústria (SILVA; SILVA; OMETTO, 2016). Contudo, cada setor possui diferentes variáveis que possam influenciar na tríplice base da sustentabilidade e modelos multicritérios são propostos com uma visão mais ampla do processo ou da empresa.

No nível macro da produção, que corresponde à gestão empresarial, as tecnologias da sustentabilidade estão disseminadas, mas a principal engrenagem da produção, que é a fábrica, ainda tem de percorrer um longo caminho para alcançar a sustentabilidade (PUSAVEC; KRAJNIK; KPOAC, 2010).

A nível empresarial, tradicionalmente, tem sido utilizados indicadores financeiros e de qualidade que podem medir adequadamente o progresso da dimensão econômica da sustentabilidade. Entretanto, as empresas estão percebendo a importância de melhorar seu desempenho ambiental e social. A melhoria da produtividade e eficiência gera mais impacto ambiental, elimina empregos tradicionais na indústria, levando ao desemprego e questões de sustentabilidade ambiental e social associadas (ASHFORD; HALL; ASHFORD, 2012).

As ferramentas para avaliar a sustentabilidade auxiliam os tomadores de decisão na escolha das ações que devem ou não ser realizadas na tentativa de tornar a sociedade e as organizações sustentáveis, através de uma avaliação global das dimensões da sustentabilidade integradas, em termos de perspectivas de curto e longo prazo (BÖHRINGER; JOCHEM, 2007). O desenvolvimento destas ferramentas condiz com as necessidades empresariais e deve haver um maior interesse dos governantes em buscar estas alternativas e soluções.

Os *stakeholders* das empresas não possuem ferramentas que possibilitem uma avaliação dos processos com relação a sustentabilidade, sendo que essas tecnologias são caras e estão restritas a poucos órgãos de pesquisa e surge o debate sobre o uso racional de recursos que contribuiu decisivamente para identificar a correlação entre o progresso técnico e a proteção ambiental (DABROTA; DABROTA; BRANCUS, 2018).

A demanda pelo desenvolvimento de ferramentas de avaliação da sustentabilidade foi identificada em função da necessidade de monitoramento da transição para a sustentabilidade e da inexistência, no início da década de 1990, de ferramentas que avaliassem adequadamente a sustentabilidade (BÖHRINGER; JOCHEM, 2007; CNUMAD, 1992; NESS et al.; 2006).

O levantamento de aspectos relativos aos processos é necessário e através de uma análise par a par condizente com uma metodologia multicritério possibilitará para as empresas ponderações importantes com relação as definições técnicas e até a criação e discussão de cenários que possibilitem uma escolha e definições apropriadas.

Avaliação da sustentabilidade nos processos de manufatura tem como principal objetivo a redução das demandas das redes de infraestrutura, podendo reduzir as demandas da rede de energia, da rede pluvial e redução de resíduos nas empresas que executam atividades de manufatura por intermédio desses processos de manufatura. A utilização de procedimentos para a avaliação da sustentabilidade gera novas responsabilidades para as empresas, mudança de paradigmas e surge um novo conceito que possibilita se ter um mundo mais sustentáveis por meio da manufatura verde e de processos de manufatura eco eficientes.

Os modelos para avaliação da sustentabilidade são genéricos e pouco tem aplicabilidade na manufatura. Alguns consideram uma das dimensões da sustentabilidade e outros modelos são mais completos podendo contemplar duas ou às três dimensões da sustentabilidade e obtendo-se, no final, um resultado quantificável.

Atualmente, o investimento em novas tecnologias (pode ser em um equipamento ou um processo) para obter um novo produto ou serviço, deve contribuir com a sustentabilidade. A validação destas ações exige, portanto, o desenvolvimento de procedimentos estruturados para avaliação da sustentabilidade na manufatura, facilitando as tomadas de decisões corporativas na melhoria dos resultados ambientais, sociais e econômicos (KILDIENE; ZAVADSKAS; TAMOSAITIENE, 2014).

Se deve desenvolver um *framework*, ou seja, um procedimento estruturado de forma abrangente e capaz de avaliar a sustentabilidade dos processos. Para tanto, a avaliação da sustentabilidade deve representar uma contribuição positiva para a indústria, que seja capaz de melhorar o nível de sustentabilidade (MARTIN-GALÁN et al., 2016).

A análise multicritério gera índices que facilitam a comparação e pode ajudar nessa avaliação, motivo pelo qual esse trabalho focou no desenvolvimento e validação de um modelo multicritério.

A realização desta pesquisa foi motivada a partir da necessidade das indústrias de terem informações sobre a sustentabilidade dos processos de manufatura. A pesquisa apresenta como avanço ao “Estado da arte “, pela iteração que o modelo realiza a unificação das três dimensões da sustentabilidade Ambiental, social e econômico de tal forma que possibilita a quantificação através de valores qual processo é considerado o mais sustentável.

Além de proporcionar um melhor entendimento da manufatura a partir das análises dos processos, a avaliação da sustentabilidade pode ser incorporada nas áreas de manufatura como auxílio à tomada de decisão nas definições de qual processo é mais sustentável sob a ótica ambiental, social e econômica. As indústrias que podem implementar esse tipo de tecnologia são, por exemplo: indústria aeronáutica, naval, bélica, aeroespacial, agrícola, indústria de base.

Nesse sentido, a pesquisa irá contribuir para uma melhor compreensão sobre a sustentabilidade dos processos de manufatura. Utilizou-se os dados dos processos de furação convencional e furação por escoamento como casos para teste da metodologia, através deste procedimento é possível adaptar e aplicar nas indústrias, quantificando as etapas de mensuração e ponderação de impactos ambientais, sociais e econômicos das áreas de manufatura industrial e, salienta-se que, a principal evolução no estado da arte é a contribuição do método podendo ser aplicado a outros processos de manufatura.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo central da pesquisa é a obtenção de um modelo para a avaliação do desempenho em sustentabilidade na comparação de processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento.

1.3.2 Objetivos específicos

Constituem objetivos específicos da pesquisa:

- a) Identificar os modelos existentes sobre avaliação de desempenho da sustentabilidade para obter-se um conjunto amplo de aspectos relativos as dimensões ambientais, sociais e econômicas da sustentabilidade os quais serão utilizados na avaliação dos processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento;
- b) Estruturar um procedimento visando quantificar os aspectos relativos as dimensões ambientais, sociais e econômicas da sustentabilidade para a avaliação dos processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento;
- c) Determinar os índices de sustentabilidade nas dimensões ambiental, social e econômico com relação aos processos de manufatura de furação convencional e

furação por escoamento para verificar qual processo pode ser considerado mais sustentável.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

A tese foi organizada em seis capítulos. O primeiro capítulo compreende a introdução do tema, seguido pela apresentação do problema de pesquisa, da justificativa, do objetivo geral e dos objetivos específicos. No segundo capítulo, apresenta-se a revisão da literatura relacionada ao tema, subdividida em nove seções: (1) sustentabilidade, (2) manufatura verde, (3) indicadores de desempenho em sustentabilidade, (4) processo de furação convencional, (5) processo de furação por escoamento, (6) aços de alta resistência e baixa liga (ARBL), (7) modelos de avaliação de desempenho de sustentabilidade, (8) método multiatributos AHP (*Analytic Hierarchy Process*), (9) medição do ruído (pressão sonora). No terceiro capítulo, estabelece-se os procedimentos metodológicos e o detalhamento. No quarto capítulo são apresentados os resultados levando em consideração o embasamento teórico, no quinto capítulo foram discutidos os resultados e no sexto capítulo apresentam-se as conclusões. Por fim, as referências utilizadas para o desenvolvimento do estudo proposto e os apêndices.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Na revisão da literatura, estão contidos os temas principais que englobam o assunto da pesquisa. Inicialmente, são apresentados os aspectos gerais da sustentabilidade e indicadores de sustentabilidade. Na sequência, é abordada a questão da manufatura e da manufatura verde, com ênfase nos modelos de avaliação da sustentabilidade. Por fim, são discutidos os processos de apoio à tomada de decisão, especialmente a análise multicritério como método de avaliação da sustentabilidade aplicado ao procedimento estruturado de avaliação de desempenho em sustentabilidade desenvolvido na pesquisa.

2.1 SUSTENTABILIDADE

As primeiras abordagens da sustentabilidade referiam-se apenas à questão ambiental, porém, ao longo do tempo, foi evoluindo e tem tratado também dos campos econômicos, culturais, sociais e políticos, sendo formulado os três pilares da sustentabilidade: econômico, social e ambiental (BADER, 2012).

Recentemente, a Agenda 2030, apresenta como um plano de ação para a sustentabilidade: Para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade, composta de 17 objetivos do Desenvolvimento Sustentável que contempla todas essas prioridades (PLATAFORMA AGENDA 2030, 2015). E cinco áreas: as pessoas, o planeta, a prosperidade, a paz e a parceria e adotada por 193 países, Estados-Membros da organização das nações unidas (ONU), em 25 de setembro de 2015 (CAMPOS, 2015).

Nas áreas tecnológicas, a sustentabilidade está ligada à preservação dos recursos produtivos e controle do consumo desses recursos, eliminando o crescimento descontrolado obtido através da má utilização dos recursos sociais e ambientais (SICHE et al., 2007).

Os crescimentos econômicos e populacionais são importantes para se entender os desafios que a sustentabilidade enfrenta nos dias atuais. Os estilos de vida das populações, caracterizam o consumo de recursos naturais e a nível global surgem prioridades que incluem a proteção ao meio ambiente, preservação dos recursos naturais, crescimento econômico, melhoria de igualdade social, manutenção da qualidade de vida e questões climáticas (CHAPMAN; SHIGETOMI, 2018).

A sustentabilidade visa criar uma sociedade amiga do meio ambiente. A sustentabilidade requer um equilíbrio da saúde ambiental, bem-estar econômico e equidade social (DAS; GUCHHAIT, 2016).

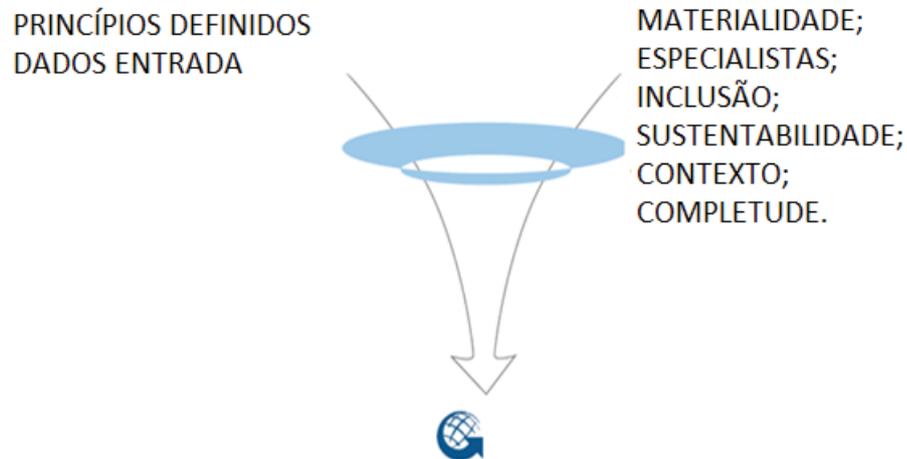
Ao assumir o conceito geral, a sustentabilidade contempla três abordagens fundamentais: econômica, social e ambiental, as quais são inter-relacionadas e complementares entre si (CIEGIS; RAMANAUSKIENÉ, 2009).

A sustentabilidade é um processo interativo que inclui múltiplas perspectivas e áreas (DOCKRY et al., 2016).

No Brasil e em diversos países, o debate sobre conceitos e princípios da sustentabilidade tem se intensificado devido, principalmente, às mudanças climáticas globais que vêm ocorrendo nos últimos anos – como o aquecimento global – e tem surgido como diretriz para solucionar esses problemas. Porém, em muitos casos, há divergências de conceitos e adequações à realidade, sendo utilizado de forma inadequada (MARTINETTI, 2015).

Ao se adquirir novos conhecimentos e inovações tecnológicas, há necessidade de se rever a gestão, pois essas passam a representar um desafio às organizações, fazendo com que alterem o impacto que as suas operações, produtos, serviços e atividades têm no planeta, nas pessoas e nas economias (GRI, 2007). A Figura 1 ilustra a proposta do modelo GRI para a sustentabilidade:

Figura 1 - Modelo GRI para sustentabilidade.



Fonte: Adaptado de GRI (2007).

A Figura 1 demonstra que, para obter resultados reais sobre a sustentabilidade, faz-se necessário que todos os envolvidos estejam convergentes para alcançar o mesmo objetivo.

O conhecimento de processos e situações ambientais pode influenciar as pessoas, porém elas podem ser mais eficientes, quando estas mudam de comportamento para alcançar a sustentabilidade (ARBUTHNOTT, 2009).

Para mensurar e avaliar a sustentabilidade na manufatura, são necessárias combinações de técnicas como métodos multicritérios, matriz de subdecisão com pesos aplicados a todos os atributos relevantes e até avaliações no ciclo de vida do produto utilizando softwares como ferramenta de auxílio GUMUS; KUCUKVAR; TATARI, 2016).

2.2 MANUFATURA VERDE

A manufatura existe desde aproximadamente 5000-4000 A.C. É considerada mais antiga do que a história registrada, porque os símbolos das pinturas gravadas nas cavernas na pedra eram feitos com algum tipo de pincel e instrumento primitivo e, para fabricar essa ferramenta, utilizou-se de uma técnica de manufatura. Inicialmente, utilizavam-se materiais para formar produtos a partir do processo de forjamento. Ao longo dos anos, a evolução levou ao surgimento de novos materiais e operações mais complexas, com taxas crescentes de produção e níveis elevados de qualidade.

Vários objetos que utilizamos – tais como relógios, calculadoras, telefones – não podem ser encontrados na natureza, pois têm forma diferente de como se apresentam no dia a dia, uma vez que foram transformados a partir de diversas matérias-primas e foram transformados até obter o formato que têm atualmente. Esses produtos foram fabricados mediante vários processos, que chamamos de manufatura (KALPAKJIAN, 2013).

A manufatura converte a matéria-prima em produtos, e dentre suas características, destacam-se: Desenho do produto; Seleção do material a ser manufaturado; Sequência de processos através dos quais o produto será manufaturado.

A manufatura é a coluna vertebral de qualquer nação industrializada. O nível de manufatura de um país está diretamente relacionado com o nível de vida da população.

A palavra produção se utiliza da mesma forma que a palavra manufatura. Nos Estados Unidos da América, a expressão amplamente utilizada para descrever essa área da atividade industrial é engenharia de manufatura, e, em outros países, o termo equivalente é engenharia da produção (KALPAKJIAN, 2013).

A indústria de manufatura envolve diversos setores da economia, classificados em 15 subdivisões, como a produção de alimentos, de máquinas e equipamentos, de produtos químicos, de produtos metálicos, etc. Sobre sua representatividade socioeconômica, é responsável por empregar mundialmente 650 milhões de pessoas. Na Europa, representa 22% do produto interno bruto e 70% dos empregos diretos e indiretos (SILVA; SILVA; OMETTO, 2016).

A manufatura ressalta a importância do uso da tecnologia nos processos produtivos, exaltando a automação industrial, pois facilita o gerenciamento e o monitoramento dos processos produtivos em tempo real de fabricação. Também citam a importância da introdução do conceito *lean manufacturing*, que permitiu a redução de tempos improdutivos e do desperdício no consumo de recursos (SILVA; SILVA; OMETTO, 2016).

A evolução histórica da manufatura verde é o enfoque mais voltado à eficiência operacional dos processos produtivos com base em métricas como a redução do tempo de produção e a minimização de custos operacionais. Já a preocupação com a sustentabilidade dos processos produtivos passou a ter maior destaque somente a partir da década de 1990 (SILVA.; SILVA; OMETTO, 2016).

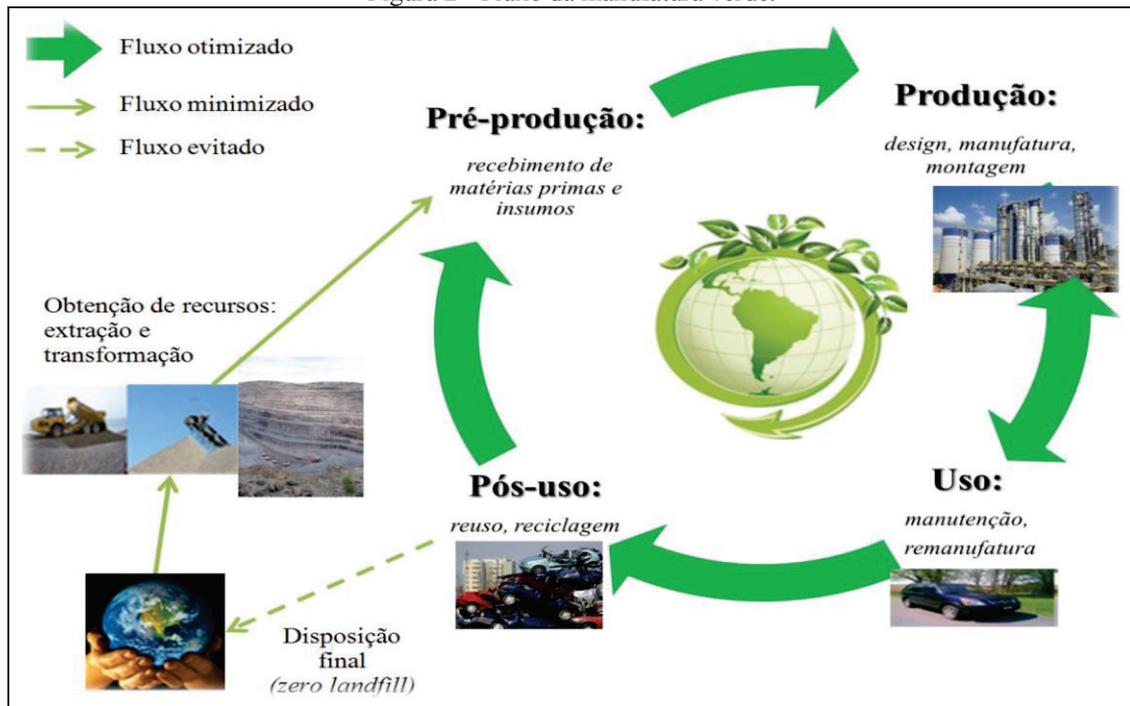
A expressão *sustainable manufacturing*, todavia, tem relação apenas com a dimensão ambiental da sustentabilidade. Os autores apresentaram o termo como parte da ecologia industrial. Contudo, o conceito manufatura sustentável tem evoluído e atualmente integra as três dimensões, ambiental, social e econômica.

A manufatura de produtos utilizando materiais e processos que minimizem os impactos negativos sobre o meio ambiente, promovendo a conservação de energia e dos recursos naturais, a segurança dos trabalhadores, dos consumidores e da comunidade, e que se mostra economicamente viável (SILVA; SILVA; OMETTO, 2016).

Apesar de sua definição mais recente englobar as três dimensões da sustentabilidade, a expressão *sustainable manufacturing* está mais relacionada ao âmbito ambiental. Assim, diversos autores têm empregado mais a expressão *green manufacturing* (GM). Todavia, há outras expressões na literatura especializada que se mostram equivalentes a GM, como: *sustainable production* (SILVA; SILVA; OMETTO, 2016).

A visão sobre Manufatura verde considera a produção em ciclo fechado, no qual nenhum resíduo é disposto no meio ambiente. Portanto, considera-se como fluxo, evitando a disposição final de resíduos. Isso pode ser visualizado na Figura 2:

Figura 2 - Fluxo da manufatura verde.

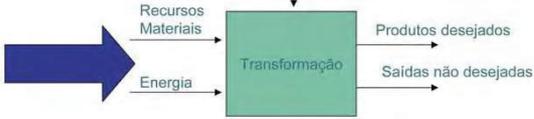
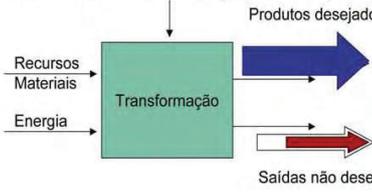
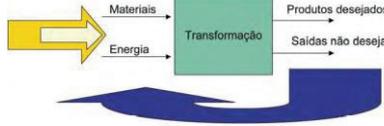


Fonte: Adaptado de Silva, Silva, Ometto (2016).

A manufatura ambientalmente consciente é composta por sistemas “fechados”, nos quais os 3Rs – reduzir, reutilizar e reciclar – estão diretamente associados à estratégia da produção. Nessa perspectiva, os objetivos são: utilizar novamente os sistemas e subsistemas dos objetos em sua forma original; processar determinados produtos (sistemas e subsistemas) novamente não obrigatoriamente como da forma original; aproveitamento dos produtos descartados, a fim de que os materiais possam voltar para as indústrias como matéria-prima para a fabricação de novos produtos, conforme demonstrado no fluxo da Figura 4.

A manufatura verde caracteriza-se como a transformação de produtos sem emissão de gases do efeito estufa, sem utilização de recursos não renováveis, sem utilização de produtos tóxicos e sem geração de resíduos. Engloba cinco estratégias, as quais podem ser visualizadas no Quadro 1:

Quadro 1 - Estratégias da manufatura verde.

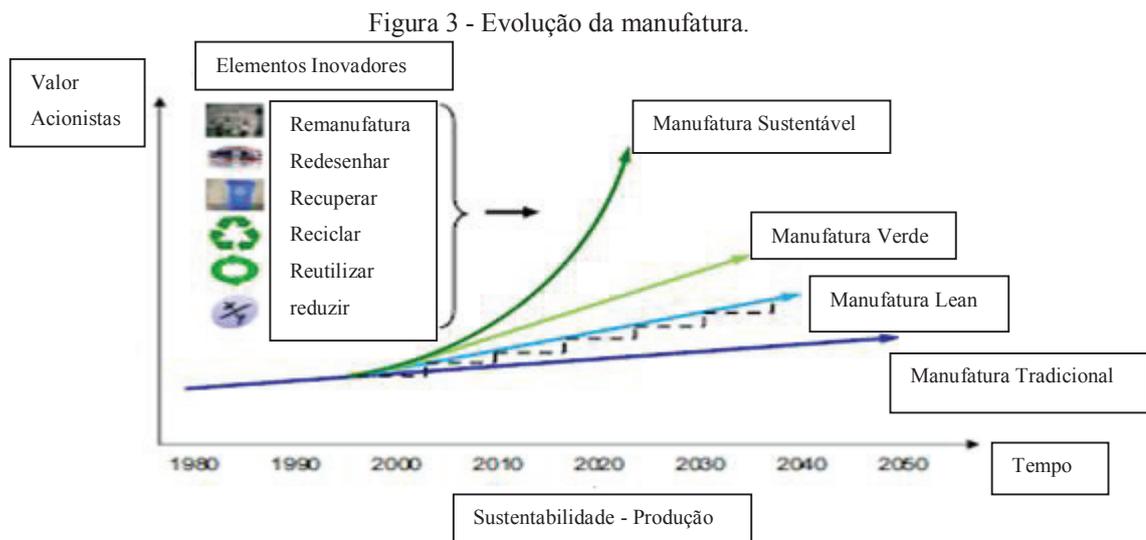
<p>RESTRIÇÕES FORMAIS: políticas, legais, financeiras, ambientais e éticas</p>  <p>Recursos Materiais → Transformação → Produtos desejados Energia → Transformação → Saídas não desejadas</p>	<p>Trata dos <i>inputs</i> iniciais do processo, do volume de entrada das matérias-primas e da quantidade de energia despendida para transformá-la em produtos acabados. Para promover a redução dos insumos de entrada, é importante desenvolver uma política transparente e colaborativa com a rede de fornecedores, fundamental para a execução, comprometimento das equipes e ambiente propício à inovação. A otimização das etapas do processo, a identificação de gargalos da produção, entre outras ações, contribui para a redução da energia gasta no processo de transformação.</p>
<p>RESTRIÇÕES FORMAIS: políticas, legais, financeiras, ambientais e éticas</p>  <p>Recursos Materiais → Transformação → Produtos desejados Energia → Transformação → Saídas não desejadas</p>	<p>Com a utilização de instrumentos de análise, como a Análise do Ciclo de Vida, é possível verificar pontos críticos nos insumos utilizados e os impactos a eles associados. Insumos nocivos ao meio ambiente e ao homem devem ser, na medida do possível, substituídos por outros que ofereçam resultados semelhantes com menos impactos. É necessária a troca de fontes de energia não renováveis pelas de fonte renovável, como por exemplo, a biomassa, fundamentais para a implementação da Estratégia 2.</p>
<p>RESTRIÇÕES FORMAIS: políticas, legais, financeiras, ambientais e éticas</p>  <p>Recursos Materiais → Transformação → Produtos desejados Energia → Transformação → Saídas não desejadas</p>	<p>Ações corretivas ou preventivas que tragam benefícios ao consumo nas etapas de produção, como por exemplo, índices de captação e reutilização de água. Com a otimização de insumos e recursos, torna-se possível a implementação da Estratégia 3, relativa à proporção entre os produtos desejados e as saídas não desejadas inerentes ao processo.</p>
<p>RESTRIÇÕES FORMAIS: políticas, legais, financeiras, ambientais e éticas</p>  <p>Materiais → Transformação → Produtos desejados Energia → Transformação → Saídas não desejadas</p>	<p>A quarta estratégia tem por objetivo estimular o reuso dentro do próprio processo produtivo. A reutilização das saídas não desejáveis contribuem para a conservação ambiental e oferece possibilidades de economia.</p>

Fonte: Adaptado de Machado (2011).

A manufatura verde ou sustentável atualmente engloba a concepção de produtos que possam ser reciclados, manufaturados ou reusados, utilizando processos ambientalmente corretos e que utilizem os recursos naturais e energia de forma racional, mantendo o negócio em níveis competitivos com solidez econômica. Destaca-se que a manufatura verde ou sustentável significa conduzir a produção de modo que os aspectos e impactos ambientais sejam minimizados. Esse objetivo está embasado na minimização de geração de resíduos e emissões, otimização de insumos e uso de matérias-primas de fontes renováveis (DORNFIELD, 2013).

Define-se a manufatura sustentável como a compreensão do ciclo de vida do produto e seu impacto ambiental em cada estágio da vida útil, a fim de que sejam tomadas melhores decisões durante o projeto e a produção, para que os atributos do produto e do processo de produção estejam nos níveis desejados (MACHADO 2011).

Seu surgimento se deve à necessidade de integrar questões de sustentabilidade ambiental nos processos produtivos de fabricação e a Figura 3 ilustra a evolução da Manufatura:



Fonte: Adaptado de Pusavec (2010).

A manufatura sustentável é um conceito expandido da manufatura verde (também chamada de manufatura ambientalmente consciente). Representa a integração da sustentabilidade no sistema de manufatura, buscando o desenvolvimento sustentável da produção industrial, e está centrada no estudo do ciclo de vida, por meio da:

- implementação de tecnologias inovadoras:** avaliação e aplicação de tecnologias viáveis e inovadoras para a economia de recursos;
- melhoria do uso intensivo:** produtividade por meio do aumento em relação à utilização de um produto, buscando maximizar a produtividade;
- extensão do ciclo de vida do produto:** extensão do tempo entre berço e túmulo de um produto, expandindo a fase de utilização e realização de uso em múltiplas fases (Quadro 2):

Quadro 2 - Desafios da manufatura verde.

Seleção de insumos de baixo impacto	Envolve desde a escolha de produtos menos tóxicos, que não afetem a camada de ozônio, até alternativas para substituição de insumos não renováveis, de preferência por outros reciclados, de insumos que consumam pouca energia, além de privilégio a fornecedores locais etc.
Redução do uso de insumos e materiais	Revisão dos volumes utilizados durante o processo e no próprio produto, que podem trazer otimização no estoque e logística como um todo, etc.
Otimização das técnicas de produção alternativa	Com a implantação de técnicas de P+L; o uso de equipamentos que gerem baixas emissões com alta produtividade e eficiência; o redesenho da produção para combinar funções e diminuir etapas; a promoção de grupos de otimização envolvendo fornecedores para aumentar a eficiência energética; e o incentivo ao uso de energias renováveis, reduzindo o uso de combustíveis fósseis; a promoção do design do produto com o objetivo de reduzir o desperdício de insumos e a geração de resíduos; a promoção da reciclagem de produtos dentro da própria empresa; e a promoção da saúde e da segurança no trabalho, etc.
Otimização do sistema de distribuição	Utilizar menos embalagens/limpas/ reutilizáveis; escolher materiais adequados para cada tipo de embalagem (ex. evitar o uso de PVC e alumínio em embalagens não retornáveis); otimizar a logística com apoio do departamento de vendas para evitar sistemas ineficientes ambientalmente (ex.: o transporte por navio é preferível ao transporte por caminhão e o transporte aéreo deve ser evitado, sempre que possível); promover a distribuição simultânea de grandes quantidades de produtos diferentes e optar por embalagens padronizadas e de transporte a granel; formar consórcios com empresas de logística para distribuição e terceirização de transporte de forma eficiente e envolvendo os distribuidores locais.
Redução do impacto durante o uso	Utilizar produtos que consumam menos energia durante o uso e que sejam, de preferência, oriundos de fontes energéticas menos prejudiciais ao meio ambiente, tais como a solar, a eólica etc.; utilizar produtos cujo design privilegie a redução do uso de materiais auxiliares (como filtros descartáveis etc.); fornecer orientações para uso correto de fácil acesso e compreensão; criar produtos de acordo com as necessidades e possibilidades socioeconômicas dos grupos de consumidores; e avaliar as possibilidades de concepção de produtos para grupos de baixa renda
Otimização do tempo de vida inicial	Utilizar produtos de fácil conserto e manutenção; promover o uso de produtos com sistemas modulares que podem ser atualizados com novos módulos e funções ou nos quais módulos ultrapassados possam ser renovados; dar ao produto um valor agregado em termos de design e funcionalidade de tal forma que o usuário relute em substituí-lo; na fase do design do produto, levar em conta a rede de serviços de manutenção, dando prioridade aos fornecedores locais.
Otimização do fim de vida	Promover o reuso do produto; dar prioridade à reciclagem primária com materiais já existentes no mercado; levar em consideração o sistema de coleta de reciclados das áreas do entorno promovendo parcerias.

Fonte: Adaptado de Machado (2011).

2.3 INDICADORES DE DESEMPENHO EM SUSTENTABILIDADE

A ideia de desenvolver indicadores para avaliar a sustentabilidade surgiu na Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente – Rio 92, conforme registrado no capítulo 40 da Agenda 21 (SICHE et al., 2007).

Em 1995, efetivou-se a construção de um consenso sobre uma lista básica de indicadores de desenvolvimento sustentável. Em 1995 e 1996, as mesmas organizações que participaram elaboraram fichas metodológicas para cada um dos indicadores.

Atualmente, a sustentabilidade está relacionada aos processos evolutivos da sociedade englobando o meio ambiental, industrial, comercial, urbano e social e tornar as cidades e os processos mais sustentáveis é prioridade através dos 17 objetivos do desenvolvimento sustentável (ESTRATÉGIA ODS, 2015).

Almejar a sustentabilidade é essencial obter indicadores para auxiliar na avaliação de um determinado sistema em estudo. Os indicadores são utilizados como pré-tratamento dos dados originais enquanto os índices correspondem a um nível superior de agregação (ROCHA, 2012).

Os principais indicadores sociais são emprego e renda, indicadores ambientais, água, clima, recursos energéticos e degradação do solo, e com relação aos indicadores econômicos, o lucro e o consumo (GUMUS; KUCUKVAR; TATARI, 2016).

Uma empresa ambientalmente responsável procura ao máximo minimizar os impactos negativos e amplificar os positivos, devendo agir para a manutenção e melhoria das condições ambientais, diminuindo ações próprias potencialmente agressivas ao meio ambiente e disseminando para outras empresas as práticas e os conhecimentos adquiridos, permitindo acompanhar a gestão da responsabilidade social de seus fornecedores e clientes com a utilização dos indicadores na cadeia de valor (INSTITUTO ETHOS, 2013).

A avaliação do desempenho ambiental, social e econômico das empresas é realizada a partir do monitoramento de indicadores e, através dessas análises, se deve desenvolver um *framework*, ou seja, um modelo estruturado de forma abrangente e capaz de avaliar a sustentabilidade dos processos (IOANNIS; STEFANOS, 2016).

Os indicadores não dão indicações precisas de sustentabilidade. Os métodos de avaliação da interação entre diversos parâmetros setoriais do meio ambiente e o desenvolvimento são imperfeitos ou se aplicam deficientemente.

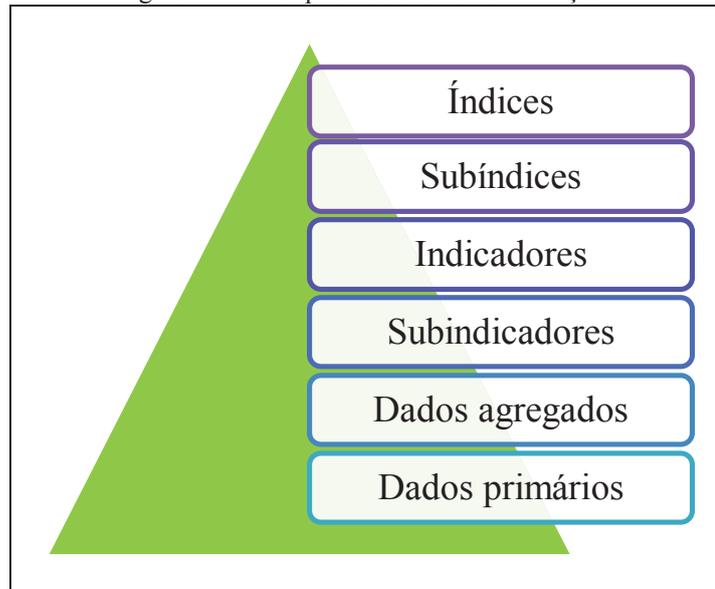
Indicadores de desenvolvimento sustentável que sirvam de base sólida para adotar decisões em todos os níveis, e que contribuam a uma sustentabilidade autorregulada dos sistemas integrados do meio ambiente e o desenvolvimento (SISCHE et al., 2007).

Os indicadores são ferramentas centrais por permitirem um acompanhamento das principais variáveis de interesse da empresa e por possibilitar o planejamento de ações visando a melhorias de desempenho.

Um dos aspectos críticos de um índice de sustentabilidade é a metodologia adotada, tanto para sua determinação quanto para sua leitura e interpretação. Independentemente da escolha, a metodologia deve ser clara e transparente, não deixando dúvidas sobre quais os princípios que estão na base do processo (SICHE et al., 2007).

É importante ter em consideração a hierarquia do sistema de avaliação que relaciona ambos os conceitos, a qual está representada esquematicamente na Figura 4. Sendo utilizadas para obter informação sobre o estado do sistema avaliado, sendo que traduzem valores do momento para o qual são calculados (ROCHA, 2012):

Figura 4 - Hierarquia do sistema de avaliações.



Fonte: Adaptado de Rocha (2012).

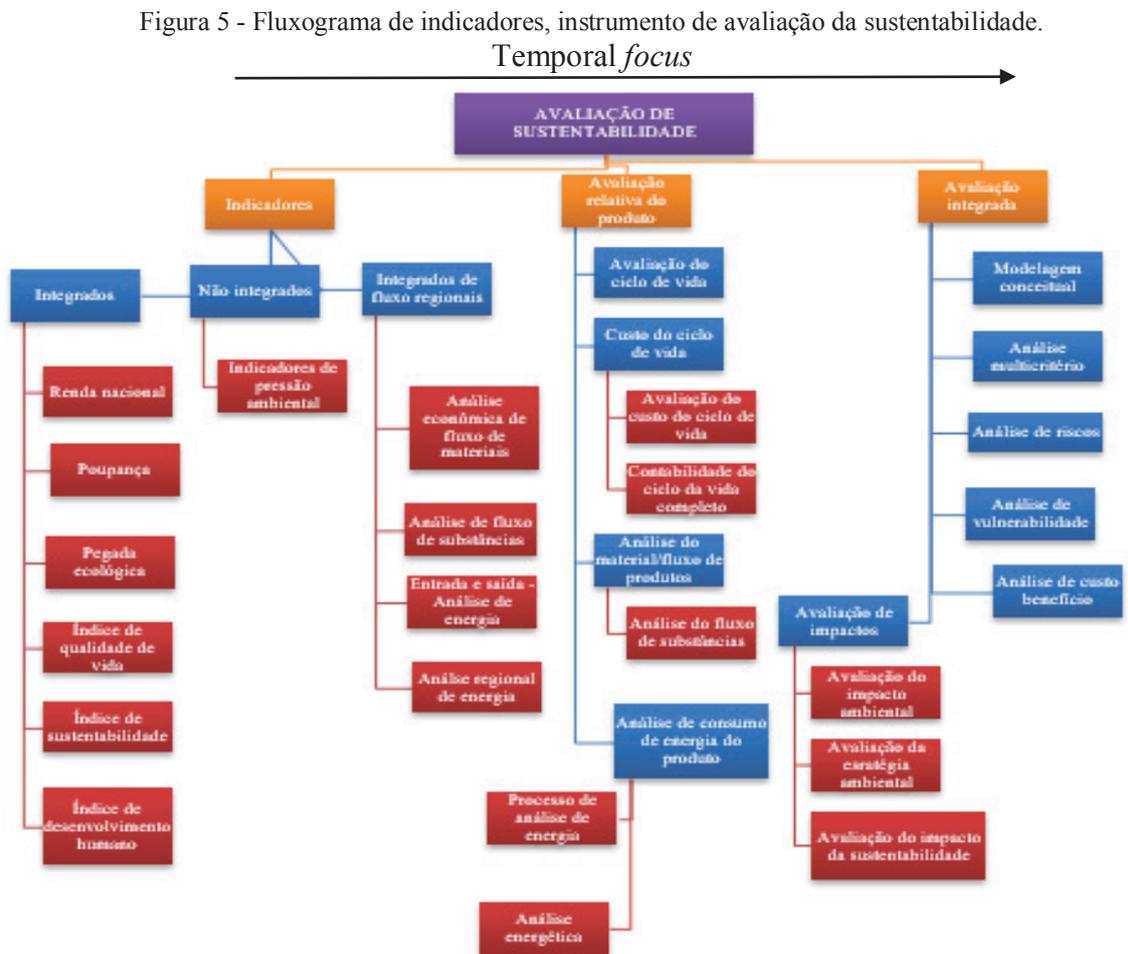
O Índice de Sustentabilidade é uma forma de sintetizar, matematicamente, uma série de informações quantitativas e semi-quantitativas, associadas à sustentabilidade do desenvolvimento. Para cada índice no final de sua aplicação se produz um valor numérico, resultado de operações matemáticas com as informações que utiliza. Esse valor, quando comparado a uma escala padrão, avalia a sustentabilidade. Entre os índices existentes, aqueles mais voltados para a temática do desenvolvimento sustentável são o Barômetro da Sustentabilidade, o Painel da Sustentabilidade, a Pegada Ecológica e o Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA) (KRONEMBERGER et al., 2008).

Segundo Cristófaló et al. (2016), o tema sustentabilidade tem sido profundamente discutido por meio das conferências e estabelecimento de protocolos internacionais, o que obrigou o mundo corporativo a adaptar-se aos novos anseios da sociedade e do Estado que buscavam o equilíbrio das esferas social, ambiental e econômica.

O resultado dos indicadores deve ser compilado e deve gerar um peso quantitativo capaz de avaliar a sustentabilidade da empresa nos três ambientes, social, econômico e ambiental (IOANNIS; STEFANOS, 2016).

O primeiro grupo é formado pelas metodologias baseadas em índices e indicadores. Como exemplos, pode ser citada a pegada ecológica (*ecological footprint*), a pegada de carbono (*carbon footprint*) e a pegada hídrica (*water footprint*). O segundo grupo corresponde às metodologias que avaliam o sistema produtivo ou a cadeia produtiva de um determinado bem, de modo a concentrar sua análise nos fluxos de entrada e saída de materiais e de energia. Sendo assim, o objetivo está na análise dos diferentes fluxos em relação aos produtos e serviços, ao invés da análise regional proposta por aquelas baseadas em índices e indicadores. Um exemplo desse grupo é a ACV. O terceiro grupo, por sua vez, é composto pela avaliações integradas, usadas para auxiliar na definição de políticas e projetos, incluindo-se nessa categoria os Estudos de Impactos Ambientais (EIAs) e as metodologias multicritérios de apoio à tomada de decisão, que são muito utilizadas em situações que envolvem a avaliação de critérios concorrentes ou conflitantes, dentro de seu escopo de análise (NESS et al., 2006).

Na Figura 5, apresenta-se o fluxograma de avaliação da sustentabilidade desenvolvido com base nas três abordagens de avaliação da sustentabilidade:



Fonte: Adaptado de Rocha (2012).

Conforme se pode verificar, a avaliação da sustentabilidade é ampla e pode ser avaliada de várias formas e com base em diferentes metodologias. Entretanto, o desafio é a integração dessas metodologias objetivando uma abordagem abrangente e conforme, Vinodh et al. (2014), é necessidade vital para as empresas modernas renovar suas tecnologias de fabricação e novos conceitos de processos de fabricação sustentáveis.

2.4 PROCESSO DE FURAÇÃO CONVENCIONAL

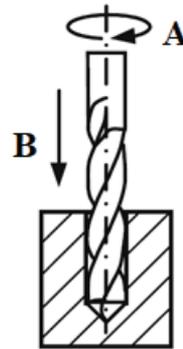
A usinagem por furação é utilizada em escala na indústria em geral, a mesma representa grande parte das operações de usinagem. É um dos processos de usinagem mais importantes de toda manufatura, 40% dos metais utilizados na indústria aeroespacial passam por processos de furação. Na década de 1990, a furação foi responsável por cerca de 50% dos produtos usinados nos Estados Unidos. Isto mostra a grande importância deste processo nos sistemas de fabricação. Mas por outro lado é considerado um processo pouco estudado, apresenta inúmeras dificuldades em sua compreensão, como variações de geometria e de velocidade ao longo do gume, geração de cavaco dentro do furo usinado, entre outros (BLACK, 2007).

Para Diniz, Marcondes, Coppini (2014), o processo de furação recebeu poucos avanços nas últimas décadas. Processos como torneamento e fresamento avançaram rapidamente com a utilização de novas ferramentas de corte como metal duro, cerâmica, nitreto de boro cúbico e diamante, mas, no entanto, na furação a ferramenta mais utilizada ainda é o aço-rápido. Vários fatores contribuem para esse atraso, mas a principal é o diâmetro dos furos, uma vez, que para usinar um furo de 10 mm em velocidades compatíveis com a do metal duro é necessária uma rotação na ordem de 6400 rpm, muita alta para grande maioria do maquinário utilizado na furação.

Segundo Ferraresi (2011), a furação é um processo que se destina a obter furos que são geralmente cilíndricos e obtidos a partir de ferramentas multicortantes.

Conforme a norma DIN 8589-2 (2003), o processo de furação é definido como o movimento de corte circular, ou seja, com movimento rotativo principal, sendo que a ferramenta possui ainda movimento de avanço apenas na direção do seu eixo de rotação, o qual mantém sua posição em relação à ferramenta e à peça, (Figura 6):

Figura 6 - Esquema do processo de furação, com B representando força de avanço e A rotação.



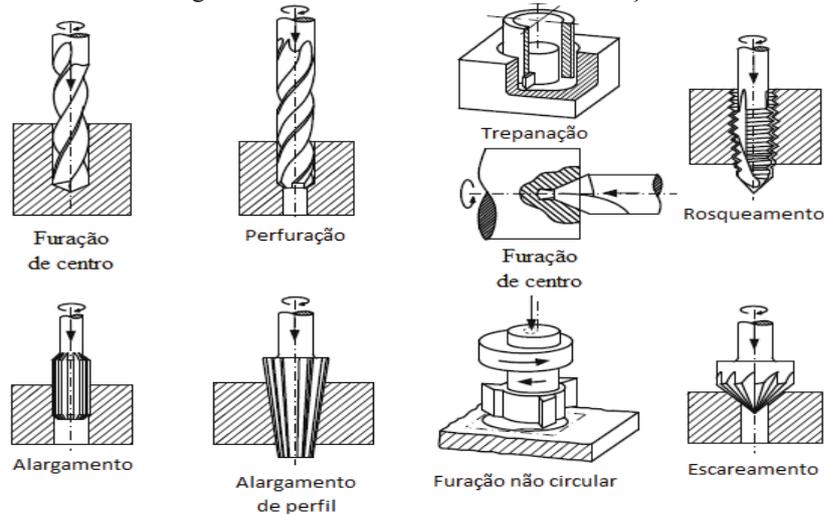
Fonte: Klocke (2011).

A furação com brocas pertence ao grupo dos processos de usinagem com gumes de geometria definida e caracterizadamente a sua velocidade de corte não é constante, variando de zero no centro do furo até um valor máximo na periferia da ferramenta. É caracterizado como um processo de usinagem relativamente severo por ter muitas variáveis de difícil controle, como a formação e saída do cavaco, a dificuldade de lubrificar e refrigerar o gume da ferramenta, a distribuição inadequada do calor na região de corte e o atrito que causa desgaste nas quinas da ferramenta de corte. A ferramenta mais utilizada na confecção de furos cilíndricos é a broca helicoidal, datada por volta de 1800, e sofrendo poucas alterações até os dias atuais, ela representa mais de 50% quando se refere a broca de aço rápido. A grande maioria das peças fabricadas possuem pelo menos um furo (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2014).

A furação convencional é um processo que possui um movimento rotativo principal onde promove a remoção de cavaco. A ferramenta só tem uma direção de avanço que é na mesma direção do eixo rotativo da ferramenta no qual é executado um furo (KLOCKE, 2011).

Na Figura 7 pode ser visto os processos convencionais de furação, as operações mais comumente utilizadas na indústria:

Figura 7 - Processos convencionais de furação.



Fonte: Adaptado de Klocke (2011).

Segundo Klocke (2011), as dificuldades mais comuns neste tipo de usinagem são:

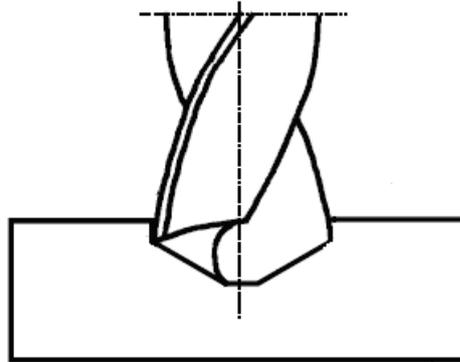
- A velocidade de corte diminui em direção ao centro da broca até zero;
- Dificuldade em remover cavaco;
- Distribuição de calor desfavorável no ponto de ação;
- Atrito contra a parede do furo.

Ao se pensar nas necessidades para montagens de conjuntos mecânicos, máquinas, automóveis, entre outros, é impossível não se voltar o pensamento para a obtenção de furos, visto que esses são de caráter essencial para que muitas montagens sejam de fato possíveis, sejam elas feitas com parafusos, rebites ou qualquer outra forma de fixação com necessidade prévia de realização de no mínimo um furo.

Um grande avanço no período neolítico foi a transformação do movimento de translação em movimento de rotação (com sentido de rotação invertido a cada ciclo). Esse princípio foi aplicado em um dispositivo denominado Furação de Corda Puxada e embasa o processo de furação convencional utilizado nos dias atuais.

Um processo de furação define-se como aquele que possui um movimento rotativo principal, em que a ferramenta apresenta movimento de avanço na direção do eixo de rotação (LOPES, 1994). A Figura 8 ilustra o processo de furação convencional:

Figura 8 - Furação convencional.



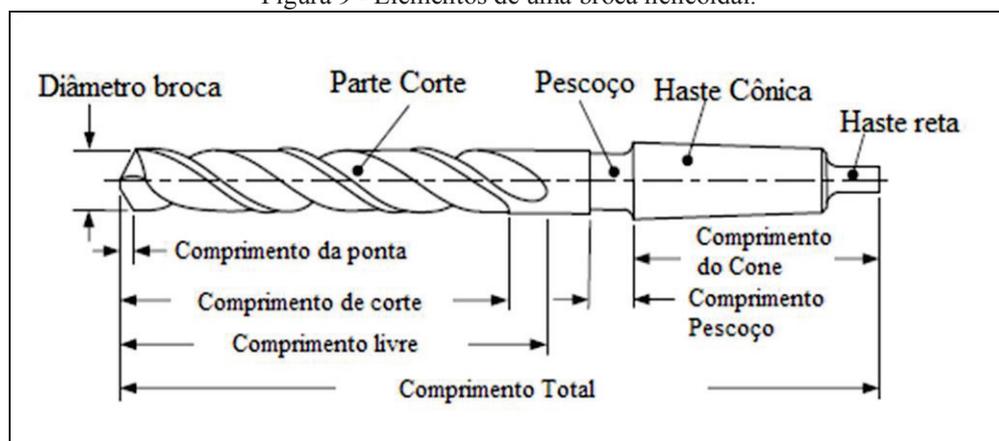
Fonte: Dawim (2008).

O furo normalmente se concretiza por meio de um movimento relativo entre peça e ferramenta. A continuidade do deslocamento de material, ou sua retirada, é assegurada pelo movimento relativo de avanço entre a peça e a ferramenta, que ocorre segundo uma trajetória coincidente ou paralela do seu eixo longitudinal.

Segundo Klocke (2011), furação é um processo que tem por objetivo a geração de furos, na maioria das vezes no formato cilíndrico, em uma peça. A ferramenta utilizada para a realização do processo de furação é a broca helicoidal.

A Figura 9 mostra uma broca helicoidal com os seus principais elementos:

Figura 9 - Elementos de uma broca helicoidal.



Fonte: Klocke (2011).

A nomenclatura das partes constituintes de brocas helicoidais é definida pela norma ABNT NBR ISO 5419 (2009). Podem existir variações geométricas, tais como ausência de rebaixo, haste cilíndrica ao invés de cônica, existência de canais para refrigeração interna e outras.

A furação geralmente é o método mais eficiente e econômico para executar um furo em um metal sólido e frequentemente é realizada em conjunto com outras operações de usinagem (STEMMER, 2007).

Para isso, empregam-se ferramentas denominadas de broca, havendo uma variedade delas. A Figura 10 ilustra os principais modelos de broca helicoidal:



Fonte: Dormer (2016).

Os principais modelos ilustrados na Figura 10 são: brocas de centrar, brocas helicoidais HSS paralela, brocas helicoidais HSS haste cônica, brocas de metal duro (MD), brocas para concreto, brocas de geometria especiais e muitas outras desenvolvidas para aplicações específicas.

Muitas ligas de Aço rápido são utilizadas na furação convencional, possibilitando manter a dureza em temperaturas elevadas. Para que isso seja possível, é adicionado na composição Cobalto.

Outra evolução evidenciada é o acabamento superficial com Nitreto de titânio (TiN) e a afiação em cruz, possibilitando para a ferramenta menor esforço de corte, redução do tempo de furação, melhor qualidade do furo e conseqüentemente maior vida útil da ferramenta (DORMER, 2016). A Figura 11 ilustra uma broca helicoidal:

Figura 11 - Broca helicoidal afiação em cruz e cobertura de (TiN).



Fonte: Dormer, (2016).

Essa composição no elemento de liga, afiação e acabamento superficial proporciona excelente combinação de dureza e tenacidade, resultando em grande resistência ao desgaste. Essa combinação reduzirá forças axiais na perfuração. Tais características são importantes e vantajosas nas perfurações de materiais endurecidos e nas quais existe aumento de temperatura (DORMER, 2016).

2.5 PROCESSO DE FURAÇÃO POR ESCOAMENTO

A furação por escoamento, também conhecida como furação térmica ou furação por fricção, tem como objetivo principal a obtenção de um furo, normalmente em chapas relativamente finas, através da deformação plástica do material, de modo que esse escoe na direção do furo, ficando na forma de rebarba.

A condição de poucas empresas utilizarem o processo de furação por escoamento propicia o fato de o processo não ser amplamente difundido no mercado, sendo assim, há quem considere o processo como novo, o que é um equívoco. No ano de 1923, o francês Jean Claude Valliere observou que, ao se pressionar uma ferramenta giratória contra uma chapa, era gerada uma determinada taxa de energia na forma de calor, a qual, contudo, era perdida, se dissipando principalmente para a peça e o ambiente (LOPES, 1994).

Os primeiros experimentos de furação por escoamento em chapas finas tinham como propósito utilizar a energia na forma de calor de maneira em que esta pudesse ser absorvida pelo material, reduzindo, assim, a sua resistência, propiciando a realização do furo.

No início, o processo foi marcado pela existência de obstáculos tanto econômicos quanto tecnológicos, o que acarretou um abandono momentâneo da metodologia. Aproximadamente 60 anos depois, esses problemas começaram a de fato ser solucionados, principalmente pela

disponibilidade de metal duro e otimizações na geometria da ferramenta devido à disponibilidade de novas máquinas.

A furação por escoamento é classificada como um processo de furação. Porém, devido à inexistência de remoção de cavacos, essa furação não pode ser considerada como um processo de usinagem, e sim um processo de conformação (LOPES, 1994).

Os processos de perfuração são considerados processos dinâmicos, que estão sendo melhorados com as evoluções tecnológicas e afetados por vários fatores, incluindo parâmetros geométricos e materiais das ferramentas (KAPLUNOV, 2020).

O processo de furação por escoamento é um processo de fabricação de furos em peças de paredes finas. O mesmo é realizado com uma ferramenta cilíndrica, de metal duro e ponta cônica (DUARTE FILHO, 1998).

O furo é realizado devido ao atrito da ferramenta com a peça juntamente com o esforço de penetração da mesma, a conformação do furo é executado em altas temperaturas justamente por causa dos esforços de penetração e o atrito, o grande calor gerado facilita a deformação plástica do material e então a penetração da ferramenta, o material da peça escoava nas direções axiais e radiais, sendo então conformado numa bucha (ECKHARDT, 2003).

As principais vantagens do processo são a precisão elevada, a não geração de cavaco (processo de conformação), altas velocidades, a vida longa das ferramentas e a possibilidade de usar-se as máquinas convencionais (WEINGAERTNER, 2006).

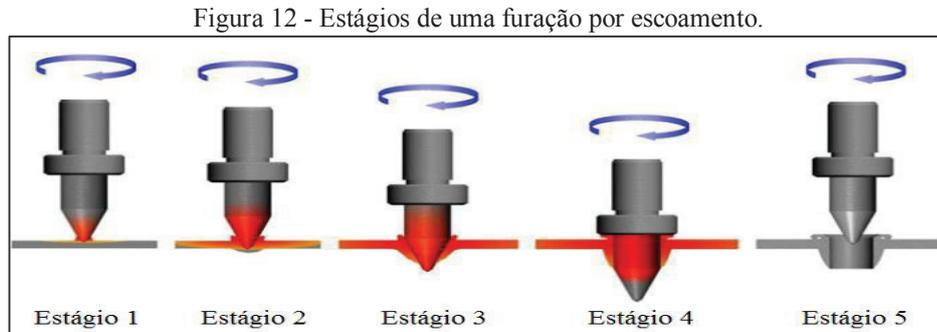
Segundo Oliveira (2007), o processo de furação por escoamento pode ser definido como:

Define os processos de furação como aqueles que possuem um movimento rotativo principal, onde a ferramenta apresenta apenas um movimento de avanço, na direção do eixo de rotação. Deste modo, a furação por escoamento pode ser classificada como um processo de furação. Entretanto, por não haver remoção de cavacos não pode ser considerado como um processo de usinagem, e sim um processo de conformação. (OLIVEIRA, 2007, on-line).

O processo de furação por escoamento é um processo de furação realizado por conformação mecânica, porém é um processo de furação porque o princípio que define o processo de furação é obedecido (OLIVEIRA, 2007).

Primeiramente, são acertados os parâmetros de processo, a partir daí, é dado o início da furação, onde, no instante inicial (estágio 1), a ferramenta toca a peça já com rotação e avanços adequados, ocorrendo nesse instante ainda deformação a frio, o que resulta em grandes esforços para a ferramenta cuja ponta deve ser projetada para vencer as condições adversas desse momento e iniciar o furo. Ao seguir com a penetração (estágios 2 e 3), já se tem calor gerado

devido ao atrito da parte cônica da ferramenta em contato com a peça fazendo com que haja, por consequência da elevação da temperatura, uma redução na resistência do material (BOOPATHIA et al., 2013). A Figura 12 ilustra os estágios do processo de furação por escoamento:



Fonte: Adaptado de Boopathia et al. (2013)

Nesse instante, devido às forças exercidas pela ferramenta sobre a peça, o volume de material que até então ocupava o local do furo é obrigado a se movimentar (escoamento da chapa), passando a se alojar na forma de rebarbas, tanto na parte superior quanto na parte inferior do furo. Junto a essa etapa, ocorre também a passagem da ferramenta através do material.

Quando a ponta cônica atravessa por inteiro a peça (estágio 4), já temos a bucha desenvolvida. Cabe, então, à parte cilíndrica da ferramenta, o trabalho de ajustar a geometria do furo, deixando-o com o diâmetro e a rugosidade adequados. Por último (estágio 5), há a retirada da ferramenta, a qual deve ser feita com ela em rotação, pois, caso contrário, o material da chapa resfriaria podendo fazer com que a ferramenta fique até mesmo presa à peça, ou então, podendo causar outros danos tanto na ferramenta quanto na peça.

Devido à ferramenta não possuir arestas de corte, ao decorrer do processo de penetração, isso faz com que o material que ocupava o espaço do furo se desloque, levando-o para as direções axiais e radiais, o que faz com que surja uma rebarba na parte inferior e superior, com espessura de até três vezes superior à da chapa conforme (OZEK; DEMIR, 2013).

2.5.1 Aplicações do processo

Desde sua descoberta, o processo de furação por escoamento vem aumentando expressivamente seu leque de aplicações no decorrer do tempo, sendo possível de ser encontrado nos mais diversos ramos da indústria.

Em relação ao uso do processo, alguns exemplos de aplicação são apresentados na Figura 13:

Figura 13 - Aplicações do processo de furação por escoamento na indústria automobilística.

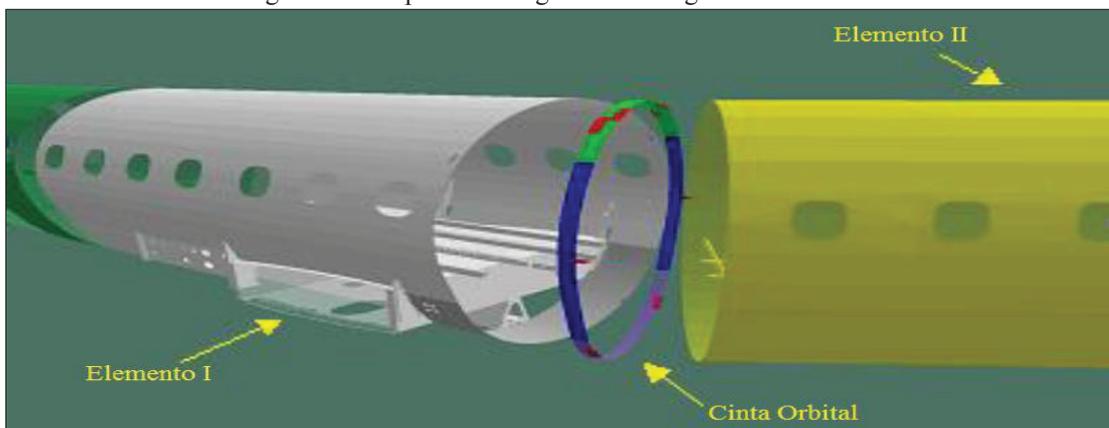


Fonte: Adaptado de EJOT (2016).

A Figura 13 ilustra uma aplicação relacionada ao setor automobilístico. A utilização do processo se faz presente para fixação de elementos através de um processo automatizado de montagem, com auxílio de robôs que trabalham com parafusos ferramenta, realizando, assim, uma furação por escoamento já seguida de um rosqueamento por conformação, de forma ininterrupta.

Outra aplicação do processo pode ser citada no setor aeronáutico, na furação de finas chapas de alumínio na junção de segmentos que formam a fuselagem de um avião. Nesse processo de fabricação, a aeronave é fabricada em segmentos que, após, são unidos para formar a fuselagem completa. Esse processo pode ser visto na Figura 14:

Figura 14 - Etapa de montagem da fuselagem de um avião.



Fonte: Adaptado de Pinto (2010).

Na emenda, conforme visualizado na Figura 14, os elementos de revestimento da fuselagem são alinhados e, após, é executada a furação e a fixação destes em uma cinta orbital, de modo a deixar a fuselagem unificada como um todo.

No Brasil, poucos estudos são encontrados com relação ao tema furação por escoamento. Um dos poucos estudos encontrados é realizado por Lopes (1994), que afirma que a furação por escoamento é um processo de fabricação no qual uma ferramenta rotativa de metal duro é pressionada contra uma chapa metálica fina.

O atrito na região de contato faz com que a temperatura aumente, diminuindo a resistência à deformação do material da chapa e produzindo um furo na chapa metálica com a deformação plástica do material.

Todo o material do furo se apresenta como uma rebarba que ascende e descende na periferia do furo. As principais vantagens do processo de furação por escoamento são inexistência da produção de cavacos, a pequena faixa de tolerância dos diâmetros dos furos e uma longa vida útil da ferramenta.

Destacam-se também a maior resistência das uniões, a utilização desse novo método se destaca principalmente na furação de perfis e chapas de vários tipos, em aplicações na indústria automobilística, de eletrodomésticos, de iluminação, de climatização, fabricação de móveis tubulares e sistemas de distribuição de gases e aquecimento.

Eckhardt (2003), diz que, para se obter o processo de furação por escoamento de maneira satisfatória, é preciso uma máquina adequada que seja capaz de executar a furação por atrito com os requisitos de rotação (n) alta com a possibilidade de se variar a potência, e a máquina deve possuir alta rigidez. Por oferecer recursos de programação informatizados, as máquinas CNC são as mais utilizadas, obtendo, assim, um ganho em tempo de processo e qualidade, para executar o processo de furação por escoamento.

Segundo Nardi e Lacalle (2012), nos estudos realizados na Espanha, afirma que a medição da temperatura alcançada durante o processo como consequência da fricção e a quantidade de calor absorvido pela peça podem influenciar na transformação da microestrutura dos materiais.

2.5.2 Ferramentas do processo

O processo de furação por escoamento exige uma modalidade diferenciada de ferramentas comparado com a furação convencional, como o princípio de execução do furo é

diferente, faz-se necessário um tipo especial de ferramenta, a mesma possui uma geometria especial na parte ativa. Conforme descrito por Duarte Filho (1998):

Esta geometria, denominada cônico-poligonal e composta de lóbulos salientes, é responsável pelo deslocamento localizado do material da peça, gerando calor e fazendo com que o material aumente sua plasticidade. (DUARTE FILHO, 1998, p. 9).

A ferramenta comumente é feita de metal duro podendo ou não ser revestido, de acordo com os catálogos da fabricante Flowrill, é muito utilizado ferramentas revestidas por tungstênio e também nitreto de titânio.

Cada uma das partes da ferramenta é essencial e tem o seu papel fundamental, sendo a ponta a local mais crítico, nela ocorrem os maiores esforços de força axial, pelo fato de que é a responsável por romper a chapa.

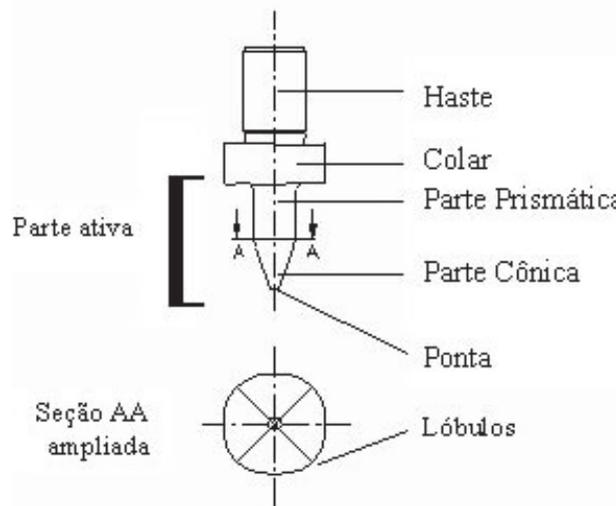
A parte cônica, pode possuir lóbulos (faces) ou ainda ser integralmente cônica, sofre esforços menores, responsável por aumentar de forma gradativa o diâmetro do furo, deixando para a parte cilíndrica da ferramenta o trabalho de ajuste final, para que seja alcançada a tolerância desejada para o furo (FLOWDRILL, 2015).

De acordo com Flowdrill (2015), os diâmetros de ferramentas para o processo, variam de 3 a 30 mm, sendo existentes ferramentas com maiores diâmetros, mas aí sob encomenda com os fabricantes.

As ferramentas são classificadas em dois modelos diferentes, as ferramentas longas e as curtas, sendo que as curtas são mais indicadas para aplicações com posterior rosqueamento.

As longas são utilizadas para uniões aparafusadas porque gera uma bucha cilíndrica que pode servir como ponto de brasagem ou ser roscada (DUARTE FILHO, 1998). A Figura 15 mostra detalhadamente os componentes da ferramenta:

Figura 15- Ferramenta para furação por escoamento.



Fonte: Duarte Filho, (1998).

A haste é onde a ferramenta é fixada e o colar é utilizado para amassar a rebarba superior, porém em modelos diferentes pode escarear uma bucha ao invés de somente amassá-la. Devido a ferramenta possuir uma boa resistência e alta dureza, o metal duro é relativamente frágil, por este motivo deve-se evitar ao máximo um contato brusco com a peça para não danificar a ponta da ferramenta (LOPES, 1994).

2.5.3 Características do processo

Na furação por escoamento é recomendado a utilização de máquinas CNC, pois o processo exige alta rigidez, potência de acionamento, faixa de rotações disponíveis, controle de rotações e de avanço. A probabilidade de controle deste processo complexo é mais provável ao ser realizado numa máquina de controle numérico computadorizado (DUARTE FILHO, 1998).

Os principais esforços deste processo na ferramenta são a força de avanço e o momento torsor, estes esforços variam de acordo com as grandezas de entrada, características da ferramenta e do material (DUARTE FILHO, 1998).

Nesse processo a força de avanço pode ser definida como o esforço da resistência do material à penetração da ferramenta e depende muito das condições de trabalho. Pode-se variar de acordo com a velocidade de rotação ou também velocidades de avanço, no caso de maior velocidade de rotação, o material é mais aquecido e resultando numa menor força de avanço, isto devido à redução intensa da do limite de escoamento do material. Com o aumento da velocidade de avanço se reduz o tempo de penetração, conseqüentemente aumenta muito os esforços e permite obter-se buchas de melhor resistência à tração (DUARTE FILHO, 1998).

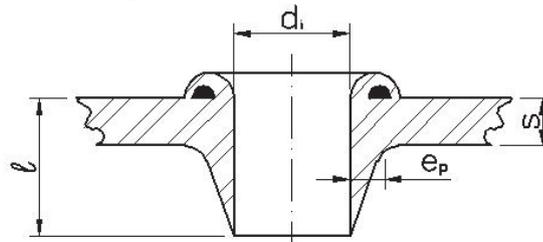
De acordo com Eckhardt (2003), o momento torsor fornece a maior energia empregada para realizar-se o processo, o mesmo é função da rotação, espessura da chapa do material. Variando a velocidade de avanço, há uma variação proporcional no momento torsor.

2.5.4 Forma e dimensões da bucha

A forma da bucha pode variar de acordo com o tipo de ferramenta utilizada, caso seja utilizado a ferramenta curta, dependendo da espessura da chapa, produz uma bucha cônica e a longa uma cilíndrica (ECKHARDT, 2003).

As principais dimensões da bucha são a espessura de parede (e_p), diâmetro do furo da bucha (d_i) e o comprimento total da bucha (ℓ), ilustrado na Figura 16:

Figura 16 - Dimensões da bucha.



Fonte: Eckhardt (2003).

As dimensões podem variar de acordo com as condições de contorno pré-definidas, em experimentos já realizados constatou-se que o comprimento da bucha não é afetado significativamente quando as velocidades de avanço são constantes. A utilização de altas rotações e baixas velocidades aumenta a probabilidade de as buchas serem mais longas (ECKHARDT, 2003).

A qualidade da bucha pode ser analisada através de um sistema de qualificação desenvolvido por Lopes (1994). Neste sistema a qualidade das rebarbas inferiores corresponde à porcentagem do comprimento da rebarba inferior e o total (ℓ) comprimento da bucha. Se o coeficiente δ correspondente for menor que 30%, a mesma poderá ser utilizada para fixação roscada de alta resistência e é compreendido que seja de boa qualidade.

2.5.5 Desgaste e vida da ferramenta

A vida de ferramenta se refere ao tempo que a mesma trabalha efetivamente, até perder a capacidade de corte, atingindo este tempo a mesma precisa ser substituída ou deve ser realizada uma nova afiação (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2014).

Seguem abaixo alguns fatores que determinam o fim da vida útil da ferramenta:

- a) Desgastes tão elevados a ponto de quebrar a aresta de corte;
- b) Desgastes na superfície de folga de maneira que as tolerâncias não são mais cumpridas;
- c) Desgastes onde a temperatura cresce tanto que a aresta perde o fio cortante;
- d) Desgaste é tão grande que aumenta os esforços e interfere no funcionamento da máquina.

A vida de ferramenta é avaliada por todas as condições, critérios e parâmetros. Como meios que se pode avaliar a vida de ferramenta pode ser um método lento ou rápido. Quando for lento a vida tem um prazo maior, é realizado as operações descrevendo detalhadamente o estresse de ferramenta em máquinas-ferramentas, estes testes são dispendiosos em tempo e dinheiro. Como alternativa mais rápida, testes rápidos foram desenvolvidos para comparar a durabilidade da ferramenta em operações de vários tipos de materiais, minimizando o máximo de tempo e recursos possíveis (KLOCKE, 2011).

Conforme Eckhardt (2003), normalmente o fim da vida útil da ferramenta de furação por escoamento se dá com a fratura ou quebra total da ferramenta. Em aplicações de baixa solicitação pôde ser observado o fim de vida da ferramenta realmente por desgaste, onde foi visto que houve desgaste na ponta da ferramenta que ocasionou em buchas de pior qualidade.

2.5.6 Sistema de lubrificação e refrigeração

Os sistemas de lubrificação e refrigeração são utilizados para reduzir o atrito, resfriar a ferramenta ou ambos juntamente. Se faz necessário à sua utilização pois a energia necessária para se realizar o processo de furação por escoamento é muito grande, e o calor precisa ser reduzido a fim de minimizar o desgaste da ferramenta (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2014).

A alta energia local produzida se deve ao grande atrito da ferramenta-peça, ao reduzir o atrito não somente o calor é diminuído assim como os esforços e a potência exigida da máquina.

Conforme os diversos tipos de fluídos podem ser classificados como:

- a) Ar;
- b) Tipos Aquosos: água, emulsões;
- c) Óleos.

2.5.7 Óleos minerais, Óleos graxos, Óleos compostos, Óleos de extrema pressão

Devido ao processo de furação por escoamento ser realizado em altas temperaturas, se faz necessário a utilização de lubrificantes para assim evitar a adesão do material na ferramenta e reduzir o desgaste, porém pode realizar-se as perfurações sem nenhum lubrificante, podendo assim reduzir a vida útil da ferramenta (LOPES, 1994).

São utilizados os lubrificantes na forma líquida e pasta, os mesmos são compostos de sulfeto de zinco (ZnS). O lubrificante pastoso comumente é aplicado de forma manual antes de cada furo, o lubrificante líquido pode ser utilizado através de sistemas de lubrificação automáticos (ECKHARDT, 2003).

2.5.8 MQL (Mínima quantidade de fluido)

Um meio para se reduzir a quantidade de fluido é o MQL (mínima quantidade de fluido), neste método a ferramenta é auxiliada com uma pequena quantidade (mínima possível) de fluido lubrificante e/ou refrigerante (KLOCKE, 2011).

Comumente é utilizado de duas maneiras, a primeira é quando não há sistema de ar comprimido, a ferramenta é auxiliada por meio de uma bomba que fornece gotículas individuais sucessivas, finamente dosadas de óleo. Outro meio é com o sistema de ar comprimido, o fluido é utilizado em partículas ultrafinas, juntamente com o ar comprimido em um bico, funcionando como um aerossol para o local de usinagem ou conformação (KLOCKE, 2011).

2.5.9 À Seco

Há casos isolados em que o fluido de lubrificação e/ou refrigeração é evitado, nestes casos é utilizado à seco. Neste caso o grande calor produzido pelo atrito pode danificar a ferramenta e durante o processo pode haver a adesão do material na mesma. Esta alta energia gerada pode diminuir a vida da ferramenta e a qualidade do processo (KLOCKE, 2011).

Nos casos em que é necessário a não utilização do fluido, deve ser avaliado o tipo de ferramenta a ser utilizada, pois há vários materiais que possuem alta resistência ao calor e

podem ser utilizadas sem o fluido, não obstante, não é diminuído a sua vida. Alguns dos materiais são os carbonetos cementados, cermets, cerâmicas e CBN (KLOCKE, 2011)

2.6 AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA E BAIXA LIGA (ARBL)

A maioria das ligas ferrosas é de aços carbono e aços de baixa liga. Os motivos para essas ligas são simples, possuem preços moderados, devido à ausência de grandes quantidades de elementos de liga, e são suficientemente dúteis para serem prontamente conformados e o produto final é forte e durável (CALLISTER JR., 2018).

Uma classe interessante de ligas conhecidas como aços de alta resistência e baixa liga são (ARBL) tem surgido em resposta aos requisitos de redução de peso em veículos (SHACKELFORD, 2014).

As composições de muitos aços ARBL comerciais são patenteadas e especificadas pelas propriedades mecânicas, em vez da composição. O resultado da seleção da liga ideal e do processamento controlado cuidadosamente, é o que diferencia estes materiais (SHACKELFORD, 2014).

A literatura define que os aços de alta resistência e baixa liga são aços com baixo teor de carbono, resultantes de processos que incorpora, durante a sua fabricação, conceitos de endurecimento por precipitação, refinamento de grão e adição de microligantes em pequenas quantidades, resultando em aços com maior resistência e melhores características de trabalhabilidade (KOU, 2003).

Os aços ARBLs são classificados como aços de baixo teor de carbono, ou seja, contendo menos de 0,25% C e possuem em sua composição elementos de liga como cobre, vanádio, níquel e molibdênio e uma microestrutura ferrítica-perlítica que juntamente com o processo de laminação, melhoram consideravelmente as propriedades mecânicas do aço (CALLISTER JR., 2018).

O avanço dos processos de fabricação possibilitaram às siderúrgicas a criação de novos materiais otimizados e de melhor desempenho. A laminação a quente, juntamente com uma posterior normalização. Resulta em uma recristalização da microestrutura do aço, influenciando positivamente no limite de escoamento e na capacidade de deformação do material (FRIPP, 2017).

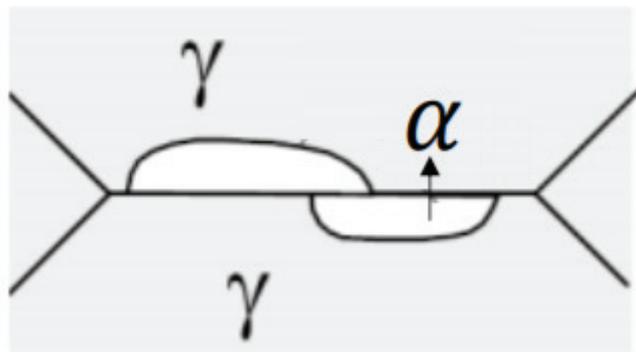
Mello (2019), afirma que os aços ARBL, geralmente contendo microadições de Nb, Ti e V, uma microestrutura ferrítica-perlítica mais refinada é apresentada. A fase ferrítica, junto com o microconstituente chamado perlita, garantem uma maior capacidade de endurecimento

por precipitação e proporcionam um aumento na sua resistência. Uma maior quantidade de perlita promove o aumento da resistência mecânica e dureza do material. Em compensação, há uma ligeira perda de estampabilidade no material. A fase ferrítica, macia e contínua, fornece ductilidade ao aço.

Quando há uma deformação, a tensão se acumula nas regiões de menor resistência da fase, isto é, em torno das regiões duras, como a cementita, aumentando a dureza do material. Outro fato importante é que a taxa de deformação e a possibilidade de alongamento fazem com que o aço bifásico obtenha uma resistência maior se comparado aos aços convencionais equivalentes. Durante a deformação plástica, o escoamento da matriz ferrítica, dúctil, através das ilhas de cementita, dura, encrua o material, o que ajuda no aumento de sua resistência mecânica.

O aumento da resistência à tração é uma consequência de uma maior fração volumétrica da fase dura (cementita). Esta fase atua também como barreira ao movimento de discordâncias e aumenta o encruamento da fase dúctil durante o processo de deformação. A morfologia da fase ferrítica influencia nas propriedades mecânicas. A ferrita acicular surge na forma de pequenos grãos não alinhados de ferrita, encontrados no interior do grão da austenita, bem como contornos de grão de alto ângulo e elevada densidade de discordâncias. Já a ferrita equiaxial tende a se formar nos contornos de grão austeníticos, apresenta tamanho de grão relativamente grande e é a morfologia mais simplória da ferrita, como apresentado na Figura 17:

Desenho esquemático da formação de ferrita alotriomórfica equiaxial nos contornos de grão austeníticos



Fonte: Adaptado de Mello (2020).

2.6.1 EFEITO DOS ELEMENTOS DE LIGA

Para Mello (2020), a adição de elementos de liga é feita visando:

- 1) Aumentar a dureza e resistência mecânica.
- 2) Implementar resistência uniforme através de toda seção em peças de grandes dimensões.
- 3) Diminuir o peso da peça por conta do aumento da resistência, de modo a reduzir a inércia de uma parte em movimento ou reduzir o peso-morto em um veículo ou numa estrutura.

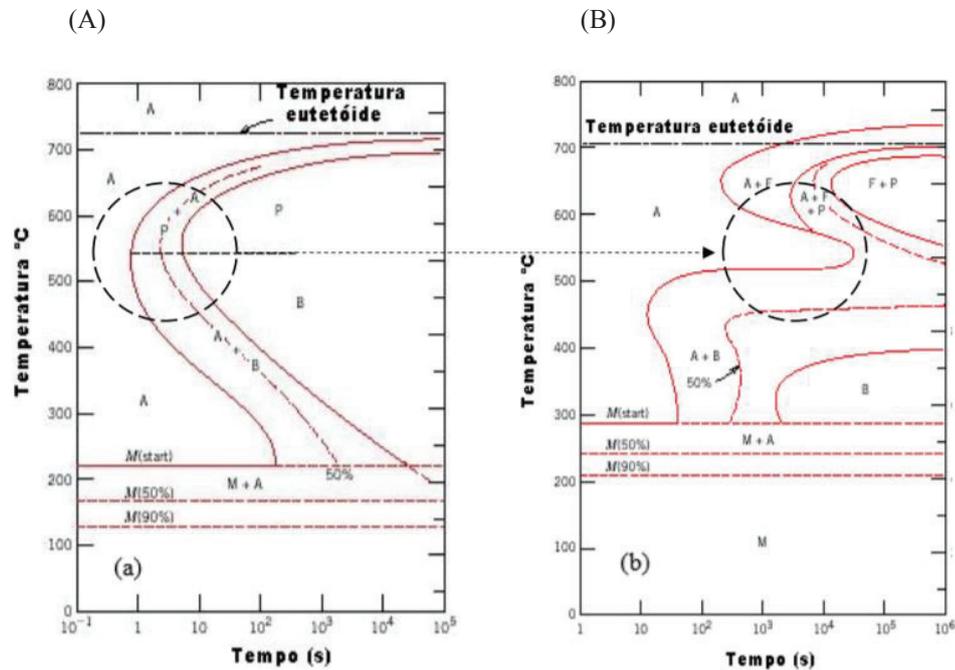
Esses efeitos são obtidos pelo aumento de resistência da ferrita e pela formação de carbonetos. Com a adição de um ou mais elementos de liga em teores baixos, sendo o somatório dos percentuais de elemento de liga $\leq 5\%$, é possível aumentar as propriedades mecânicas do aço. Aumento do limite de escoamento via endurecimento por precipitação para teores de carbono entre 0,01 e 0,50%.

Existem elementos de liga que, quando dissolvidos na ferrita, aumentam a resistência do material, mesmo na ausência de tratamento térmico. Esse aumento não necessariamente acompanha a redução da tenacidade como a maioria dos mecanismos de endurecimento, ele pode melhorar essa característica como é o caso do endurecimento por refino de grão.

O Nióbio, por exemplo, quando dissolvido na austenita pode atrasar tanto a nucleação como o crescimento da ferrita. A nucleação pode ser atrasada pela formação de um arranjo fino de precipitados de *MWCKNL* (família dos nitretos, carbonetos e carbonitretos de um metal M), no grão austenítico (quando se trata de elementos com forte tendência de formação de carbonetos como V, Nb e Ti). Os precipitados, no início, são coerentes com a austenita, o que dificulta a nucleação da ferrita. O atraso também pode ser justificado pela segregação de elementos de liga ou conssegregação de carbono e elementos de liga nos contornos dos grãos austeníticos, que diminui a atividade e a difusividade do carbono nos contornos de grão dificultando a formação de núcleos de ferrita. Os elementos alfacênicos, podem também consolidar o embrião de ferrita, ou alterar a sua estrutura reduzindo sua efetividade em nuclear grãos de ferrita. O crescimento pode ser atrasado por ação da partição. Elementos estabilizadores de ferrita, durante a formação da fase α não sofrem partição entre a austenita e a ferrita, mas os elementos estabilizadores de austenita sofrem. Quando não ocorre a partição o crescimento da ferrita advém da difusão do carbono. No entanto, quando não ocorre pela difusão de carbono, decorre do fenômeno da difusão do elemento de liga. Como o carbono é um soluto intersticial a velocidade de difusão é maior que a difusão do elemento de liga que é soluto substitucional. Portanto, o crescimento controlado pela difusão do elemento de liga atrasa

o crescimento da ferrita. A segregação de elemento de liga na interface austenita/ferrita influencia na diminuição da difusão do carbono prejudicando a cinética do processo de crescimento da ferrita. O efeito do arrasto de soluto ocorre quando a interface austenita e ferrita se move e arrasta os átomos de elemento de liga, tornando o movimento mais lento. Na formação da austenita, o aquecimento à temperatura de austenitização retém todos os elementos de liga em solução na austenita. A temperatura de crescimento de grão torna-se um pouco maior, principalmente por conta das inclusões não-metálicas que não dissolvem na austenita. Por exemplo, o nitreto de alumínio que evita o crescimento de grão até temperaturas bem superiores a 925°C, como 1100°C. O gráfico da Figura 18 mostra o efeito dos elementos de liga sobre a temperatura eutetóide, evidenciando os elementos alfa-gênico e gama-gênico. Para formação de perlita é conhecido que elementos de liga estabilizadores de ferrita aumentam a temperatura eutetóide, e os estabilizadores de austenita provocam o inverso. Também podem aumentar ou diminuir o espaçamento interlamelar da perlita. Quando o aço ARBL é submetido a um resfriamento contínuo, o aumento da taxa de resfriamento promove a formação de perlita à temperatura mais baixa. A perlita formada possui lamelas mais finas, ou seja, mais dura. A adição de elemento de liga desloca da curva TTT para direita, com exceção do cobalto. O acréscimo de manganês, vanádio e níquel favorece o aumento da temperabilidade dos aços bifásicos, assim como o carbono e o silício, que atuam em solução com o ferro. Esse efeito possibilita a têmpera de seções mais grossas e favorece a uniformidade da resistência ao longo da seção. Também possibilita métodos de resfriamento mais brandos que diminuem o risco de empeno e fissuração. (Figura 18):

Figura 18 (A) e (B) – Curva TTT (A) para uma liga de ferro-carbono com composição eutetóide, onde: (A=austenita, B=bainita, M=martensita e P=perlita). Curva TTT (B) para um aço-liga, onde: (A= austenita, B=bainita, M=martensita e F= ferrita proeutetóide).



Fonte: Adaptado de Mello (2020).

2.6.1 ASTM A-36

O material ASTM A36 está classificado dentro da norma técnica ASTM de material de construção da classe A. O material designado ASTM A36 é diferenciado dos aços SAE 1020 e outros, pois possui propriedades mecânicas bem delimitadas. Isso permite que esse aço seja utilizado em projetos de responsabilidade. Esse material também é fácil de conformar e apresenta excelente soldabilidade. O material ASTM A36 tem aplicação estrutural, ou seja, pode ser utilizado em pontes, estruturas de equipamentos, passarelas, edifícios, plataformas de petróleo, entre outros e pode ser fornecido na forma de chapa; barra retangular, barra redonda e outros, tais como cantoneiras e perfis (CBCA, 2018).

No Brasil, o aço ASTM A-36 enquadra-se dentro dos materiais especificados pela ABNT NBR 6650 (1980), e ABNT NBR 6663 (1992), para chapas finas de aço-carbono e de aços de baixa liga e alta resistência.

Os requisitos gerais para encomenda, fabricação, acabamento, superfície, inspeção, amostragem, ensaios, embalagem, marcação, certificado, aceitação e rejeição, bem como as tolerâncias dimensionais e de forma a que devem obedecer as chapas produzidas segundo esta Norma, estão definidos na ABNT NBR 6663 (1992). Os requisitos gerais especificados na

ABNT NBR 6663 (1992), complementam a ABNT NBR 6650 (1986); entretanto, se houver divergência, prevalece o especificado na ABNT NBR 6650 (1986).

As chapas finas produzidas segundo a ABNT NBR 6650 (1986), podem ser fornecidas nos seguintes graus: CF-21, CF-24, CF-26, CF-28 e CF-30.

Os requisitos de composição química para os graus CF-21 ao CF-30 podem ser visualizados na Tabela 1:

Tabela 1 - Requisitos da composição química.

Grau	Carbono máximo	Fósforo Máximo	Enxofre máximo
CF-21	0.20	0.040	0.040
CF-24	0.25	0.040	0.040
CF-26	0.25	0.040	0.040
CF-28	0.25	0.040	0.040
CF-30	0.30	0.040	0.040

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6650 (2020).

As chapas finas produzidas segundo a ABNT NBR 6650 são adequadas para a soldagem, desde que sejam utilizados processos e procedimentos adequados. Estas são adequadas para receber revestimento metálico, após preparo apropriado da superfície, exceto esmaltação. O tipo de revestimento deve ser expressamente indicado na encomenda, exceto no caso de pintura.

A cada lote de 50 toneladas ou fração de chapas pertencentes a uma mesma fabricação deve ser retirada uma amostra para ensaio de tração e dobramento. Nos lotes que houver chapa fina cujas espessuras nominais difiram em 1,3 mm ou mais, deve ser retirada uma amostra para ensaio de tração e de dobramento, da maior e da menor espessura.

O corpo-de-prova para ensaio de tração deve ser retirado na posição paralela à direção final de laminação, conforme a ABNT NBR 6663 (1992).

O corpo de prova para ensaio de dobramento deve ser retirado na posição transversal a posição final de laminação, conforme a ABNT NBR 6663 (1992).

As propriedades mecânicas para os graus CF-21 ao CF-30 podem ser visualizados na Tabela 2:

Tabela 2 - Propriedades Mecânicas CF-21 ao CF-30 ABNT NBR 6650(1980).

Grau	Limite de escoamento mínimo (MPa)	Limite de resistência a tração mínimo (MPa)	Alongamento mínimo Após ruptura $L_0=50\text{mm}$ (%)		Dobramento a 180 (graus) calço e = espessura do corpo de prova
			Esspura nominal –e e<3,0	e>3,0	
CF-21	210	340	22	25	1.0 e
CF-24	240	370	20	23	1.5 e
CF-26	260	410	18	22	2.0 e
CF-28	280	440	17	21	2.5 e
CF-30	300	490	16	19	3.0 e

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6650 (2020).

2.6.2 STRENX 700 MCD

A combinação de resistência do aço e facilidade no processamento é o que se espera de um aço mais resistente. O aço de alta resistência deve ser fácil de cortar, dobrar e soldar. Uma industrialização rápida e sem problemas é fundamental para manter os custos de produção baixos.

O STRENX 700 MCD atende tanto às necessidades de resistência quanto à necessidade de facilidade no processamento, mesmo em temperaturas baixas. Esse material permite que os fabricantes impulsionem o desenvolvimento de novos equipamentos de alto desempenho. Essa gama de aço é direcionada principalmente para os segmentos de elevação, transporte e agrícola (SSAB, 2017).

O aço STRENX 700 MCD pode ser fornecido na forma de chapa, barra regular, barra redonda e outros, tais como cantoneiras e perfis I.

A substituição de materiais nas aplicações de manufatura traz muitos benefícios para os produtos e os equipamentos, sendo o principal deles a redução de peso, economia de combustível, maior vida útil do produto e estes fatores contribuem significativamente para reduzir a pegada de carbono de um produto (SSAB, 2017).

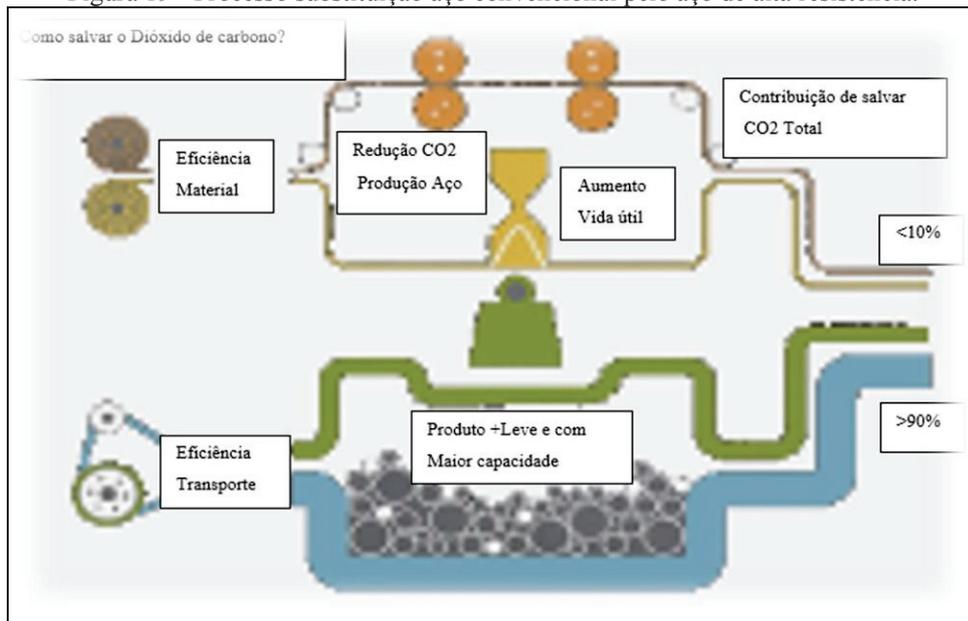
O conceito *EcoUpgraded* é referente ao material STRENX 700 MCD, referente a utilização do aço STRENX 700 MCD, visa identificar aplicações que demonstram ser promissoras para reduzir as emissões de CO₂ durante o uso e a fabricação.

2.6.2.1 Como economizar dióxido de carbono

O conceito *EcoUpgraded* ajuda a economizar CO₂ tanto na produção de aço quanto durante a vida útil do produto final. A eficiência do material e a eficiência do transporte contribuem para a economia de CO₂.

Com aço de alta resistência, o produto final pode ser projetado mais leve (menos aço produzido). Com aço resistente ao desgaste e de alta resistência, o produto final também dura mais tempo (vida útil mais longa). Com menor peso, o produto final precisará de menos combustível para o mesmo trabalho (menor peso). A Figura 19 demonstra esse processo de substituição dos aços convencionais pelo aço de alta resistência STRENX 700 MCD.

Figura 19 - Processo substituição aço convencional pelo aço de alta resistência.



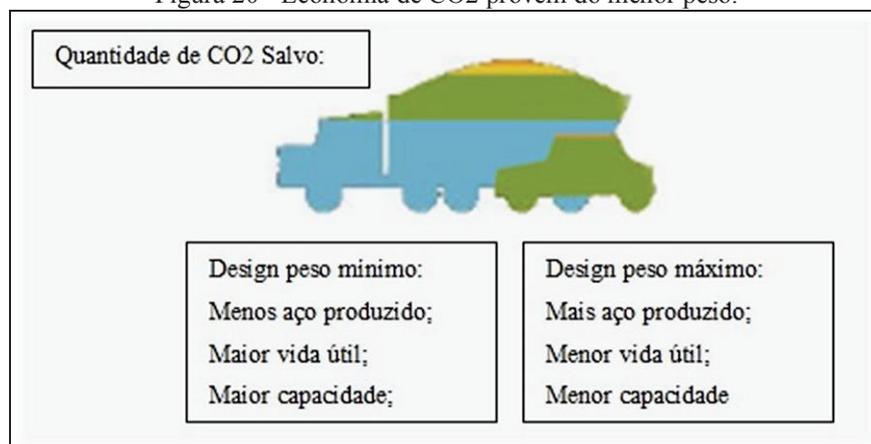
Fonte: Adaptado de SSAB (2017).

Menos viagens para a mesma carga são o resultado quando o peso reduzido leva ao aumento da carga útil (maior capacidade). E essas análises caracterizam para a aplicação de reduções de até 10% de reduções de emissões de CO2 e aumento de capacidade de transporte de até 90%.

2.6.2.2 Economia de CO2

As economias de CO2 diferem para cada aplicação, dependendo se o *design* é ou não mínimo. Em um *design* de menor peso, as economias de CO2 provêm de menor peso e menos aço produzido. Conforme ilustra a Figura 20:

Figura 20 - Economia de CO2 provém do menor peso.

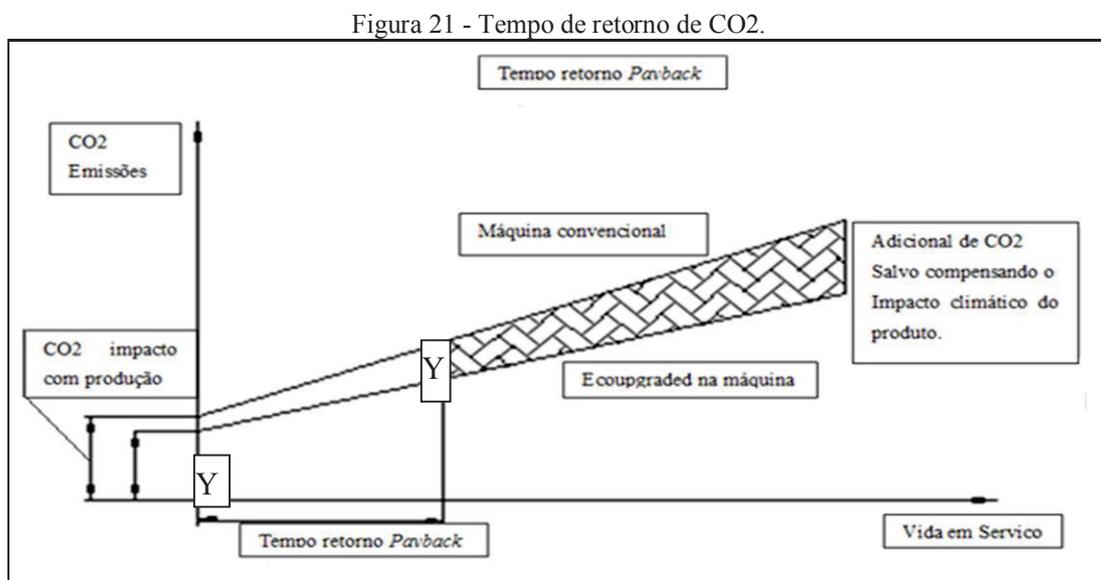


Fonte: Adaptado de SSAB (2017).

Se o peso do projeto é mínimo, a maior capacidade também contribui para a economia. A otimização do material é muito importante para melhora do desempenho. Além disso, a utilização de um material com propriedades capazes de reduzir o desgaste do aço contribuirá com uma vida útil mais longa do equipamento.

2.6.2.3 Tempo de retorno de CO2

Quando utilizados os produtos com aços de alta resistência, se efetiva uma compensação das emissões de CO2, conforme se visualiza na Figura 21:



Fonte: Adaptado de SSAB (2017).

E, uma vez atingido o ponto de equilíbrio, se obtém economia de CO2 equivalendo a muitas vezes a gastos originais de CO2.

2.6.2.4 Conceitos *EcoUpgraded*

A redução da espessura do material utilizado no produto, somada ao aumento da vida útil do produto e ao aumento da capacidade de carga com menores rotas de transporte, possibilita uma diminuição das emissões de CO2. Esse conceito *EcoUpgraded* é identificado na equação 1.

$$\boxed{\text{Total CO2} = \text{Menor Prod. aço} + \text{Maior vida Serviço} + \text{Redução Peso} + \text{Aumento capacidade}} \quad (\text{eq.1})$$

A conscientização dos fabricantes com a aplicação dessa nova tecnologia *EcoUpgraded* gera uma melhoria ecológica na aplicação do material.

Novas tecnologias sempre acarretam novos custos de implementação e o tempo de *payback* de recuperação de CO₂ é igual ao tempo da vida em serviço multiplicado pelas emissões de CO₂ com a produção menos as emissões de CO₂ salvas com a redução da espessura da chapa de aço dividido pelo CO₂, que será reduzido com a maior vida útil do material mais o CO₂ economizado com o transporte, mais o CO₂ economizado com o aumento da capacidade. Esse processo é apresentado na equação 2:

$$\text{Payback CO2} = \frac{\text{Tempo vida serviço} * (\text{Produção CO2 emissões} - \text{CO2 produção Aço})}{(\text{CO2 salvo ciclo vida} + \text{CO2 salvo menor peso} + \text{CO2 salvo com capacidade}} \quad (\text{eq. 2})$$

A quantidade de redução de CO₂ e o tempo de retorno *payback* variam para cada produto.

2.7 MODELOS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SUSTENTABILIDADE

A adoção de sistemas de gestão padronizados, como a série de normas ABNT ISO 14000, especificamente a NBR ISO 14001 e NBR ISO 14040, bem como orientações e recomendações oficiais para relatórios ambientais e sociais, como o *Global Reporting Initiative*, são bons exemplos da preocupação das empresas quanto à sustentabilidade (ZANCOPE; ENSSLIN; ENSSLIN, 2012).

Os modelos de avaliação de desempenho da sustentabilidade surgiram para harmonizar o processo de desenvolvimento de indicadores e para colaborar para a medição de desempenho sobre sustentabilidade. Os indicadores devem ser elaborados para ser robustos e fornecer informações confiáveis aos diferentes *stakeholders*, sem a contrapartida de elevados custos e tempo de análise, mas o que se percebe é que todos esses modelos de avaliação da sustentabilidade caracterizam-se pela ausência de um método estruturado e claro para a identificação dos principais aspectos. Os modelos pouco têm a ver com os valores e com as preferências daqueles que terão que utilizá-los em seus processos decisórios e esses atendem aos critérios universais e não consideram a necessidade de buscar a longevidade dos processos e, por consequência, a prosperidade do negócio (ARAÚJO, 2010).

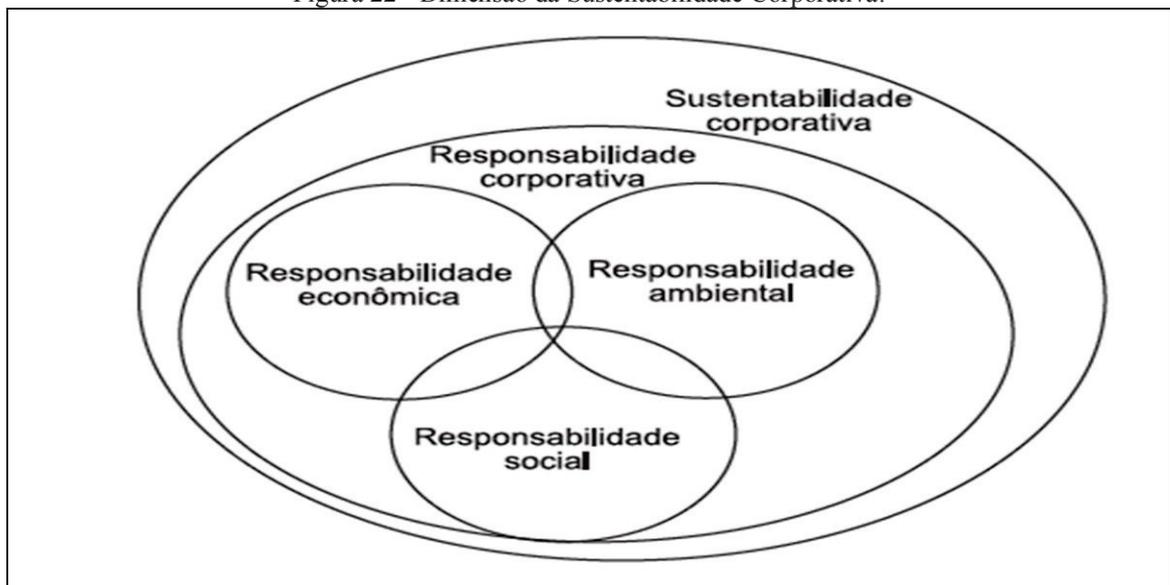
Observa-se que é muito usual nos modelos de avaliação de desempenho da sustentabilidade avaliar entradas e saídas para contabilizar todos os valores dos indicadores, mas é muito importante que o modelo apresente características importantes, conforme se relaciona abaixo e é descrito por Zancopé, Ensslin, Ensslin (2012):

- a) Objetividade (detalhamento necessário para a pesquisa);
- b) Representatividade (contemplar valores e preferências para a pesquisa);
- c) Excesso de informação que desinforma (número de dados elevado que dificulta a utilização).

Hoje em dia, muitos consideram sustentabilidade corporativa e responsabilidade sociais como sinônimos, mas a responsabilidade social diz respeito a fenômenos como transparência, diálogo com os grupos de interesse e elaboração de relatórios de sustentabilidade, enquanto a sustentabilidade corporativa foca na criação de valor (ZANCOPÉ; ENSSLIN; ENSSLIN, 2012).

Os modelos de avaliação da sustentabilidade consideram para as empresas aspectos sociais, econômicos e ambientais. A interligação desses índices caracteriza-se pela responsabilidade corporativa e, a nível macro, se tem a dimensão da sustentabilidade corporativa. (Figura 22):

Figura 22 - Dimensão da Sustentabilidade Corporativa.



Fonte: Adaptado de Zancopé; Ensslin, Ensslin (2012).

Existem vários modelos de avaliação da sustentabilidade e muitos indicadores se repetem nos modelos, alguns não avaliam a sustentabilidade nas suas três dimensões (ARAÚJO, 2010).

Os principais modelos existentes na literatura são:

- a) Modelo Fiksel, Mc Daniel e Mendenhall;
- b) Modelo Thoresen; Modelo Olsthoorn, Tyteca, Wehrmeyer e Wagner;
- c) Modelo Schwarz, beloff e beaver;
- d) Modelo EPA US;
- e) Modelo Hay e Noonam;
- f) Modelo ISO 14031;
- g) Modelo Labuschagne, Brent e Erck;
- h) Modelo da Associação dos Engenheiros Alemães (VDI);
- i) Modelo Global Reporting Initiative (GRI);
- j) Modelo do Instituto dos Engenheiros Químicos (IchemE);
- k) Modelo do Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentavel (WBCSD);
- l) Modelo Veleva e Ellenbecker;
- m) Modelo Azapagic;
- n) Modelo Oisth;
- o) Modelo Pmais;
- p) Modelo Masp His.

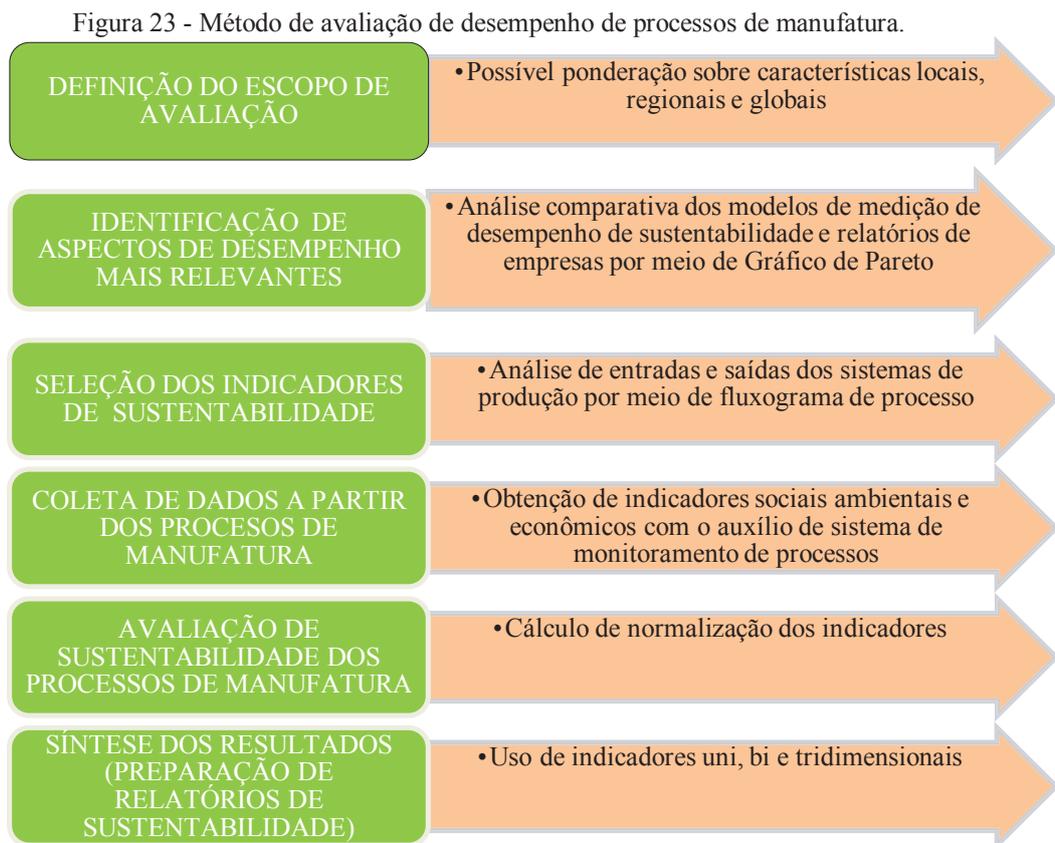
Na revisão da literatura, muitos modelos surgem a cada dia, como é evidente, não ser possível evidenciar a todos os desenvolvidos a nível global, avaliou-se os principais descritos e citados em trabalhos científicos e Brodsky, Shao, Riddick (2016), salienta que o desenvolvimento de modelos para avaliar a sustentabilidade devem ser projetados para facilitar a simulação, criação de cenários, técnicas de otimização para suporte à decisão em manufatura sustentável.

2.8 MÉTODOS MULTIATRIBUTOS AHP (*ANALYTIC HIERARCHY PROCESS*)

A análise multicritério teve seu início nos anos 1960, como instrumento de apoio à decisão. A técnica permite levar em consideração diversos critérios, simultaneamente à análise de uma situação complexa. Isso auxilia os tomadores de decisão a integrarem diferentes opções nas suas ações, refletindo sobre diferentes pontos de vista e considerações pertinentes. O objetivo da técnica consiste em estruturar e combinar diferentes análises consideradas em um processo de tomada de decisão, baseando-se em escolhas múltiplas e o tratamento de informações a cada uma das escolhas condiciona a decisão final (QREN, 2013).

Nesse sentido, os métodos de apoio à tomada de decisão devem ser orientados por objetivos, fornecendo uma visão geral das vantagens e desvantagens de diferentes opções (ALLESCH; BRUNNER, 2014).

Um método de avaliação de desempenho de processos de manufatura considerando parâmetro de sustentabilidade que avaliou a sustentabilidade entre os processos de torneamento cilíndrico e retificação cilíndrica externa foi proposto por Araújo (2010), e está descrito na Figura 23:



Fonte: Adaptado de Araújo (2020).

Após definir o método, também foram utilizados os métodos de Apoio à Decisão Multicritério (ADM) – do inglês *Multicriteria Decision Support* (MDS), os quais não são comuns em problemas ambientais (LINKOV; MOBERG, 2012).

Herva e Roca (2013), realizaram uma revisão do uso do ADM, mais específicas para avaliação ambiental corporativa. Alguns estudos utilizaram os métodos ADM na avaliação de sustentabilidade, a fim de oferecer uma estrutura analítica de decisão sólida para lidar com a natureza multidimensional da sustentabilidade (BACHMANN, 2013; BASSON; PETRIE, 2007; CASTELLINI et al., 2012; SADOK et al., 2008; SADOK et al., 2009; WANG et al., 2015).

Na gestão industrial, estão envolvidos diversos tipos de *stakeholders*, como os supervisores, gerentes, acionistas das empresas (engenheiros, administradores), gestores ambientais, empresários e órgãos fiscalizadores. Esses *stakeholders* precisam de sistemas e ferramentas que os auxiliem na tomada de decisão, lhes indicando possíveis soluções para os diferentes tipos de problemas. Na literatura, tem aumentado o número de pesquisas com alternativas na área de processos de fabricação, criando-se situações de incertezas na tomada de decisão e esforços dos gestores quanto à análise, classificação e seleção destas alternativas, por meio de análise multicritério (MELARÉ et al., 2014).

A Análise Multicritério ou Apoio à Decisão Multicritério (ADM) pode ser uma ferramenta útil nas indústrias, nas quais as decisões precisam ser pautadas em critérios objetivos e transparentes, levando-se em consideração a subjetividade dos gestores e a possibilidade do processo de decisão coletiva, permitindo que os envolvidos nos processos de gestão entendam e correlacionem melhor as alternativas e determinem, ao final, qual a preferência (HERVA; ROCA, 2013; JANNUZZI; MIRANDA; SILVA, 2009).

O conjunto de métodos e técnicas que propiciam o estabelecimento de relação de preferência subjetivo entre as alternativas que são avaliadas sob a influência de multicritérios já encontra consolidação com inúmeras propostas a níveis de métodos, softwares e aplicações (BELTON; STEWART, 2002; FIGUEIRA et al., 2005; ISHIZAKA; NEMEROW, 2009).

O método AHP faz parte da escola americana de análise multicritério e permite o estabelecimento de graus de preferência entre suas alternativas que são definidas na coleta de dados (BELTON; STEWART, 2002; FIGUEIRA et al., 2005; ISHIZAKA; NEMEROW, 2009).

Existem vários métodos multicritérios, como AHP (*Analytic Hierarchy Process*), ANP (*Analytic Network Process*), ELECTRE (*Elimination and Choice Expressing Reality*), PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*), NAIADE (*Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments*) e Fuzzy MCA. E estes métodos de análise hierárquica podem ser adaptados de forma integrada à modelos capacitando os mesmos a validar e obter-se dados quantitativos (MELARÉ et al., 2014).

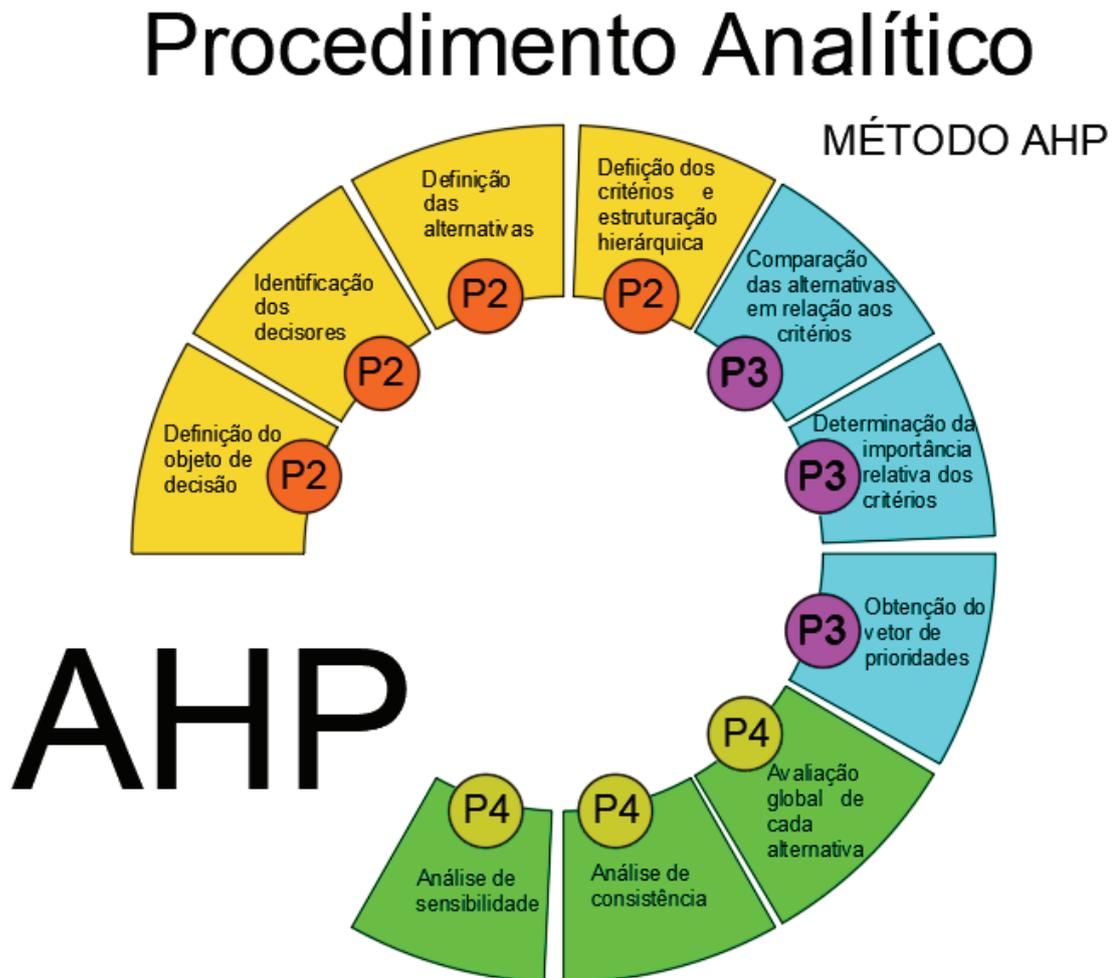
Os modelos de apoio à tomada de decisão podem ser classificados em Modelos de Programação Matemática Multiobjetivos, em que as alternativas a avaliar são definidas implicitamente, isso é, analiticamente, por meio de restrições, e modelos multiatributos discretos em que as alternativas são em número finito, geralmente pequeno, e conhecidas explicitamente (CLÍMACO; DIAS; ALMEIDA, 2015).

Um dos métodos de análise multiatributos mais relevantes é o método AHP, pois aborda problemas complexos de escolha de formas simples e permite avaliar um número finito de alternativas de maneira hierárquica considerando critérios qualitativos e quantitativos (ESCOBAR, 2015).

O método AHP possibilitará uma série de comparações, podendo considerar o vetor médio para o cálculo da matriz normalizada (ponderações). O método também reduz a subjetividade na tomada de decisão por meio da criação, de uma série de filtros que auxiliam nas complexas alternativas (MUNÓZ; ROMANA; ORDÓÑEZ, 2016).

O procedimento analítico do método AHP está estruturado em um conjunto de procedimentos conforme a Figura 24:

Figura 24 - Procedimento analítico do método AHP.



Fonte: Adaptado de Marques (2018).

Os problemas de decisão envolvem múltiplos objetivos e critérios, muitas vezes contraditórios entre si, em que a contribuição de um critério pode representar um prejuízo para

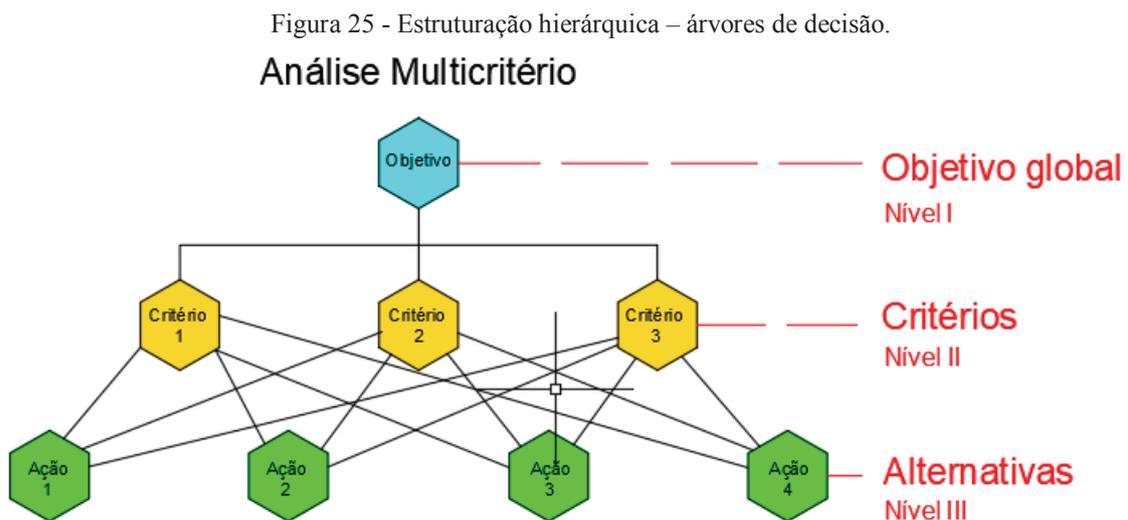
o outro. A problemática da tomada de decisão é caracterizada por um número crescente de alternativas e critérios e o tomador de decisão necessita selecionar, ordenar, classificar ou ainda descrever com detalhes as alternativas tecnológicas disponíveis, considerando múltiplos critérios (LIMA et al., 2013).

De acordo com Vieira (2006), o método AHP está construído sobre três princípios:

- a) **Construção de hierarquias:** um problema complexo geralmente requer a estruturação dos critérios em uma hierarquia, por ser um procedimento natural do raciocínio humano. O método AHP permite a estruturação dos critérios, sendo a estruturação em árvore a mais utilizada, em que o critério de mais alto nível é decomposto a níveis mais detalhados;
- b) **Definição de prioridades:** tais prioridades são definidas a partir de comparações par a par dos elementos, à luz de determinado critério;
- c) **Consistência lógica:** o método permite, por meio da proposição de índices, avaliar a consistência da definição de prioridades, ou seja, é capaz de verificar a consistência dos julgamentos.

A estruturação do objetivo, dos critérios e das alternativas de modo hierárquico na forma de uma árvore é característica do método e consiste na decomposição sistemática dos critérios em níveis mais detalhados (COSTA; BELDERRAIN, 2009).

A árvore hierárquica do referido estudo apresenta-se na Figura 25:



Fonte: Adaptado de Marques (2018).

Se os resultados forem iguais, o peso atribuído será 1,0. Após a comparação par a par com cada cenário e com cada indicador, será realizada uma normatização, com os valores médios, e a soma de cada ponderação dará sempre 1,0.

Considerando o peso dos *stakeholders*, utiliza-se de técnicas de campo com entrevistas realizadas com os *stakeholders* com a utilização de questionários formalizados em pares de elementos em uma escala de 1 a 9, onde 1 representa a importância igual de cada elemento e 9 representa a extrema importância de um elemento sobre o outro para identificar o peso do índice faz-se necessário a opinião de especialistas na profissão (HALOG et al., 2004).

De acordo com Vieira (2006), a importância relativa dos critérios é atribuída ao problema por meio de pesos.

Estes pesos, ou coeficientes de prioridade, representam o quanto um critério está disposto a ceder com a finalidade de melhorar o desempenho do outro (VIEIRA, 2006).

Para essa quantificação foi considerada a escala fundamental de Saaty (1980), conforme pode ser visualizado na Figura 26:

Figura 26 - Escala Fundamental de Saaty.

DEFINIÇÃO:	VALOR:	DESCRIÇÃO:
Importância igual	1	Dois elementos contribuem igualmente para o objetivo
Importância fraca de um critério sobre o outro	3	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra.
Importância forte	5	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra.
Importância muito forte ou demonstrada	7	Uma atividade é fortemente favorecida em relação à outra e sua dominância é demonstrada na prática
Importância absoluta	9	A evidência a favor de um elemento sobre o outro é da maior ordem de afirmação.
Vários intermediários entre dois julgamentos adjacentes	2,4 6,8	Quando se necessita de Comprometimento

Fonte: Adaptado de Marques (2018).

Essa metodologia é muito utilizada para validação de cenários, pois compara os métodos teóricos com dados reais oriundos da percepção dos usuários, o método pode ser aplicado em diversas situações, tais como: indústrias, empresas, na valoração de ativos tangíveis e intangíveis auxiliando a gestão empresarial (WANG et al., 2015).

2.8.1 Calcular a relação de consistência

Calcular a relação de consistência ou análise de sensibilidade é uma técnica simples para avaliar a robustez dos resultados que são obtidos a partir da avaliação de impacto (SINGH; SARKAR 2019).

Quando julgamos algo complexo e com muitas variáveis podemos errar e ser inconsistentes no julgamento. Se o tomador de decisão classificou o critério “A” como mais relevante que o critério “B”, e classificou “B” como sendo muito mais preferível ao “C”, estará sendo inconsistente caso julgue o critério “A” indiferente em relação ao critério “C” (RAGSDALE, 2003).

O método exige que o tomador de decisão diga, ele mesmo, quanto “A” é mais importante que “C”, permitindo que inconsistências apareçam e sejam detectadas durante o processo de julgamento. A redundância, apesar de deixar o processo mais trabalhoso, é positiva por ser um mecanismo de “autocontrole” do método.

É normal aparecer alguma inconsistência. O importante é que o tomador de decisão saiba mensurar a intensidade da inconsistência, e evitar que ela chegue perto do ponto de atrapalhar a avaliação e o processo de decisão. No método AHP, a relação de consistência precisa ser menor que 0,1 (10%) para ser aceitável (SAATY, 1980). Relação de consistência acima de 10% indica que fomos incoerentes nas nossas avaliações.

Para calcular a relação de consistência devemos, para o primeiro critério, multiplicar cada peso da matriz normalizada pelos respectivos valores da Tabela de comparação realizada. Os resultados dessas multiplicações devem ser somados e divididos pelo peso normalizado do primeiro critério. Essa será a medida de consistência do primeiro critério. Prossegue-se com os cálculos para cada critério, alterando o valor dos pesos e julgamentos realizados inicialmente. No final, tem-se a medida de consistência de cada critério. Tendo essas medidas, se calcula o CI (Consistency Index) para finalmente calcular o CR (Consistency Ratio), Abaixo apresenta-se as fórmulas (RAGSDALE, 2003).

a) *Consistency Index* ou índice de consistência

$$(CI) = \frac{(\lambda \text{ max} - n)}{(n - 1)}$$

(eq. 3)

b) *Consistency Ratio* ou Relação de consistência

$$(CR) = \frac{CI}{RI}$$

(eq.4)

Onde:

λ máx = Média das medidas de consistência calculadas inicialmente

n = número de alternativas comparadas

RI = Random Index (Índice de correção correspondente, também chamado de índice de consistência aleatória conforme Tabela 3 que apresenta a primeira versão proposta por Saaty:

Tabela 3 - Valores de RI por Saaty, (1980).

N	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

Fonte: Adaptado de SAATY (1980).

Algumas literaturas fazem referência à Tabela 3, mas devemos utilizar os cálculos de RI, conforme a Tabela 4:

Tabela 4 - Valores de RI recalculados por Saaty, (1990).

N	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49	1.51	1.54	1.56	1.57	1.58

Fonte: Adaptado de SAATY (1990).

Essa Tabela 4, apresentada acima foi recalculada e proposta por Saaty em 1990 e por apresentar dados mais recentes é a que deve ser utilizada.

2.9 MEDIÇÃO DO RUÍDO (PRESSÃO SONORA)

O nível de pressão sonora ou NPS corresponde à variação do nível da pressão atmosférica, situada numa frequência entre 20 e 20.000 Hz, frequências captadas pelo ouvido humano. Para se medir esses níveis são utilizados instrumentos específicos, dentre os quais o decibelímetro. Como os níveis de ruído variam de maneira aleatória no tempo, mede-se o nível equivalente (LAeq), expresso em dB, que representa a média de energia sonora durante um intervalo de tempo, ABNT NBR10151 (2019).

O nível de pressão sonora equivalente (LAeq) deve ser calculado pela Equação 5:

$$L_{A_{eq}} = 10 \log_{10} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad \text{Eq.(5)}$$

$L_i = \acute{E}$ o nível de pressão sonora em dB(A) lido em resposta rápida (fast) a cada 10 segundos, durante pelo menos cinco minutos;

$n = \acute{E}$ o número total de leituras;

Após o cálculo do LA eq se deve calcular o NEN conforme a Equação 6:

$$NEN = NE + 16,61 \times \log \frac{TE}{480} \quad \text{Eq.(6)}$$

Onde:

NE é o nível médio, ou seja, o Leq;

TE é o tempo de duração da jornada de trabalho.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Neste capítulo, está descrito o processo metodológico para a realização desta pesquisa, abordando o processo metodológico e o local escolhido para a realização das investigações.

Apresenta-se o detalhamento de como foi realizada a pesquisa, dividida em etapas e quando necessário divide-se estas etapas em fases atendendo à sequência apresentada nos objetivos específicos propostos.

3.1 CARACTERIZAÇÕES DO OBJETO DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida no norte do estado do Rio Grande do Sul, no município de Passo Fundo/RS, na Universidade de Passo Fundo (UPF).

A pesquisa foi desenvolvida na Faculdade de Engenharia e Arquitetura (Fear) da UPF e o principal laboratório utilizado para o desenvolvimento da pesquisa é o laboratório de Manufatura CNC do curso de Engenharia Mecânica (Figura 27):

Figura 27 - Laboratório Manufatura CNC.



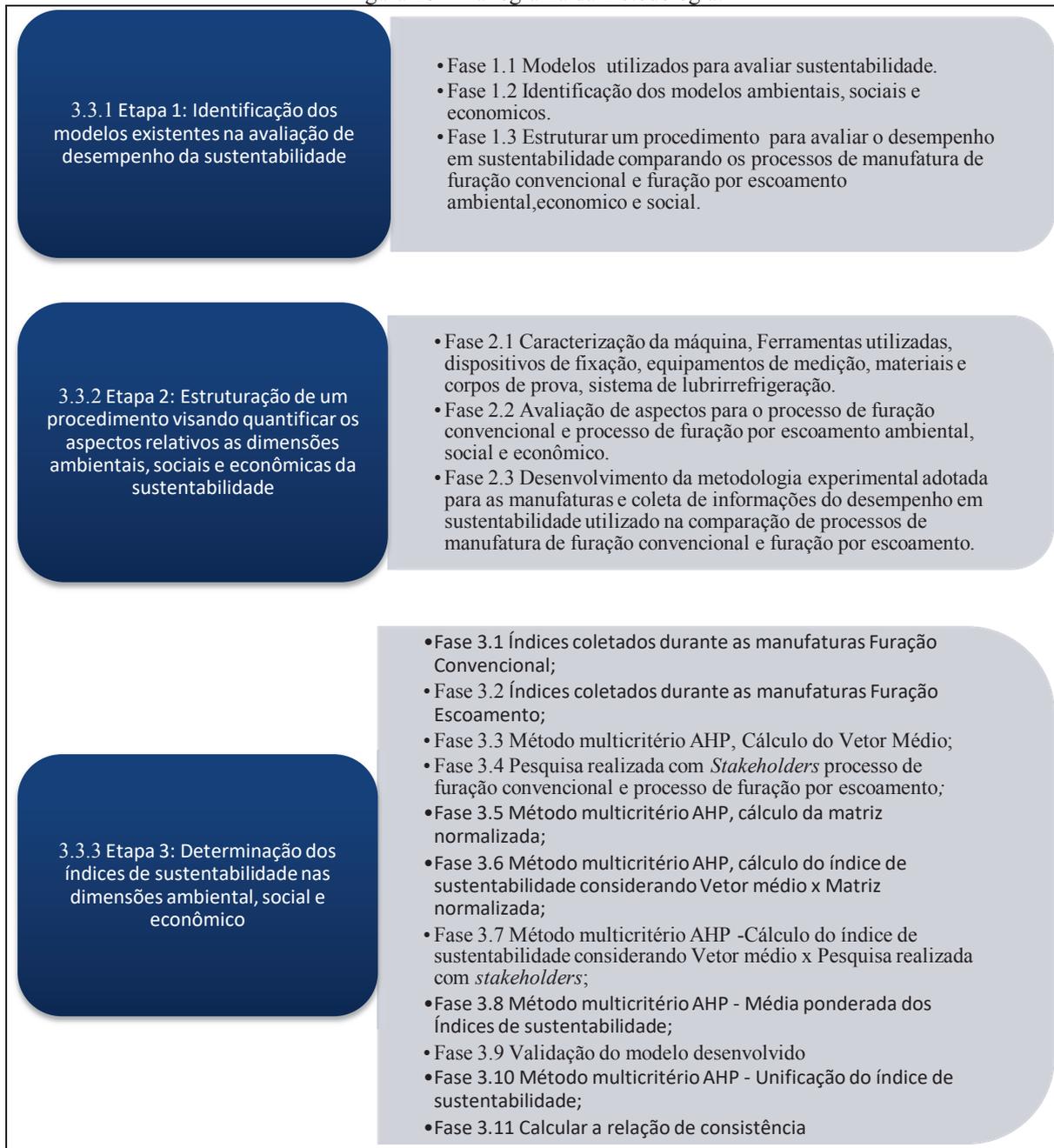
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Outros laboratórios também foram utilizados como o de Ensaio Mecânicos, laboratório de Metalografia, laboratório do Microscópio Eletrônico de Varredura da UPF/Parque Científico e Tecnológico.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo, apresenta-se o procedimento metodológico para a pesquisa, a qual foi desenvolvido em etapas e fases em sincronia com a sequência apresentada nos objetivos específicos. Essa estrutura metodológica descreve-se no fluxograma da Figura 28:

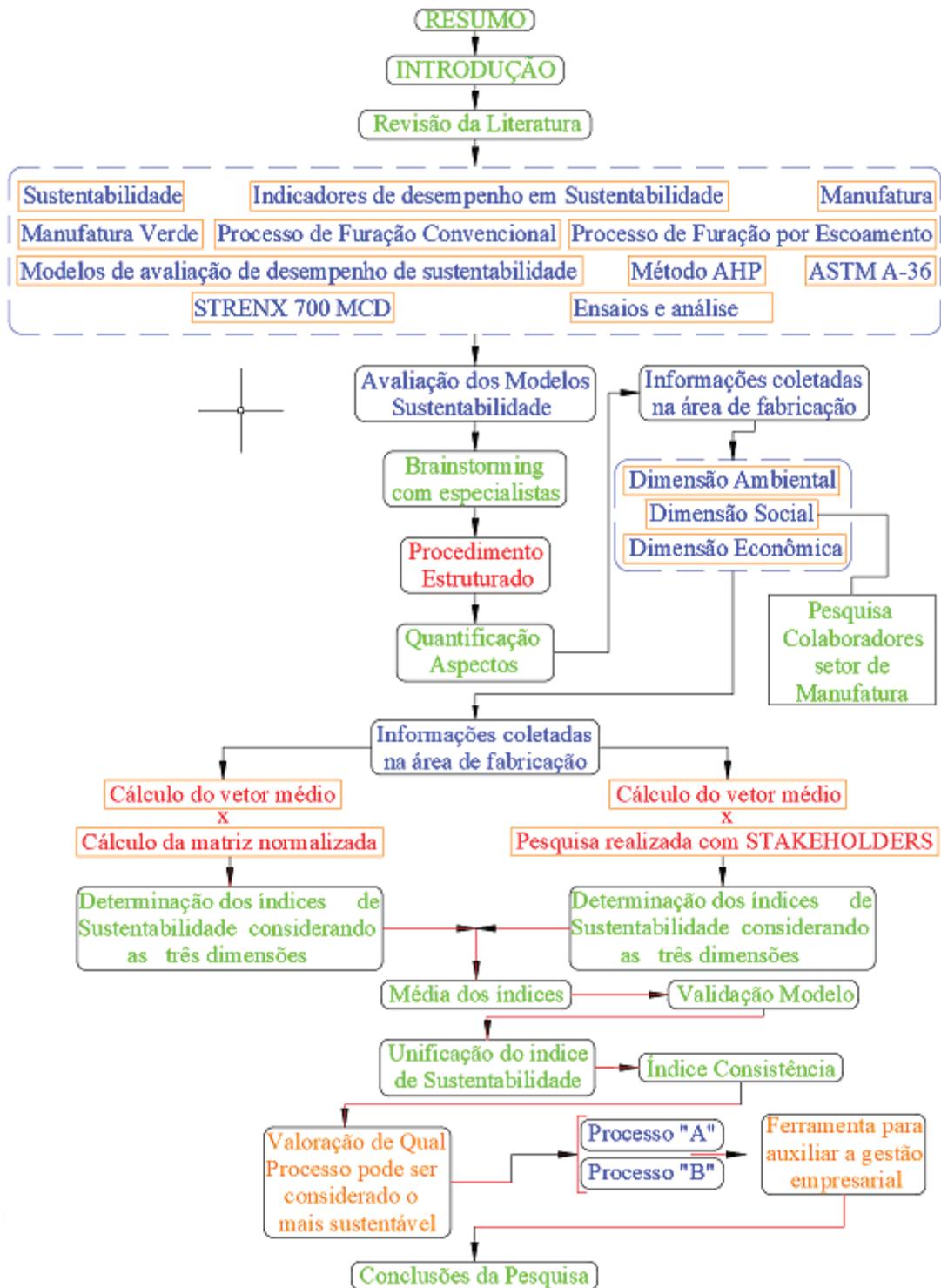
Figura 28 - Fluxograma da metodologia.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para entendimento do procedimento metodológico descrito na Figura 28 é ilustrado na Figura 29 o fluxograma da pesquisa:

Figura 29 - Fluxograma de desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Na seqüência, encontra-se o detalhamento de cada etapa desenvolvida, conforme a estruturação dos fluxograma da metodologia das Figuras 28 e 29.

3.3 ETAPA 1 IDENTIFICAÇÃO DOS MODELOS EXISTENTES NA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA SUSTENTABILIDADE

3.3.1 FASE 1.1 Modelos utilizados para avaliar sustentabilidade

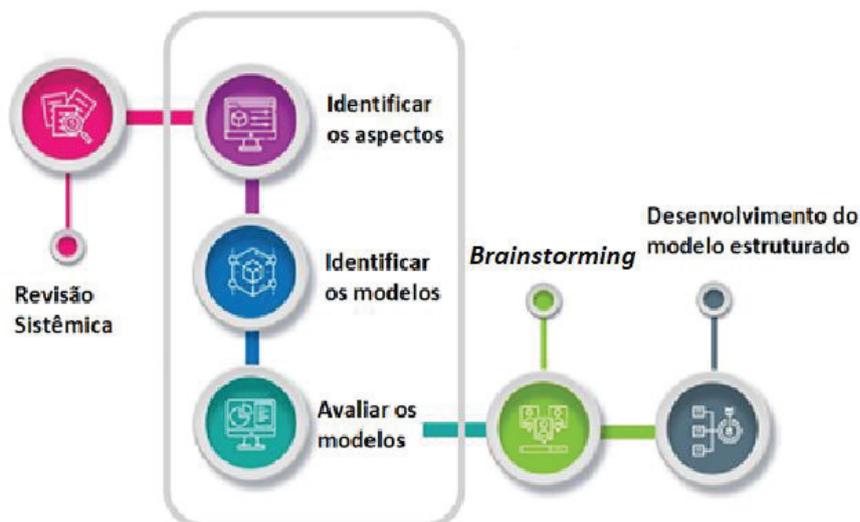
A revisão sistêmica teve como principal objetivo buscar no estado da arte os modelos já desenvolvidos mais importantes e considerou-se informações como: características, dimensões e escopo e esses modelos foram pesquisados por meio de consulta a artigos técnicos, revistas, repositório de teses de universidades.

Durante o estudo, buscou-se correlacionar esses modelos de avaliação de sustentabilidade, avaliando o escopo de aplicação do modelo, considerando uma aplicação mais ampla, como por exemplo: proceder à avaliação da sustentabilidade nas cidades ou apresentar um escopo de aplicação mais específico, como é o caso da avaliação da sustentabilidade na manufatura.

Também se identificou quais as ferramentas de avaliação que os modelos utilizam para o desenvolvimento do banco de dados, podendo ter por base aspectos, relatórios de sustentabilidade, ferramentas da qualidade, etc.

O estudo desenvolvido foi composto abrangendo duas etapas: revisão sistemática e entrevistas, conforme detalhado na Figura 30:

Figura 30 - Metodologia desenvolvida para identificação dos modelos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A Figura 30 demonstra o fluxograma da metodologia e apresenta-se melhor descrito nas subseções seguintes.

1) Análise Sistemática

Para alcançar os objetivos propostos, foi realizada uma revisão de literatura, através de uma análise sistemática. Este método foi escolhido por mitigar a possibilidade de erros e permitir a replicabilidade das informações (MEDEIROS; RIBEIRO; CORTIMIGLIA, 2014).

Desta forma, seguindo as instruções de Tranfield et al. (2003), e Moher et al. (2009), o desenvolvimento da revisão envolveu cinco etapas: (i) objetivo da pesquisa definição; (ii) seleção do banco de dados; (iii) identificação de palavras chave; (iv) seleção de artigos compatíveis e (v) extração de dados.

Em relação a etapa (i), a compreensão dos diferentes conceitos que estão sendo utilizados atualmente em trabalhos acadêmicos para o tema avaliação de desempenho em sustentabilidade objetiva-se obter um conjunto de aspectos amplos e que poderiam ser aplicados nos processos de manufatura de furação convencional e por escoamento.

Na etapa (ii), seleção do banco de dados, foi realizada uma revisão sistemática estabelecida a partir da definição das palavras-chave combinadas e da correlação da palavra chave principal com as demais palavras chave secundárias nas bases de dados web *off science*, *scopus*, e a biblioteca do software *End note* versão estudante. Inicialmente foi realizada uma combinação das palavras chaves com o intuito de buscar artigos alinhados com o tema, conforme pode ser visualizado na Figura 31:

Figura 31 - Combinação das palavras chave.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Como o resultado não foi satisfatório, através das combinações das palavras chaves, foram utilizadas palavras de forma isolada, etapa (iii), sendo elas: Sustentabilidade – *Sustainability*; Modelos de avaliação de desempenho em sustentabilidade – *Performance evaluation models in sustentanability*. Por meio da aplicação dos filtros nas bases de dados,

como: recursos *on line*, periódicos revisados por pares, idioma inglês, temas como *tecnology*, *sustainability*, seleção dos anos 2014 à 2020; Foi realizada a seleção dos artigos em bruto conforme a Tabela 5:

Tabela 5 - Artigos após a aplicação filtros.

BASE DE DADOS:	ARTIGOS PESQUISADOS
<i>Science Direct</i>	322
<i>Scopus</i>	288
<i>End note</i> estudante	9
TOTAL:	619

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O conjunto de publicações passou por uma avaliação crítica e centrada no objetivo da pesquisa de desenvolver um procedimento estruturado para avaliação de desempenho em sustentabilidade em processos de manufatura.

Finalmente, uma abordagem agregadora foi usada para resumir as conclusões. Essa abordagem depende em grande parte da interpretação subjetiva do pesquisador sobre os artigos analisados, e isso ocorre porque, conforme afirma Tranfield et al. (2003), um certo grau de latitude subjetiva deve ser dado ao pesquisador para que estudos tão distintos possam ser comparados e considerados a fim de extrair significados compartilhados e abstratos.

2) Metodologia para a pesquisa junto aos especialistas

Foi realizada uma análise criteriosa dos trabalhos identificados na revisão sistemática e desenhou-se a metodologia para o desenvolvimento do procedimento estruturado que identifica os aspectos importantes de avaliação considerando os processos de furação convencional e furação por escoamento como estudos de caso para validar o modelo nas dimensões da sustentabilidade ambiental, social e econômica conforme o fluxograma da Figura 32:

Figura 32 - Metodologia para a pesquisa.

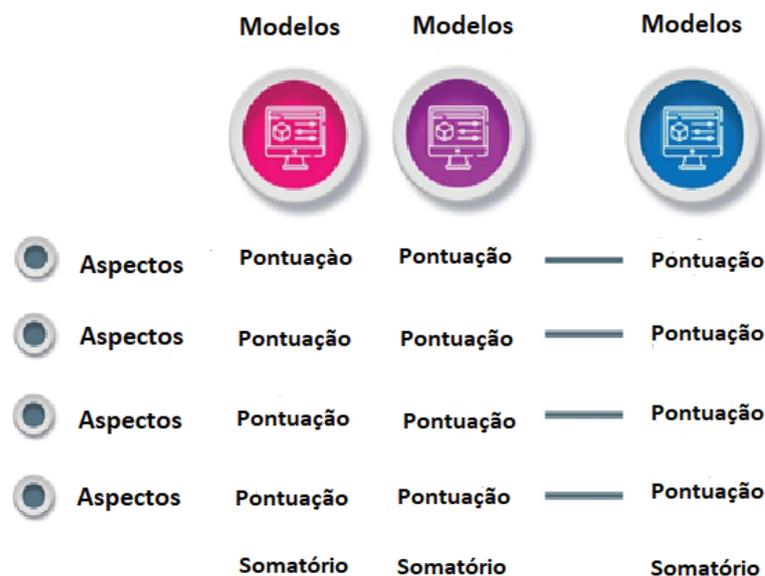


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

3.3.2 FASE 1.2 Identificação dos modelos ambientais, sociais e econômicos

Desta análise, surge a necessidade de ter-se uma ferramenta capaz de filtrar as informações de cada modelo e identificar aqueles que apresentarem uma maior quantidade de aspectos. Sendo assim, definiu-se um procedimento de avaliação para esses modelos de sustentabilidade, e essa análise foi realizada através da ferramenta organizacional em planilhas do Excel®. A Figura 33 exemplifica como foram estruturadas as informações:

Figura 33 - Estruturação dos modelos Excel.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Avaliou-se os aspectos e modelos estudados. Nas colunas, foram especificados os modelos, e, nas linhas, os aspectos pertinentes de avaliação. Na coluna tem-se o nome dos

modelos abreviados e nas linhas o nome dos aspectos avaliados em cada modelo. A maioria dos modelos não avalia os mesmos aspectos, como por exemplo o modelo GRI – *Global Reporting Initiative*, que pode avaliar o aspecto energia enquanto que o modelo ISO 14031, poderá não considerar relevante esse aspecto em função da sua aplicação. O Quadro 3 (A) e (B) exemplifica a planilha de avaliação dos modelos:

Quadro 3 - (A) Planilha de avaliação dos modelos.

ASPECTO	GRI	14031	LABU	ICHEME	VDI	FIKSEL	THORES
MATERIAIS							
ENERGIA							
AGUA							
EMISSIONES							
EFLUENTE							
RESIDUOS							
FORNECEDORES							
PROD. SERVIÇO							
EMBALAGEM							
TRANSPORTE							
MAT. TÓXICOS							
RUIDO RADIAÇÃO							
TERRA							
IMPACTO TERC.							
SIST. GESTÃO A							
OBED. A LEIS							
INFRA ESTR. A.							
IMPACTO LOC.							
BIODIVERS.							
ACIDIF.							
DEST. CAM. OZ.							
EFEITO EST.							
FORM. F. Q. OZ.							
REC. ENERG. M.							
SOMATÓRIO:							

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Quadro 3 - (B) Planilha de avaliação dos modelos

ASPECTO	OISTH	SCHWA	EPA	HAY	WBCSD	VEIEVA	AZAPAGIC	PMAIS	MASP-HIS
MATERIAIS									
ENERGIA									
AGUA									
EMISSIONES									
EFLUENTE									
RESIDUOS									
FORNECEDORES									
PROD. SERVIÇO									
EMBALAGEM									
TRANSPORTE									
MAT. TÓXICOS									
RUIDO RADIAÇÃO									
TERRA									
IMPACTO TERC.									
SIST. GESTÃO A									
OBED. A LEIS									
INFRA ESTR. A.									
IMPACTO LOC.									
BIODIVERS.									
ACIDIF.									
DEST. CAM. OZ.									
EFEITO EST.									
FORM. F. Q. OZ.									
REC. ENERG. M.									
SOMATÓRIO:									

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O modelo que avaliou o maior número de aspectos identificados na coluna da esquerda obteve maior quantidade de pontos enegrecidos nos quadrículos e isso foi identificado na

coluna. O somatório desses pontos enegrecidos valora a coluna e foi identificado no somatório da linha, caracterizando que este modelo tem maior capacidade de avaliação de aspectos e deverá ser utilizado como sendo um possível modelo para avaliar a sustentabilidade. Foi realizado esse procedimento para determinação dos modelos ambiental, social e econômico.

Considerou-se que todos os aspectos têm a mesma importância para todos os modelos. Essa condição é específica para a pesquisa desenvolvida, na qual, objetivou-se verificar quais são os aspectos considerados mais importantes nos modelos estudados.

Em uma análise específica, se pode atribuir pesos diferentes para aspectos e considerar que um aspecto tenha peso maior do que outro. Como também se pode definir que todos tenham a mesma magnitude. Essas definições dependem da condição analisada e cada caso pode apresentar as suas particularidades.

Os aspectos identificados nos modelos foram avaliados através de questionários aplicados a um grupo de especialistas, e estas informações caracterizam a base de dados para estruturar o *framework* objetivo desta pesquisa.

3.3.3 FASE 1.3 Estruturar um procedimento para avaliar o desempenho em sustentabilidade comparando os processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento ambiental, econômico e social

Utilizou-se da experiência do pesquisador na área de processos de manufatura e da realização de um *brainstorming* entre um grupo de especialistas, no intuito de evidenciar, entre os aspectos, quais podem ser monitorados nos setores de manufatura das indústrias.

O *brainstorming* é uma ferramenta muito utilizada nas indústrias a partir de pequenas reuniões com equipes focadas com o propósito de resolver problemas de grande magnitude. Esse *brainstorming* foi realizado com diferentes especialistas profissionais da área de engenharia, conforme o modelo desenvolvido na Tabela 6:

Tabela 6 - Especialistas participantes da etapa de *brainstorming*.

Profissionais c/ experiência	30 anos	25 anos	10 anos	7 anos
Profissionais engenharia mecânica				
Profissionais engenharia elétrica				
Profissionais engenharia civil				
Profissionais engenharia ambiental				
Profissionais engenharia industrial				

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O pesquisador definiu o número de profissionais em função do conhecimento dos mesmos sobre os processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento e por alguns destes profissionais serem colegas de trabalho do pesquisador.

Com o objetivo de identificar apenas os aspectos que possibilitam a sua quantificação e medição, afim de que estes possam compor o procedimento estruturado de avaliação do desempenho em sustentabilidade nos processos de manufatura considerando os estudos de caso de furação convencional e furação por escoamento, aplicou-se ao grupo de especialistas, durante a reunião de *brainstorming*, um questionário dividido de acordo com cada uma das dimensões da sustentabilidade, e desenvolvido com base nos modelos identificados durante a pesquisa de revisão sistêmica de literatura. A Figura 34 ilustra um recorte do questionário, cuja versão integral encontra-se no apêndice B:

Figura 34 - Recorte do questionário Brainstorming.

Identifique no modelo *Global Reporting Initiative - GRI* Quais aspectos você considera importantes de serem analisados para avaliar a sustentabilidade na manufatura ambiental: Marque com um "X" no quadrículo:

<input type="checkbox"/> Materiais;	<input type="checkbox"/> Energia;
<input type="checkbox"/> Água;	<input type="checkbox"/> Emissões;
<input type="checkbox"/> Efluente;	<input type="checkbox"/> Resíduos;
<input type="checkbox"/> Fornecedores;	<input type="checkbox"/> Produtos e serviços;
<input type="checkbox"/> Transporte;	<input type="checkbox"/> Materiais tóxicos;
<input type="checkbox"/> Terra;	<input type="checkbox"/> Sistema de gestão ambiental;
<input type="checkbox"/> Obediência as leis;	<input type="checkbox"/> Infraestrutura ambiental;
<input type="checkbox"/> Impacto local;	<input type="checkbox"/> Biodiversidade;
<input type="checkbox"/> Destruição camada ozônio;	<input type="checkbox"/> Efeito estufa;

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A partir deste compilamento de informações analisadas foi possível definir um procedimento estruturado de aspectos para as dimensões ambiental, social e econômica capaz de mensurar, a partir da análise e coleta de dados, a sustentabilidade na manufatura considerando os estudos de caso dos processos de furação convencional e por escoamento. A Figura 35 traz uma ideia de como será composto o procedimento estruturado, abrangendo as dimensões da sustentabilidade (coluna da esquerda), e os aspectos que apresentam condições de avaliação de desempenho em sustentabilidade, utilizados na comparação dos processos de manufatura, nas linhas (direita).

Figura 35 - Organograma procedimento estruturado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Com o procedimento estruturado, abrangendo as três dimensões da sustentabilidade e os principais aspectos evidenciados para a manufatura dos estudos de caso, foi identificado diferentes aplicações e possibilidades de realizar comparações, diagnósticos e apontar melhorias para muitas situações visualizadas no dia a dia das indústrias.

3.4 ETAPA 2: ESTRUTURAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO VISANDO QUANTIFICAR OS ASPECTOS RELATIVOS AS DIMENSÕES AMBIENTAIS, SOCIAIS E ECONÔMICAS DA SUSTENTABILIDADE

3.4.1 FASE 2.1 Caracterização da máquina, Ferramentas utilizadas, dispositivos de fixação, equipamentos de medição, materiais e corpos de prova, sistema de lubrificação

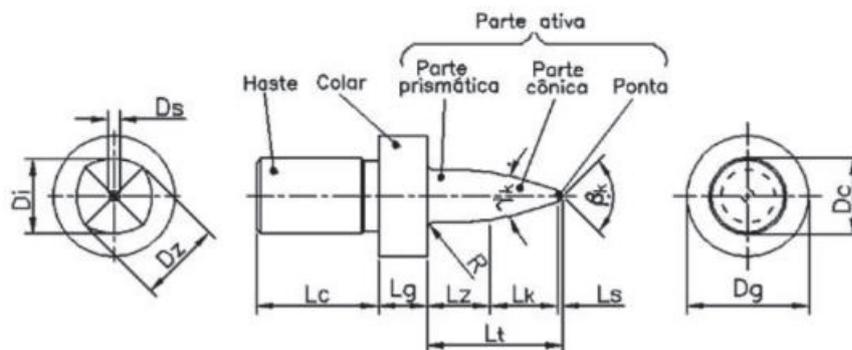
A) Caracterização da máquina

O equipamento utilizado para o desenvolvimento da pesquisa é o centro de Usinagem vertical CNC Polaris V-400, da marca ROMI. Foi definido este equipamento porque atualmente é a máquina disponível no laboratório CNC da Universidade de Passo Fundo. A máquina ferramenta e os dispositivos de fixação na máquina obedecem a normas técnicas ISO conforme especificações do fabricante do equipamento.

B) Caracterização das ferramentas de usinagem

As ferramentas definidas para a realização da pesquisa foram definidas a partir de consultas a fabricantes, revisão da fundamentação teórica, consulta a artigos técnicos, dissertações de mestrado e teses de doutorado, auxílio dos professores orientadores da tese, testes práticos realizados com ferramentas fornecidas pelos fabricantes. O projeto da ferramenta de furação por escoamento utilizou o referencial desenvolvido por Eckhardt (2003). A Figura 36 ilustra as suas principais partes:

Figura 36 - Ferramenta de furação por escoamento.



Fonte: Adaptado de Eckhardt (2003).

A definição da ferramenta de furação convencional, buscou-se utilizar uma ferramenta simples, de custo baixo e que possibilitasse através das perfurações e ensaios informações que possibilitassem a comparação entre os processos de furação como estudo de caso no intuito de validar o modelo desenvolvido de avaliação da sustentabilidade.

C) Caracterização do dispositivo de fixação do corpo de prova na máquina CNC

O desenvolvimento do dispositivo de fixação dos corpos de prova na máquina CNC foi necessário coletar várias informações no núcleo de engenharia mecânica da UPF, ajuda dos professores e técnicos e foi definido a área útil de furação do centro de usinagem, os canais da mesa da máquina CNC, foram utilizados como meios de fixação e foram realizadas as perfurações nos pré-testes e posteriormente as perfurações em série.

A furação por escoamento, o material esco e gera uma rebarba no lado inferior do corpo de prova, no qual é um dos fatores mais importantes para se determinar o desgaste da ferramenta. Devido a este fator, o corpo de prova não pode ser fixado diretamente em cima da mesa de trabalho da máquina CNC, foi desenvolvido no dispositivo uma distância mínima entre o corpo de prova e a mesa da máquina CNC, para que a perfuração fosse executada, sem a perda da qualidade e para que não ocorra o contato entre a ferramenta com a mesa de trabalho, podendo causar um dano na máquina CNC e a quebra da broca de Escoamento. Este dispositivo foi adaptado utilizando as mesmas características para o processo de furação convencional.

No projeto da ferramenta, procurou-se evitar que haja vibração e também a flambagem do corpo de prova, estes critérios podem afetar negativamente a vida de ferramenta e a qualidade das perfurações.

D) Equipamentos de medição utilizados e caracterização do porta-ferramenta

A definição dos equipamentos de medição utilizados na pesquisa, buscou-se a utilização de equipamentos aferidos com laudos de medição e os principais equipamentos utilizados foram:

- a) Paquímetro digital;
- b) Microscópio ótico;
- c) Microdurômetro;

Estes equipamentos foram aferidos no início da pesquisa e anualmente através de laudo técnico em laboratório credenciado são validados pelo laboratório de Engenharia Mecânica da UPF.

O porta-ferramenta foi doado por empresa fabricante de ferramentas para a realização da pesquisa e após as conclusões este foi devolvido para a empresa.

E) Materiais e corpos de prova

As definições dos materiais e as dimensões dos corpos de prova foram realizados após estudos das dimensões do Centro de Usinagem, buscando o melhor aproveitamento. As distâncias utilizada de espaçamento entre os furos está baseado no estudo realizado por Boehls (1989), onde foi analisado a influência desta distância entre os mesmos e o resultado é de que é muito pequena, porém deve ser obedecido as distâncias de uma vez e meia do diâmetro ($1,5D$) entre furos, entre o furo e a parede exterior do corpo de prova, deve ser utilizado metade do diâmetro utilizado ($0,5D$).

O aço é a mais versátil e a mais importante das ligas metálicas. Dentre os materiais de construção o aço tem importância bastante significativa pois combina resistência mecânica, boa disponibilidade e baixo custo.

De acordo com CBCA (2018), a concentração de carbono presente no aço determina sua classificação. Aços de baixo carbono apresentam até 0,3% de carbono e possuem grande ductilidade. Os aços de médio carbono variam de 0,3% à 0,6% na sua estrutura, são aços que após a tempera e revenido apresentam boa tenacidade e resistência. Já os aços de alto carbono apresentam mais de 0,6% de carbono e dispõem de elevada dureza e resistência após a tempera.

Os Aços ASTM A-36 e STRENX 700 MCD são aços estruturais. O ASTM A36, muito conhecido pela indústria Metalmeccânica em diversas aplicações. O Aço STRENX 700 MCD é fabricado pela empresa líder mundial, SSAB, no desenvolvimento de aços de alta resistência.

Essa indústria com sede em Estocolmo – Suécia, está presente também no Brasil, onde desenvolve constantemente novas tecnologias. Definiu-se na pesquisa a utilização destes materiais porque são muito utilizados na região norte do estado do Rio Grande do Sul, O ASTM A-36, já é consolidado a sua aplicabilidade, enquanto o STRENX 700 MCD ainda não é muito conhecido, mas apresenta-se em crescimento a sua aplicação.

3.4.2 FASE 2.2 Avaliação de aspectos para o processo de furação convencional e processo de furação por escoamento ambiental, social e econômico

3.4.3 FASE 2.3 Desenvolvimento da metodologia experimental adotada para as manufaturas e coleta de informações do desempenho em sustentabilidade utilizado na comparação de processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento

A metodologia experimental foi definida com base na experiência do pesquisador, consulta a bibliografias técnicas da área de manufatura, recomendações de fabricantes de brocas de furação convencional e brocas de furação por escoamento, testes práticos “*in loco*” e auxílio dos professores orientadores da tese.

Na Tabela 7, são apresentados os parâmetros de condição de contorno:

Tabela 7 - Condição de contorno para material “X” – Processo “Y”.

Teste Preliminar	Parâmetros de corte				
	Rotação (rpm)	Vc (m/min)	Fluído	F (mm/rev)	Vf (mm/min)
			MQL		
			Seco		

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A definição da metodologia experimental, através dos pré-testes foi o parâmetro na definição das condições de contorno da pesquisa conforme descreve-se na Tabela 7 delimitando a pesquisa para as manufaturas dos estudos de caso.

3.4.4 FASE 2.3.1 Estruturação do procedimento ambiental

Os aspectos ambientais, considerando os estudos de caso de furação convencional e furação por escoamento foram monitorados “*in loco*”, com a utilização de equipamentos

como: amperímetros digitais para monitorar a energia consumida nos processos, balança digital para monitorar a massa em (Kg) como resíduo sólido gerado na forma de cavaco, imagens das ferramentas foram realizadas utilizando o estereoscópio para monitorar o desgaste das ferramentas em função da quantidade de perfurações realizadas. O consumo de óleo hidráulico e de fluido lubrificante foi monitorado em função da quantidade de perfurações realizadas e o aquecimento foi monitorado para mensurar a variação de temperatura nas perfurações.

A) Energia no processo de furação convencional e no processo de furação por escoamento dimensão ambiental

Para esse processo, foram utilizados três amperímetros, tendo cada um sido montado em uma das fases de alimentação de energia da máquina CNC. Realizaram-se trinta medições em cada fase num intervalo de cinco segundos entre cada medição. Com os dados de energia monitorados, gerou-se a média ponderada em cada fase e realizou-se a soma dessas médias ponderadas, que definiram uma média geral de energia consumida.

Essas informações foram armazenadas e analisadas, e obteve-se a média ponderada dessas medições utilizando-se o *software Excel do windows* e os resultados caracterizam a base do banco de dados para a análise da sustentabilidade ambiental.

B) Resíduo sólido gerado em unidade de massa (Kg) no processo de furação convencional e no processo de furação por escoamento dimensão ambiental

A análise do resíduo sólido gerado das fabricações teve por base dados mensurados por meio da coleta dos resíduos após cada sequência de manufatura conforme quantidade de perfurações, materiais e parâmetros especificados na metodologia experimental.

Após cada lote de manufatura realizada, foi mensurado o peso em unidade de massa (Kg) dos componentes e do resíduo gerado e gerou-se a média ponderada de resíduo sólido. Essas informações foram armazenadas, utilizando-se o *software Excel do windows* e os resultados caracterizam a base do banco de dados para a análise da sustentabilidade ambiental.

C) Fluido hidráulico no processo de furação convencional e no processo de furação por escoamento dimensão ambiental

O fluido hidráulico utilizado na máquina CNC serve para lubrificar os eixos de movimentação do equipamento e reduzir o atrito das partes mecânicas. Esse óleo é monitorado pelo colaborador do equipamento que, “*in loco*”, observa e o repõe, acompanhando o consumo no visor gráfico na máquina. O nível de consumo desse óleo está diretamente relacionado com a utilização do equipamento.

Os manuais de recomendação do fabricante orientam que esse consumo seja avaliado diariamente e mantido os níveis na escala gráfica entre o mínimo e o máximo. Foi monitorado

durante as manufaturas o consumo desse óleo hidráulico e essas informações foram armazenadas, analisadas e obteve-se o consumo deste durante as perfurações. Essas informações foram armazenadas, utilizando-se o *software Excel do windows* e os resultados caracterizam a base do banco de dados para a análise da sustentabilidade ambiental.

D) Fluido lubrificador MQL no processo de furação convencional e no processo de furação por escoamento

A utilização de um fluido lubrificador objetiva a melhoria das fabricações, para que esta seja produtiva e econômica. Esta técnica é muito utilizada nos processos de manufatura como meios auxiliares, conhecidos como lubrificantes, que são fluidos de corte (CASTRO, 2001).

Para a determinação do sistema lubrificador a ser utilizado, foram analisados os catálogos de fornecedores onde são informados os tipos de lubrificantes utilizados para os processos de furação.

A aplicação de um fluido lubrificador reduz o coeficiente de atrito entre peça-ferramenta-cavaco, auxiliando na expulsão do cavaco da região do corte, refrigeração da ferramenta em fabricação, qualidade dimensional, melhor acabamento da peça, refrigeração da máquina ferramenta e impedimento da corrosão da peça. Distingue-se entre as melhorias de caráter econômicas: redução do consumo de energia de corte, redução do custo da ferramenta na operação ou redução do custo de fabricação (ARAÚJO JÚNIOR, 2013).

Na pesquisa, foram realizados ensaios sem lubrificantes (à seco), não foi utilizado lubrificação por emulsão por causar fadiga térmica na ferramenta, estas informações foram encontradas em trabalhos já realizados e com testes práticos “*in loco*”, a fadiga térmica encurta a vida de ferramenta e causa a sua falha muito precocemente.

Foi utilizada a lubrificação utilizando a técnica MQL (Mínima quantidade de líquido), utilizou-se uma bomba adaptada na máquina CNC, que realiza a dosagem de fluido lubrificador com um percentual de vazão de ar.

A lubrificação MQL no processo de furação convencional e por escoamento utilizou-se de um recipiente de vidro com escala graduada, um cronômetro e uma balança digital para medir, num intervalo de tempo, quanto, em peso unidade de massa (Kg), foi a vazão de fluido arremessado contra o componente que estava em processo de manufatura e contra a ferramenta no sentido de refrigerar e lubrificar. Essas informações foram armazenadas, utilizando-se o *software Excel do windows* e os resultados caracterizam a base do banco de dados para a análise da sustentabilidade ambiental.

E) Aquecimento das ferramentas no processo de furação convencional e no processo de furação por escoamento dimensão ambiental

O aquecimento das ferramentas é prejudicial a fabricação e a perda da afiação do gume de corte durante o processo de manufatura. A avaliação da temperatura da usinagem no processo de manufatura de furação convencional e por escoamento foi monitorado com a utilização de uma câmara térmica.

Através do laser da câmara, é acionado o gatilho e capturada a imagem de cada manufatura. Serão realizadas as medições de temperatura em cada condição e foi gerada a média ponderada das variações de temperatura. Essa operação foi realizada para o processo de furação convencional e para o processo de furação por escoamento.

Essas informações foram armazenadas no *software* da câmara térmica. O *software* possibilita definir o ponto mais quente gerado na imagem térmica. Após a armazenagem essas informações foram transferidas para o *software Excel do windows* e os resultados caracterizam a base do banco de dados para a análise da sustentabilidade ambiental.

F) Dimensional das perfurações no processo de furação convencional e no processo de furação por escoamento

Após a realização dos furos nas condições de contorno definidas de furação convencional e furação por escoamento, foi mensurado 1 a cada 33 furos. Em cada furo foi medido a circularidade do mesmo, e a altura da rebarba gerada no processo de furação convencional. No processo de furação por escoamento foi mensurado o diâmetro do furo, a espessura do anel, a espessura da parede, o comprimento total, a rebarba, o percentual da altura da rebarba com relação ao comprimento total que caracteriza a sua utilização em processo posterior de roscagem e a qualidade visual da perfuração. Estas são as principais características que foram mensuradas no processo de furação por escoamento.

Todas medidas foram realizadas com o paquímetro digital e micrômetro, após a furação de cada corpo de prova em cada uma das condições de contorno, os corpos de prova foram enumerados com tinta que não é possível de ser retirada em contato com água ou óleo. Os corpos de prova com lubrificação MQL acrescentou-se no corpo de prova a letra M juntamente com o número do corpo de prova para facilitar a identificação.

A qualidade da rebarba inferior é um dos dados mais importantes para a análise da perfuração por escoamento, foi mensurado e analisado se as perfurações agregam um padrão de qualidade de pelo menos 30% entre o comprimento da rebarba inferior e o comprimento total da bucha.

3.4.5 FASE 2.3.2 Estruturação do procedimento social

Para a estruturação do procedimento social para a avaliação de desempenho em sustentabilidade utilizado na comparação de processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento foi desenvolvida pesquisa técnica por meio de entrevista com os colaboradores do setor de fabricação no intuito de obter-se as informações destes colaboradores com relação as questões sociais relacionadas aos processos de furação convencional e furação por escoamento. Também foram aplicadas normas técnicas para o levantamento de dados sobre o ruído NR-15 (1990), ABNT NBR 10151 (2019), ABNT NBR 10152 (1987).

A) Pesquisa realizada com colaboradores do setor de fabricação aonde foram realizadas as manufaturas no processo de furação convencional e no processo de furação por escoamento dimensão social

O questionário desenvolvido teve por finalidade obter informações sobre a ótica dos usuários (colaboradores envolvidos nos processos de manufatura e as atividades por eles desenvolvidas durante o dia e a noite no setor fabril). Foram aplicados questionários que correlacionaram a Segurança, Treinamento, Saúde, Relações para o trabalho e o Ruído nos Processos de furação convencional e por escoamento. Sendo o questionário intitulado “PESQUISA REALIZADA COM OS COLABORADORES QUESTÕES SOCIAIS” baseado na metodologia de Romero (2007). Utilizou-se da Escala de Likert composta por 5 níveis de intensidade, a saber: péssimo, ruim, regular, bom e ótimo. Para quantificação da intensidade a fim de comparação, a cada nível de intensidade foram atribuídos valores numéricos/pesos de 1 a 5. Para a realização da pesquisa junto aos colaboradores do setor de manufatura foi solicitado autorização a Fundação Universidade de Passo Fundo, conforme documento no anexo 1, com data de 23 de maio de 2019 e encaminhado ao CEP- Comitê de Ética em pesquisa, através da Plataforma Brasil, CAEE 10689819.1.0000.5342 e numero do parecer 3.381.540 que aprovou o desenvolvimento da pesquisa. A Figura 37 ilustra um recorte do questionário realizado com os colaboradores sobre as questões sociais no processo de furação convencional e processo de furação por escoamento e o questionário completo encontra-se no apêndice B:

Figura 37 - Pesquisa realizada com os colaboradores setor manufatura questões sociais.

PESQUISA REALIZADA COM OS COLABORADORES QUESTÕES SOCIAIS:

1) IDENTIFICAÇÃO

Nome: _____ Idade: _____ Sexo: F M

Escolaridade:

Sem Escolaridade

Ensino fundamental completo

Ensino fundamental incompleto

Ensino médio completo

Ensino médio incompleto

Ensino superior completo

Ensino superior incompleto

Realizou algum curso técnico? Não Sim Qual ? _____.

Cargo Exercido: _____ Tempo de atuação: _____.

Qual a sua carga horária diária de trabalho? _____.

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O setor de manufatura pesquisado possui dez funcionários sendo eles técnicos, estagiários, secretária e gestor. O questionário aplicado no setor correlacionou questões como:

- a) Mensurar a segurança nos Processos de furação convencional e por escoamento;
- b) Mensurar o treinamento nos Processos de furação convencional e por escoamento;
- c) Mensurar a Saúde nos Processos de furação convencional e por escoamento;
- d) Mensurar as relações para o trabalho nos Processos de furação convencional e por escoamento;
- e) Mensurar o Ruído (Pressão sonora) nos Processos de furação convencional e por escoamento.

Relaciona-se a seguir a metodologia e técnicas aplicada no questionário para a obtenção das informações sociais sobre os processos analisados:

1) Mensurar a segurança nos Processos de furação convencional e por escoamento dimensão social

No questionário das questões sociais os colaboradores do setor de manufatura responderam algumas perguntas com relação à segurança do trabalho, se já sofreram algum tipo de acidente no trabalho? Qual a região da máquina CNC que apresenta maior risco a acidentes? E se os funcionários já ficaram afastados do trabalho por causa de acidentes do trabalho?

A segurança em máquinas rotativas é um aspecto crítico e obedece a normas técnicas como a NR-12 (2016) e a ABNT NBR 12100 (2013). Esta norma define algumas diretrizes conforme se descreve a seguir.

1.1) Análise de riscos centro V-400 Processo de furação convencional e Processo de furação por escoamento

Aplicou-se a ABNT NBR 12100, conforme itens 1.2 e 1.3 abaixo.

1.2) Determinação dos limites da máquina Processo de furação convencional e Processo de furação por escoamento

O Centro de usinagem V-400 deve ter sua utilização normal por apenas um colaborador. Esta pessoa fica posicionada na parte frontal do equipamento onde estão todos os controles da mesma. Na posição de operação da máquina a pessoa que ali se encontra possui total controle e visibilidade de todos os movimentos que a máquina executa. A troca de componentes no posto de trabalho deste equipamento é realizada com o equipamento parado e com todos os movimentos cessados, diminuindo o grau de risco a que está submetido o operador da mesma e a partir desta condição que foi definido os limites do equipamento para os processos estudados.

1.3) Identificação dos Perigos Processo de furação convencional e Processo de furação por escoamento

Foi definido as áreas de perigo da máquina e dividiram-se estas áreas por zonas e foi nomeado pesos para cada uma. A partir do questionário foi solicitado que os colaboradores determinassem notas conforme a escala definida. O somatório das notas dos colaboradores possibilitou identificar as zonas críticas para os processos de furação convencional e furação por escoamento.

2) Mensurar o treinamento nos Processos de furação convencional e por escoamento dimensão social

No questionário das questões sociais os colaboradores do setor de manufatura responderam algumas perguntas sobre Treinamento no processo de furação convencional e no processo de furação por escoamento. Os principais questionamentos foram:

O colaborador recebe treinamento anualmente? E se não recebem treinamento? No intuito de quantificar em números a qualidade dos treinamentos desenvolveu-se a tabela de ponderação de pesos conforme Romero (2007), aonde os colaboradores através de pesos determinam notas com relação aos treinamentos genéricos e treinamentos específicos recebidos para a execução das atividades no Processo de furação convencional e no Processo de furação

por escoamento. O somatório dos pesos atribuídos pelos colaboradores quantificou a qualidade dos treinamentos ofertados no setor de manufatura pesquisado.

3) Mensurar a Saúde nos Processos de furação convencional e por escoamento dimensão social

No questionário das questões sociais os colaboradores do setor de manufatura responderam algumas perguntas sobre a saúde no processo de furação convencional e no processo de furação por escoamento.

Se o colaborador faz exames periódicos? Se o colaborador teve doenças do trabalho ou se têm alguma doença do trabalho? Para quantificar a saúde definiu-se a tabela de ponderação de pesos conforme Romero (2007), aonde os colaboradores através de pesos determinam notas com relação a saúde para a execução das atividades no processo de furação convencional e no processo de furação por escoamento. O somatório dos pesos atribuídos quantificou o nível de saúde dos colaboradores do setor de manufatura para os processos de furação convencional e furação por escoamento.

4) Mensurar as relações para o trabalho nos Processos de furação convencional e por escoamento dimensão social

No questionário das questões sociais os colaboradores do setor de manufatura responderam algumas perguntas sobre as relações do trabalho no processo de furação convencional e no processo de furação por escoamento.

Com relação a problemas no espaço físico no seu ambiente de trabalho? Quanto à acústica no seu ambiente de trabalho? Sobre as horas de preparação de atividade se os colaboradores têm tempo disponível para realizá-las? Existe integração entre os colaboradores (professores e técnicos)? Existe um bom relacionamento entre gestão e os técnicos? Existe motivação para as atividades exercidas? Se o colaborador está satisfeito com a remuneração que recebe por hora?

Para quantificar as relações para o trabalho foram definidos pesos conforme Romero (2007), para quantificar esta atividade e definidas as respostas (SIM) ou (NÃO), quantifica-se os pesos com nota (1,0) pontos ou (0,0) pontos. O somatório das notas para os aspectos (espaço físico, acústica no ambiente trabalho, horas de preparação, integração funcionários, relacionamento gestão x técnicos, motivação para atividades, satisfação quanto à remuneração) divididos pelo número de colaboradores obtém-se o grau de qualidade para os processos estudados.

5) Mensurar o Ruído (Pressão sonora) nos Processos de furação convencional e por escoamento dimensão social

No questionário das questões sociais que foi desenvolvido junto aos colaboradores levantaram-se informações quanto ao ruído (Pressão sonora), por exemplo, foi questionado se os colaboradores ficam expostos ao ruído ocupacional no ambiente de trabalho? Se estes funcionários sentem algum tipo de efeito do ruído? E se algum deles já trabalhou em algum ambiente em que ficasse exposto ao ruído?

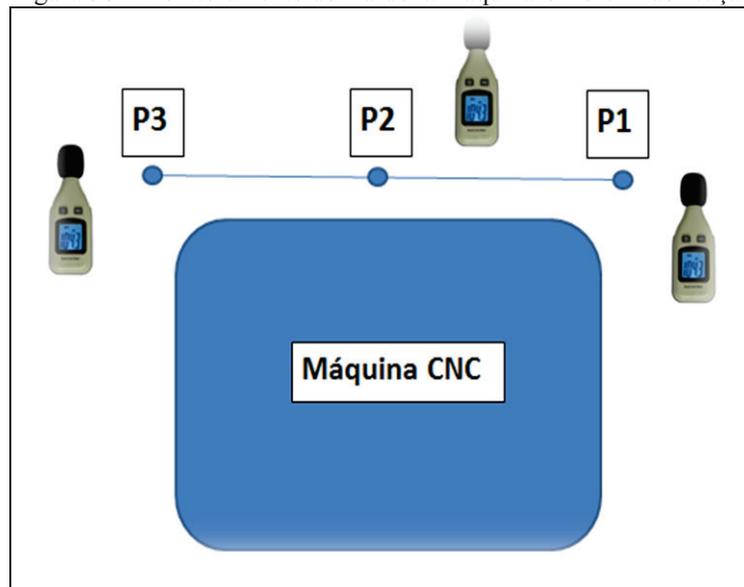
O ruído por ser um grande problema nas indústrias, por ser um causador de problemas de saúde e doenças é um aspecto que têm um caráter social e de saúde. O ruído ocorre durante as atividades de manufatura e foi monitorado ao longo do tempo de execução das fabricações conforme as condições de contorno definidas,

O instrumento de medição do ruído (Pressão sonora) utilizado foi o (Decibelímetro), com monitoramento *“in loco”* realizado pelo pesquisador e utilizou-se as normas técnicas vigentes aonde se calculou o LEQ equivalente para a avaliação técnica do ruído.

Monitorou-se para todas as condições de manufatura o mínimo de trinta pontos num intervalo *“fast”* de cinco segundos para cada medição.

Apartir deste levantamento de dados repetiu-se as medições em 03 pontos específicos durante as manufaturas na máquina CNC lado esquerdo, posição central e lado direito (Visto de trás do equipamento CNC). A Figura 38 ilustra como foi realizado esse procedimento:

Figura 38 - Monitoramento do Ruído na máquina CNC em fabricação



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Calculou-se o LEQ equivalente e realizou-se a média ponderada utilizando-se o *software Excel do windows*. Como a jornada de trabalho ou a exposição a ruído é diferente a 8 horas, a medição do ruído deve ser normalizada para uma jornada de trabalho de 8 horas, e foi calculado o NEN – Nível de Exposição Normalizado.

3.4.6 FASE 2.3.3 Estruturação da avaliação da dimensão econômica no processo de furação convencional e processo de furação por escoamento

A determinação dos custos diretos de um determinado processo envolve uma série de levantamento de dados. Estas informações foram coletadas através de entrevista com o responsável técnico do setor e ao departamento de recursos humanos da instituição.

As depreciações dos equipamentos foram definidas com o apoio do setor contábil. As tomadas de preços das ferramentas e máquinas foram realizadas com fabricantes de equipamentos e ferramentas.

Monitorou-se as manufaturas dos componentes “*in loco*”, com a utilização de cronômetro. Esse equipamento foi utilizado para monitorar os tempos de fabricação e os tempos de troca de componentes para determinar os custos envolvidos nos processos de furação convencional e furação por escoamento.

Os aspectos econômicos identificados no modelo conceitual são:

- a) resultado operacional;
- b) retorno sobre o investimento (*payback*);
- c) utilização da capacidade;
- d) taxa de falhas e defeitos.

Esses aspectos financeiros são muito utilizados para avaliar os resultados de rentabilidade de uma empresa.

Como a pesquisa desenvolvida se trata de levantamento de custos em laboratório, esses aspectos financeiros serão substituídos pelos abaixo descritos no procedimento estruturado e que caracterizam trabalhos de base para a indústria:

- a) Custo por furo furação convencional ASTM A-36 (MQL, à Seco);
- b) Custo por furo furação convencional STREX 700 MCD (MQL, à Seco);
- c) Custo por furo furação por escoamento ASTM A-36 (MQL, à Seco);
- d) Custo por furo furação por escoamento STREX 700 MCD (MQL, à Seco).

Realizou-se o levantamento de dados para os seguintes aspectos identificados:

- 1) Custo de mão de obra;

- 2) Custo de equipamento CNC em furação convencional e em furação por escoamento;
- 3) Custo das ferramentas de furação convencional e de furação por escoamento;
- 4) Tempo de troca de componentes (*setup*) em furação convencional e furação por escoamento;
- 5) Tempo de manufatura em furação convencional e por escoamento;
- 6) Tempo Total de manufatura em furação convencional e furação por escoamento;
- 7) Custos de Manufatura em furação convencional e por escoamento;
- 8) Custo Total Manufaturas em furação convencional e furação por escoamento;
- 9) Custo por furo Processo de furação convencional ASTM A-36 e STREX 700 MCD (MQL e à Seco) e o Custo por furo Processo de furação por escoamento ASTM A-36 e STREX 700 MCD (MQL e à Seco).

O procedimento de como foram definidas essas informações descreve-se na sequência:

1) Custo de mão de obra em furação convencional e furação por escoamento

Foi realizado o levantamento do custo médio da mão de obra, junto ao responsável técnico do setor e nos recursos humanos. No laboratório existe apenas um colaborador que executa esta atividade na máquina CNC. Existem outros colaboradores aptos a desenvolver esta atividade no quadro de funcionários, mas atualmente apenas este colaborador tem autorização de desenvolver esta função. Analisou-se junto ao setor de recursos humanos a disponibilidade de horas semanais e mensais de funcionamento do setor.

2) Custo de equipamento CNC em furação convencional e em furação por escoamento

A valoração da máquina CNC, foi realizada com base a consulta a fabricantes e revendedores de máquinas operatrizes.

O valor atual da máquina que foi considerado levou em consideração as depreciações de 10 anos, definidas pelo setor contábil, esta análise considera que após este período a instituição teria valores para efetuar a venda do atual equipamento e realizar a substituição por outro com características semelhantes agregando tecnologia.

3) Custo das ferramentas de furação convencional e de furação por escoamento

O Custo das ferramentas de fabricação, são necessários para avaliar o investimento na execução dos processos. Foi realizado orçamentos de compras com fornecedores de ferramentas. Optou-se pelos fabricantes DORMER para brocas de furação convencional e FERTIG para as brocas de furação por escoamento. A escolha foi realizada com base na qualidade das ferramentas fornecidas considerando material e acabamento e o gasto para o desenvolvimento das perfurações.

No momento da aquisição das ferramentas, salientou-se aos fornecedores que as manufaturas realizadas teriam um enfoque de pesquisa e obteve-se um atendimento diferenciado pelos fornecedores, na forma de descontos e prazos de entrega das ferramentas diferenciado.

4) Tempo de troca de componentes (*setup*) em furação convencional e furação por escoamento

O tempo de troca de componentes, simulou-se uma condição de fabricação em pequenos lotes de (15 a 20 peças) com produção em série. Obteve-se variações nos tempos de troca e estas ocorrem por ser um trabalho repetitivo. Para obter-se os melhores resultados realizou-se a média dos tempos coletados nos tempos de troca durante as perfurações. Para as medições utilizou-se um cronômetro digital e a compilação dos resultados foi realizada no *software excel do Windows*.

5) Tempo de manufatura em furação convencional e por escoamento

Avaliou-se os tempos médios de manufatura em furação convencional e em furação por escoamento. Este procedimento foi realizado com o auxílio de um cronômetro digital e foram realizadas repetições no intuito de obter-se a média dos tempos de fabricação. Numa máquina CNC estes tempos estão relacionados a experiência do programador e do caminho da ferramenta definido na programação. Buscou-se otimizar ao máximo os processos durante as definições da programação. Após o levantamento de informações foi compilado no *software excel do windows*, no intuito de obter-se uma planilha com os tempos de fabricação para os processos de furação convencional e furação por escoamento.

6) Tempo Total de manufatura em furação convencional e furação por escoamento

O tempo total de manufatura é o somatório dos tempos de troca (*set up*) mais o tempo de fabricação. A média do somatório do tempo total de manufatura é muito importante na definição dos custos de manufatura em cada processo considerando a condição de rotação e de avanço e o sistema de lubrificação. Para o levantamento destas informações foi utilizado o *software Excel do Windows* e os dados coletados nos itens 4 e 5 da metodologia.

7) Custos de Manufatura em furação convencional e por escoamento

Os custos da manufatura, estão relacionados a eficiência do processo produtivo. Deve ser considerado os custos diretos, indiretos, custos com materiais, custos com fluidos lubrificantes, custos ambientais. Foi desenvolvida a planilha no *software excel do windows* que retrata estes itens e possibilita simular e reduzir estes gastos quantificando e interagindo com os processos de manufatura de furação convencional e por escoamento.

8) Custo Total Manufaturas em furação convencional e furação por escoamento

O Planejamento nas atividades produtivas é importante no mundo globalizado e a avaliação dos custos nos processos possibilita avaliar para cada condição pesquisada o seu custo e obter-se a melhor situação. Estes custos foram avaliados conforme descreve-se nos sub-itens adiante:

A) Custo por furo Processo de furação convencional ASTM A-36 e STRENX 700 MCD (MQL e à Seco) e o Custo por furo Processo de furação por escoamento ASTM A-36 e STRENX 700 MCD (MQL e à Seco)

O levantamento dos custos por perfuração em furação convencional e furação por escoamento foram definidos através *do software Excel do windows* e compilados conforme o modelo descrito na Tabela 8:

Tabela 8 - Custo por furo furação convencional e por escoamento ASTM A36 e STRENX 700 MCD.

PROCESSO/ MATERIAL	FLUÍDO	CONDIÇÃO	Custo por furo (R\$)
Furação Convencional ASTM A-36	MQL	(RPM1274 e Vc = 44 mm/min)	
	à Seco		
	MQL	(RPM500 e Vc = 17,3 mm/min)	
	à Seco		
Furação Convencional STRENX 700	MQL	(RPM1274 e Vc = 44 mm/min)	
	à Seco		
	MQL	(RPM500 e Vc = 17,3 mm/min)	
	à Seco		
Furação Escoamento ASTM A-36	MQL	(RPM2000 e Vc = 250 mm/min)	
	à Seco		
	MQL	(RPM1500 e Vc = 300 mm/min)	
	à Seco		
Furação Escoamento STRENX 700	MQL	(RPM2000 e Vc = 250 mm/min)	
	à Seco		
	MQL	(RPM1500 e Vc = 300 mm/min)	
	à Seco		

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

3.5 ETAPA 3: DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE NAS DIMENSÕES AMBIENTAL, SOCIAL E ECONÔMICO

3.5.1 FASE 3.1 Índices coletados durante as manufaturas Furação Convencional;

Para a determinação dos índices de sustentabilidade com base no procedimento estruturado desenvolvido foram coletados dados das dimensões ambientais, sociais e econômicas na área de fabricação através das perfurações realizados nos processos de furação convencional. Estas informações foram compiladas no *software Excel do windows* e foi

estruturada uma planilha eletrônica para cada dimensão (X ou Y) que evidencia os processos de manufatura estudados na pesquisa.

3.5.2 FASE 3.2 Índices coletados durante as manufaturas Furação Escoamento

Para a determinação dos índices de sustentabilidade com base no procedimento estruturado desenvolvido foram coletados dados das dimensões ambientais, sociais e econômicas na área de fabricação através das perfurações realizados nos processos de furação por escoamento. Estas informações foram compiladas no *software Excel do windows* e foi estruturada uma planilha eletrônica para cada dimensão (X ou Y) que evidencia os processos de manufatura estudados na pesquisa.

3.5.3 FASE 3.3 Método multicritério AHP - Cálculo do Vetor Médio

A realização do cálculo do vetor médio no método AHP é necessário montar uma planilha eletrônica que demonstra os dados de cada aspecto (A1, B1) para cada dimensão (X ou Y). Conforme Figura 39:

Figura 39 - Estrutura dos Dados compilados ambiental, social e econômico.

DIMENSÃO	ASPECTO 1	ASPECTO 2	ASPECTO 3	ASPECTO 4	ASPECTO 5	ASPECTO 6
X	A1	B1	C1	D1	E1	F1
Y	A2	B2	C2	D2	E2	F2

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A partir destes dados compilados, monta-se uma nova matriz para cada aspecto e foi realizada a análise do aspecto (Figura 37), comparando os valores de quanto um processo (X ou Y) é melhor ou pior do que o outro.

Se o resultado do processo “Y” na comparação for melhor que “X”, a equação a ser montada para este processo deve ter um resultado positivo ($A2/A1$), dividindo-se o maior valor pelo menor valor. Caso o processo “X” na comparação seja pior que “Y”, a equação a ser montada para este processo deve ter um resultado negativo ($A1/A2$), dividindo-se o menor valor pelo maior valor. A Figura 40 demonstra esta análise:

Figura 40 - Matriz avaliação aspectos.

Aspecto		
	X	Y
X	1	A1/A2
Y	A2/A1	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A sequência do cálculo apresenta-se na Figura 41, que ilustra como foram formuladas as células desta matriz e os resultados são os vetores médios:

Figura 41 - Matriz vetores médios.

ASPECTO					
	X	Y	Matriz Normalizada		Vetor Médio
X	1	A2/A1	$=\{1/(1+(A1/A2))\}$	$=\{A2/A1/(1+(A2/A1))\}$	=MÉDIA (LINHA)
Y	A1/A2	1	$=\{A1/A2/(1+(A1/A2))\}$	$=\{1/(1+(A2/A1))\}$	=MÉDIA (LINHA)
Soma	$1+ (A1/A2)$	$1+ (A2/A1)$			

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Realizou-se o somatório dos valores de cada processo (coluna) e foi calculada a matriz normalizada que é a divisão do valor de cada célula pela soma do valor obtido na coluna, e o resultado desta normalização foi realizado para cada uma das células da matriz (coluna/processo) e a média da linha da matriz normalizada é o vetor médio.

3.5.4 FASE 3.4 Pesquisa realizada com *stakeholders* processo de furação convencional e processo de furação por escoamento

Para a realização da pesquisa junto aos *stakeholders* foi encaminhada toda a documentação necessária ao CEP – Comitê de Ética em Pesquisa, através da plataforma Brasil, CAAE 10689819.1.0000.5342 e número do parecer 3.381.540 que aprovou o desenvolvimento da pesquisa. Foi submetido para *stakeholders* no intuito de obter-se ponderações destes sobre os processos estudados de caso de furação convencional e furação por escoamento.

A amostragem realizada foi de 80 profissionais da área de engenharia com experiência na área de processos industriais. Para o compilamento das informações referente a pesquisa qualitativa com estes *stakeholders* utilizou-se o *software* decisões mais simples da UNIFAL- Universidade Federal de Alfenas – Minas Gerais, (2019) que utiliza a metodologia multicritério AHP (*Análise hierárquica de processos*), o método é embasado na metodologia de Saaty, (1980) que avalia par a par os questionamentos de qual aspecto é mais importante com relação as dimensões ambiental, social e econômica. Sendo assim, de forma qualitativa obteve-se as

ponderações que foram identificadas e armazenadas em banco de dados para posterior avaliação.

A Figura 42 apresenta um recorte simulando o preenchimento do formulário de pesquisa que foi enviada para os *stakeholders*:

Figura 42 – Recorte simulando o preenchimento do formulário de Pesquisa *stakeholders*.

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Ruído																		Segurança
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Ruído																		Treinamento
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Ruído																		Educação
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Ruído																		Relações para Trabalho

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Na matriz AHP, arbitra-se uma nota na forma de um peso que varia de 1 à 9 podendo ser favorável para um com relação ao outro ou vice-versa.

3.5.5 FASE 3.5 Método multicritério AHP - cálculo da matriz normalizada;

Foram montadas três matrizes AHP, uma para cada dimensão da sustentabilidade e os dados que compõem essa matriz são:

- 1) Os aspectos definidos sob a ótica de cada dimensão da sustentabilidade;
- 2) Os pesos dos *stakeholders*;
- 3) Os valores dos vetores médios calculados (Figura 39).

Se analisarmos, por exemplo, o aspecto “1” pelo aspecto “2”, o aspecto “1” obteve um peso (7) definido pelo *stakeholder* com relação ao aspecto “2”, caracteriza-se que este aspecto “1” é muito forte a importância com relação ao aspecto “2” (SAATY, 1980).

No método AHP as comparações são paritárias se o peso atribuído para o aspecto “1” na análise do “1” com o “2” obtiver peso (7) a análise contrária será “2 com o 1” será peso (1/7).

Na aplicação do método AHP foi considerado os pesos dos *stakeholders*, conforme metodologia definida por (SAATY, 1980).

Na matriz é realizada a comparação do mesmo aspecto na linha pela coluna, na diagonal desta matriz terá sempre valor (1). Conforme a escala de Saaty (1980), os pesos definidos pelos

stakeholders possibilitam uma valoração real e trazendo para a análise informações relevantes para a pesquisa.

A Figura 43 ilustra-se como deve ser formulado as células desta matriz apresentando os resultados que são a média do Σ linha que representa a média normalizada:

Figura 43 - Matriz da média normalizada Σ linha:

	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
	Aspectos	Aspecto 1	Aspecto 2	Aspecto 3	Aspecto 4	Aspecto 5	Aspecto 6	Normalização						Média
2	Aspecto 1	1,00	7	7	7	7	5	12/18	12/18	K2/K8	L2/L8	M2/M8	N2/N8	Σ linha
3	Aspecto 2	1/7	1,00	7	7	7	7	13/18	13/18	K3/K8	L3/L8	M3/M8	N3/N8	Σ linha
4	Aspecto 3	1/7	1/7	1,00	4	6	7	14/18	14/18	K4/K8	L4/L8	M4/M8	N4/N8	Σ linha
5	Aspecto 4	1/7	1/7	1/4	1,00	5	5	15/18	15/18	K5/K8	L5/L8	M5/M8	N5/N8	Σ linha
6	Aspecto 5	1/7	1/7	1/6	1/5	1,00	7	16/18	16/18	K6/K8	L6/L8	M6/M8	N6/N8	Σ linha
7	Aspecto 6	1/5	1/7	1/7	1/5	1/7	1,00	17/18	17/18	K7/K7	L7/L8	M7/M8	N7/N8	Σ linha
8	Soma	Soma coluna												

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Conforme pode ser visualizado na Figura 43, após a atribuição dos pesos, é realizada a soma dos valores dos pesos em cada coluna e na sequência é feito o cálculo da normalização. Esta etapa do cálculo da normalização deve ser realizada a partir do resultado obtido na célula dividido pela soma dos valores dos aspectos (coluna). O resultado final da média normalizada é o valor médio do somatório destes valores na linha.

3.5.6 FASE 3.6 Método multicritério AHP - Cálculo do índice de sustentabilidade considerando Vetor médio x Matriz normalizada

Para a obtenção do resultado da sustentabilidade foram montadas três matrizes, uma para cada dimensão da sustentabilidade, contemplando os resultados obtidos dos vetores médios para cada processo “X” e “Y”, e considerando todos os aspectos e os resultados das médias da matriz normalizada (Σ linha). Conforme a Figura 44:

Figura 44 – Cálculo do índice de sustentabilidade (Vetor médio x Matriz normalizada).

DIMENSÃO/PROCESSO	ASPECTO 1	ASPECTO 2	ASPECTO 3	ASPECTO 4	ASPECTO 5	ASPECTO 6
X	Vetor médio					
Y	Vetor médio					
Média normalizada (Σ linha)	Σ linha					

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Com isso, o resultado de qual processo pode ser considerado mais sustentável é obtido através das equações 7 e 8:

$$Sust\ x\ \Sigma((V.\ médiox1 * \Sigma\text{linha}) + (V.\ médiox2 * \Sigma\text{linha}) + \dots + (V.\ médio\ xn * \Sigma\text{linha})) \quad (\text{eq.7})$$

$$Sust y \Sigma((V. \text{médio}y1 * \Sigma\text{linha}) + (V. \text{médio}y2 * \Sigma\text{linha}) + .. + (V. \text{médio} yn * \Sigma\text{linha})) \quad (\text{eq. 8})$$

O cálculo da sustentabilidade executado pelas equações 7 e 8, realiza um somatório das operações referentes a cada aspecto, executando a multiplicação do (vetor médio) do aspecto x1 pelo valor da média normalizada (Σlinha), para cada aspecto. O somatório destes vetores de sustentabilidade indicará o resultado final quantificando um valor para os processos “X” e “Y”, e indicando o índice de sustentabilidade ambiental, social e econômico.

Os valores indicam se o processo é mais ou menos sustentável (entre 0 e 1), ou seja, quanto mais próximo de 1 (um), mais sustentável é o índice, e quanto mais próximo de 0 (zero), menos favorável, desta forma, o resultado quantifica se o processo “X” é mais ou menos sustentável do que o processo “Y”.

Os índices de sustentabilidade indicados demonstram que o processo “X” pode ter um peso maior, menor ou igual ao processo “Y”, como pode ser contrária a ponderação. Esta análise apenas está avaliando as dimensões ambiental, social ou econômica de forma separada.

3.5.7 FASE 3.7 Método multicritério AHP – Cálculo do índice de sustentabilidade considerando Vetor médio x Pesquisa realizada com *Stakeholders*;

Para a obtenção do resultado da sustentabilidade foram montadas três matrizes, uma para cada dimensão da sustentabilidade, contemplando os resultados obtidos dos vetores médios para cada processo “X” e “Y”, e considerando todos os aspectos e os resultados da pesquisa realizada com os *Stakeholders*. Conforme a Figura 45:

Figura 45 – Cálculo do índice de sustentabilidade (Vetor médio x Peso dos *Stakeholders*).

DIMENSÃO/PROCESSO	ASPECTO 1	ASPECTO 2	ASPECTO 3	ASPECTO 4	ASPECTO 5	ASPECTO 6
X	Vetor médio					
Y	Vetor médio					
Peso Stakeholders	Peso Stak.					

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Com isso, o resultado de qual processo pode ser considerado mais sustentável é obtido através das equações 9 e 10:

$$Sust x \Sigma((V. \text{médio}x1 * P. \text{Stak.}) + (V. \text{médio}x2 * P. \text{Stak.}) + .. + (V. \text{médio} xn * P. \text{Stak.})) \quad (\text{eq. 9})$$

$$Sust y \Sigma((V. \text{médio}y1 * P. \text{Stak.}) + (V. \text{médio}y2 * P. \text{Stak.}) + .. + (V. \text{médio} yn * P. \text{Stak.})) \quad (\text{eq. 10})$$

O cálculo da sustentabilidade executado pelas equações 9 e 10, realiza um somatório das operações referentes a cada aspecto, executando a multiplicação do (vetor médio) do aspecto x1 pelo valor do Peso definido pelo *stakeholder*, para cada aspecto. O somatório destes vetores de sustentabilidade indicará o resultado final quantificando um valor para os processos “X” e “Y”, e indicando o índice de sustentabilidade ambiental, social e econômico.

Os valores indicam se o processo é mais ou menos sustentável (entre 0 e 1), ou seja, quanto mais próximo de 1 (um), mais sustentável é o índice, e quanto mais próximo de 0 (zero), menos favorável, desta forma, o resultado quantifica se o processo “X” é mais ou menos sustentável do que o processo “Y”.

Os índices de sustentabilidade indicados demonstram que o processo “X” pode ter um peso maior, menor ou igual ao processo “Y”, como pode ser contrária a ponderação. Esta análise apenas está avaliando as dimensões ambiental, social ou econômica de forma separada.

3.5.8 FASE 3.8 Método multicritério AHP – Média ponderada dos índices de Sustentabilidade

Unificou-se os resultados de maneira que se possa ter índices ambientais, sociais e econômicos que considerem a normalização e a pesquisa realizada com os *stakeholders*. Realizou-se a média ponderada destes valores conforme ilustrado na Figura 46:

Figura 46 - Matriz Média dos índices de sustentabilidade.

Processo “X”	Ambiental	Social	Econômico
Vetor Médio x Normalização	X1	X2	X3
Vetor Médio x Especialistas	X11	X21	X31
	Média X1	Média X2	Média X3

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Calculou-se a média dos índices de sustentabilidade para o processo “X” e “Y” conforme exemplo ilustrado na Figura 46 e estes valores médios dos índices são os vetores médios para a unificação do índice de sustentabilidade.

3.5.9 FASE 3.9 Método multicritério AHP – Validação do Modelo desenvolvido

A validação do modelo desenvolvido, foi realizada simulando os dados de entrada no modelo desenvolvido e estes mesmos dados de entrada em outra ferramenta que execute avaliações similares ou parciais as do modelo desenvolvido. No intuito de avaliar os resultados

entre as duas metodologias e realizar a validação do modelo desenvolvido, comparando e verificando de forma quantificável os valores obtidos nos modelos. Esta estratégia possibilita a obtenção de informações confiáveis para o modelo desenvolvido.

3.5.10 FASE 3.10 Método multicritério AHP - Unificação do índice de sustentabilidade

Com estas informações já coletadas desenvolveu-se a matriz com a média ponderada dos índices de sustentabilidade e que determinou os pesos para os índices ambiental, social e econômico, correlacionando um com o outro e realizando a valoração dos mesmos, e foi adotada a mesma metodologia desenvolvida. A Figura 47, ilustra como foi definida esta matriz:

Figura 47 - Matriz Unificação do Índice de sustentabilidade.

PESO STAKEHOLDER:	Ambiental	Social	Econômico	Normalização			Média
Ambiental	1	6	5	valor	valor	valor	Σ média
Social	1/6	1	5	valor	valor	valor	Σ média
Econômico	1/5	1/5	1	valor	valor	valor	Σ média
	Soma	Soma	Soma				

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Com os valores obtidos na matriz Unificação do Índice de sustentabilidade (Σ média) e com os resultados obtidos da média dos índices de sustentabilidade para os processos “X” e “Y” foi desenvolvida a matriz índice de sustentabilidade conforme apresenta a Figura 48:

Figura 48 - Matriz Índice de Sustentabilidade.

	Ambiental	Social	Econômico	Índice Sustentabilidade
Processo “X”	v.sust.	v.sust.	v.sust.	Is “x”
Processo “Y”	v.sust.	v.sust.	v.sust.	Is “y”
Ponderação (Σ Média)	Σ média	Σ média	Σ média	

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Não existe uma metodologia específica para esta análise, nesse sentido adotou-se a mesma técnica matemática para resolver problemas utilizada no método AHP (SAATY, 1980).

O resultado possibilitou uma avaliação completa dos processos e permite a obtenção de um índice de comparação de qual processo é mais sustentável. Caso ocorra índices de sustentabilidade de mesma magnitude, uma nova rodada de iterações deverá ser realizada, ou reavaliar os pesos dos *stakeholders* entre os aspectos e entre os processos.

3.5.11 FASE 3.11 Calcular a relação de consistência

O valor obtido como Índice de Consistência (CI) foi utilizado na obtenção da Taxa de Consciência, do inglês *Consistency Ratio* (CR). Foi determinado pela razão entre o CI e o índice de consistência aleatória (RI). A matriz foi montada no *software Excel do windows* e utilizou-se os dados coletados de furação convencional e por escoamento e considerou-se consistente quando a razão for menor que 10% (SAATY, 1995).

A consistência, apontada pelo resultado igual ou menor que 0.10 (10%), é recomendada. O valor de RI pode ser visualizado na Tabela 4 que apresenta valores fixos utilizados como referência e calculados em laboratório (SAATY, 1995).

4 RESULTADOS

Os resultados apresentados e que foram desenvolvidos seguem a sequência e as definições do procedimento metodológico, dividido em etapas e fases e no qual se detalham os itens quantificando-os, com o propósito de alcançar os objetivos específicos e gerais da pesquisa.

4.1 ETAPA 1 IDENTIFICAÇÃO DOS MODELOS EXISTENTES NA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA SUSTENTABILIDADE

4.1.1 FASE 1.1 Modelos utilizados para avaliar sustentabilidade

Essa fase consiste na avaliação dos modelos de avaliação da sustentabilidade encontrados na literatura. A busca se deu por meio de consulta a artigos técnicos, revistas, repositório de teses de universidades e das revisões sistêmicas realizadas e que se encontram nos apêndices “A” e “B”.

Durante o estudo, buscou-se correlacionar esses modelos de avaliação de sustentabilidade, avaliando o escopo de aplicação do modelo, considerando uma aplicação mais ampla tal como a avaliação da sustentabilidade nas cidades, ou mais específica, como é o caso da avaliação da sustentabilidade na manufatura.

Também buscou identificar quais as ferramentas de avaliação que os modelos utilizam para o desenvolvimento do banco de dados, podendo ser por meio de indicadores, aspectos, relatórios de sustentabilidade, ferramentas da qualidade, etc.

Descobriu-se que os modelos estudados avaliam uma, duas ou mesmo as três dimensões da sustentabilidade: ambiental, social e econômica e em virtude da sua aplicação em diferentes situações. O Quadro 4 ilustra os principais modelos utilizados para avaliar a sustentabilidade e as características específicas de cada um.

Quadro 4 - Modelos utilizados para avaliar sustentabilidade.

Nº	MODELO/AUTORES	CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS	DIMENSÕES	ESCOPO	Citações
1	Modelo Fiksel, Mc Daniel e Mendenhall	Não define aspectos específicos para avaliação de processos de manufatura, depende da experiência do técnico responsável	<i>Triple bottom line</i>	Amplio	Citado por 117 autores
2	Modelo Thoresen	Indicadores ambientais, considera alguns aspectos sociais, aplicação desenvolvimento produtos, processos e serviços sustentáveis	Ambiental	Amplio	Citado por 173 autores
3	Modelo Olsthoorn, Tyteca, Wehrmeyer e Wagner	Trabalha com indicadores populares na prática ou literatura, revisão de diferentes métodos	Ambiental e econômico	Amplio	Citado por 347 autores
4	Modelo Schwarz, beloff e beaver	Modelo que aplica quantidade mínima de indicadores	Econômico e Ambiental	Amplio	Citado por 209 autores
5	Modelo EPA US	Avalia os efeitos ambientais dos processos de manufatura e auxilia nas tomadas de decisões	Econômico e Ambiental	Manufatura	E-book no site
6	Modelo Hay e Noonam	Auxilia na avaliação e seleção de processos de manufatura amigáveis ao meio ambiente.	Ambiental	Manufatura	Citado por 6 autores
7	Modelo ISO 14031	Utilizado para avaliação de desempenho da sustentabilidade ambiental, tem como objetivo entender, demonstrar e melhorar as operações das empresas	Ambiental e social	Manufatura	Citado por 32 autores
8	Modelo Labuschagne, Brent e Erck	Medição de desempenho reconhecendo a sustentabilidade nas práticas operacionais	Ambiental	Amplio	Citado por 840 autores
9	Modelo da Associação dos Engenheiros Alemães (VDI)	Segue o modelo <i>plan-do-check-act</i> (Ciclo PDCA) a fase de planejamento importante para definição dos indicadores de desempenho	<i>Triple bottom line</i>	Amplio	e-book no site
10	Modelo Global Reporting Initiative(GRI)	Utiliza relatórios de sustentabilidade, indicadores podem ser tanto quantitativos quanto qualitativos	<i>Triple bottom line</i>	Amplio	e-book no site
11	Modelo do Instituto dos Engenheiros Químicos (IchemE)	Indicadores que pudessem ser usados na avaliação da sustentabilidade de sistemas de produção	<i>Triple bottom line</i>	Amplio	e-book no site
12	Modelo do Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD)	Abordagem flexível, aplicável em diferentes setores empresariais para a medição de desempenho	<i>Triple bottom line</i>	Amplio	e-book no site
13	Modelo Veleva e Ellenbecker	Ferramenta para a promoção da sustentabilidade no negócio utiliza indicadores padronizados	Econômico e Ambiental	Amplio	Citado por 693 autores
14	Modelo Azapagic	Utiliza <i>framework</i> de indicadores de sustentabilidade para a mensuração do desempenho	<i>Triple bottom line</i>	Amplio	Citado por 931 autores
15	Pmais	Utiliza indicadores	<i>Ambiental</i>	Amplio	Citado por 61 autores
16	Masp-HIS	Utiliza indicadores	<i>Ambiental e Social</i>	Amplio	Citado por 21 autores

Fonte: Adaptado de Araújo (2020).

Como pode ser observado no Quadro 4, nem todos os modelos avaliam os mesmos aspectos em virtude das características de sua aplicação. Alguns têm aplicação social, outros ambiental e outros econômicos, podendo ainda ter aplicação em uma, duas ou mesmo nas três dimensões da sustentabilidade.

4.1.2 FASE 1.2 Identificação dos modelos ambientais, sociais e econômicos

A partir desta análise os modelos foram avaliados conforme seus respectivos aspectos para cada uma das dimensões da sustentabilidade: (a) avaliação ambiental; (b) avaliação econômica; e (c) avaliação social. Nos quadros que seguem está exposto os resultados obtidos para a avaliação dos modelos estudados, destacando-se nas colunas os modelos, e em cada linha os aspectos, sendo que o ponto enegrecido no quadrículo, evidencia que o modelo avalia o respectivo aspecto.

A) AVALIAÇÃO AMBIENTAL

O resultado do somatório do Quadro 5 com a maior pontuação é o modelo GRI - *Global Reporting Initiative*, para avaliar a sustentabilidade ambiental com 18 aspectos representados pelos pontos enegrecidos nos quadrículos, sendo que o total de aspectos ambientais possíveis de se avaliar são 24 aspectos para o modelo GRI:

Quadro 5 - Planilha ambiental.

ASPECTO	GRI	14031	LABU	ICHEME	VDI	FIKSEL	THORES	OISTH	SCHWA	EPA	HAY	WBCSD	VEIEVA	AZAP	PMASIS	MASP
MATERIAIS	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•		•
ENERGIA	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•
AGUA	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•		•
EMISSÕES	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•		
EFLUENTE	•	•	•	•	•		•	•		•		•	•	•		
RESIDUOS	•	•	•	•	•		•	•		•		•	•	•		•
FORNECEDORES	•	•					•									
PROD. SERVIÇO	•	•		•		•	•					•	•	•	•	
EMBALAGEM				•	•	•						•	•			
TRANSPORTE	•	•			•		•									
MAT. TÓXICOS	•	•		•	•	•			•	•	•	•	•			
RUIDO RADIAÇÃO										•				•		
TERRA	•	•	•								•			•		•
IMPACTO TERC.																
SIST. GESTÃO A	•	•			•		•	•								
OBED. A LEIS	•	•			•		•	•							•	
INFRA ESTR. A.	•	•			•		•					•			•	
IMPACTO LOC.	•		•			•		•			•			•		•
BIODIVERS.	•		•			•		•			•			•		
ACIDIF.			•			•		•					•	•		
DEST. CAM. OZ.	•	•	•			•		•			•			•		
EFEITO EST.	•	•	•					•			•		•	•		
FORM. F. Q. OZ.			•					•						•		
REC. ENERG. M.			•	•		•	•	•						•		
SOMATÓRIO:	18	16	14	10	12	10	13	15	5	8	9	10	11	16	3	6

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Os 18 aspectos que o modelo GRI - *Global Reporting Initiative* contempla são: materiais; energia; água; emissões; efluente; resíduos; fornecedores; produtos e serviços; transporte; materiais tóxicos; terra; sistema de gestão ambiental; obediência as leis; infraestrutura ambiental; impacto local; biodiversidade; destruição da camada de ozônio; e efeito estufa. Os 6 aspectos que o modelo GRI não se aplica são: embalagem; impacto a terceiros; acidificação; formação fotoquímica de ozônio; formação fotoquímica de recursos energéticos; e formação fotoquímica de minerais.

Segundo Phonphoton e Pharino (2019), uma modelagem é uma das mais importantes provisões num sistema de gestão de resíduos, as ligações complexas são afetadas pela quantidade e qualidade e é muito importante avaliar aspectos possibilitando a minimização de impactos.

Esses aspectos definidos para o modelo modelo GRI - *Global Reporting Initiative* foram utilizados para a avaliação da sustentabilidade ambiental, e esse modelo foi parâmetro para a definição da estruturação do procedimento ambiental que avaliou os estudos de caso dos processos de furação convencional e furação por escoamento para validação do modelo proposto de avaliação da sustentabilidade.

B) AVALIAÇÃO ECONÔMICA

O resultado do somatório do Quadro 6 com a maior quantidade de pontos enegrecidos no quadrículo é o modelo da VDI - *Associação dos Engenheiros Alemães*, para avaliar a sustentabilidade econômica com 13 aspectos representados pelos pontos enegrecidos no quadrículo, sendo que o total de aspectos econômicos possíveis de se avaliar são 32 aspectos para o modelo VDI:

Quadro 6 - Planilha econômica.

ASPECTO	GRI	14031	LABU	ICHEME	VDI	FIKSEL	THORES	OISTH	SCHWA	EPA	HAY	WBCSD	VEIEVA	AZAPAG	PMASIS	MASP-
Custos de produção	•					•		•	•			•		•		
Custos de Capital	•					•								•		
Custos fim de vida (descarte)						•							•			
Custos ausência funcionários						•							•			
Custos associados a garantias e obrigações					•	•						•	•			
Custos de tratamento de emissões, efluentes e resíduos						•		•					•			
Custos equivalentes dos impactos ambientais								•					•			
Custos para mitigar impactos ambientais								•					•			
Ganhos de receita de boas práticas (ex. reciclagem)						•		•								
Intervenção dos Stakeholders (Perda de negócios)						•										
Valor adicionado ao produto				•	•			•	•			•		•		
Resultado operacional (vendas)	•		•	•	•			•	•			•		•		
Resultado Líquido			•						•			•		•		
Retorno sobre o capital social	•			•	•									•		
Retorno sobre o capital de terceiros	•			•	•									•		
Investimentos (ex. ambientais)				•				•				•		•		
Retorno sobre investimentos				•	•									•		
Despesas adm. e de vendas								•								
Despesas com treinamento				•												
Liquidez e solvência			•													
Benefícios em potencial de boas práticas (Subsídios)	•		•													
Capital Social					•											
Utilização da capacidade					•											
Taxa de falhas e defeitos					•								•			
Despesas com pesquisa e desenvolvimento				•	•											
Des. capital corrente				•	•											
Des. capital fixo				•	•											
Visão perante partes externas			•		•							•		•		
Participação de mercado	•		•									•				
Contribuição ao GDP	•		•											•		
Total taxas pagas por região e país	•		•	•												
Doações a comunidade	•			•												
SOMATÓRIO:	10	0	8	12	13	8	0	9	4	0	0	8	7	11	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Os 13 aspectos que o modelo VDI contempla são: custos associados a garantias e obrigações; valor adicionado ao produto; resultado operacional (vendas); retorno sobre o capital social; retorno sobre o capital de terceiros; retorno sobre investimento; capital social; utilização da capacidade; taxa de falhas e defeitos; despesa com pesquisa e desenvolvimento;

desenvolvimento do capital corrente; desenvolvimento do capital fixo; e visão perante as partes externas (*stakeholders*). Os 19 aspectos que o modelo VDI não se aplica são: custo de produção; custo de capital; custos de fim de vida (descarte); custos de ausência de funcionários; custos de tratamento de emissões; efluentes e resíduos; custos equivalentes dos impactos ambientais; custos para mitigar impactos ambientais; ganhos de receitas de boas práticas (reciclagem); intervenção dos *stakeholders* (perda de negócio); resultado líquido; investimentos (ambientais); despesas administrativas e de vendas; despesas com treinamento; liquidez e solvência; benefício em potencial de boas práticas (subsídios); participação de mercado; contribuição ao GDP; total de taxas pagas por região; e país e doações a comunidade.

Conforme Bakchan e Faust (2019), os resultados da avaliação de modelos proporcionam refinar a precisão das estimativas e esta metodologia serve como um guia para planejar e coordenar a gestão para obter-se ganhos econômicos.

Sendo assim, esses aspectos definidos para o modelo VDI - *Associação dos Engenheiros Alemães* foram utilizados para avaliação da sustentabilidade econômica, e esse modelo foi parâmetro para a definição da estruturação do procedimento econômico que avaliou os processos de furação convencional e furação por escoamento como estudo de caso para validar o modelo proposto na pesquisa.

C) AVALIAÇÃO SOCIAL

O resultado do somatório do Quadro 7 com a maior pontuação é novamente o modelo GRI - *Global Reporting Initiative*, para avaliar a sustentabilidade social com 21 aspectos representados pelos pontos enegrecidos nos quadrículos, sendo que o total de aspectos sociais possíveis de se avaliar são 29 aspectos para o modelo GRI:

Quadro 7 - Planilha social.

ASPECTO	GRI	14031	LABU	ICHEME	VDI	FIKSEL	THORES	OISTH	SCHWA	EPA	HAY	WBCSD	VEIEVA	AZAPAG	PMASIS	MASP- MASC
Relações trabalhistas (ex.: satisfação do funcionário)	•		•	•	•	•							•	•		
Saúde e segurança (ex.: acidentes, doenças)	•		•	•	•	•							•	•		•
Treinamento e educação	•		•	•	•	•							•	•		•
Igualdade de oportunidades	•		•	•	•									•		
Práticas justas de trabalho e obediência as leis	•		•		•									•		
Liberdade de associação e barganha coletiva	•															
Número de empregados, <i>trainnes</i> e <i>turnover</i>	•			•	•								•			
Respeito a criança	•		•													
Respeito aos direitos indígenas	•															
Meios para lidar com direitos humanos no trabalho	•													•		
Cultura, saúde e educação oferecidos	•		•										•			
Serviços oferecidos (ex.: melhor infraestrutura)			•										•			
Respeito às leis e regulações			•													
Competição (ex.: produtos e preços aceitáveis)	•					•										
Estímulos sensoriais (ex.: odor, barulho)			•													
Segurança (Impacto nos crimes)			•													
Prosperidade economia a comunidade			•										•	•		
Contribuição a coesão social (ex.: equidade)			•													
Desenvolvimento de políticas para impactos gerados	•															•
Meios para combater corrupção	•													•		
Ações de P&D para produtos sustentáveis			•													
Produtos e serviços (ex.: reclamações, multas)	•					•										
Saúde e segurança consumidor	•					•										
Certificados de adequação obtidos, ou <i>labels</i>	•															
Atendimento e padrões de propaganda	•															
Ações voltadas a privacidade do consumidor	•															
Potencial de influência na decisão			•										•	•		
Fonte de informações (ex.: audiências abertas)	•		•													
<i>Stakeholder empowerment</i>	•		•													
SOMATÓRIO:	21	0	17	5	6	6	0	0	0	0	0	0	8	9	0	3

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Os 21 aspectos que o modelo GRI contempla são: relações trabalhistas; saúde e segurança; treinamento e educação; igualdade de oportunidades (deficientes); práticas justas de trabalho e obediência as leis; liberdade de associação e barganha coletiva; número de empregados, *trainees e turnover*; respeito a criança; respeito aos direitos indígenas; meios para lidar com direitos humanos no trabalho; cultura, saúde e educação oferecidos; competição (produtos e preços aceitáveis); desenvolvimento de políticas para impactos gerados; meio para combater suborno e corrupção; produtos e serviços (reclamações, multas); saúde e segurança (consumidor); certificados de adequações obtidos (*labels*); atendimento de padrões de propaganda; ações voltadas a privacidade do consumidor; fonte de informações (audiências abertas); e *stakeholder empowerment*. Os 8 aspectos que o modelo GRI não se aplica são: serviços oferecidos (melhor infraestrutura); respeito às leis e regulação; estímulos sensoriais (odor, barulho); segurança (impacto nos crimes); prosperidade econômica a comunidade; contribuição a coesão social; ações de P & D para produtos sustentáveis; e potencial de influência na decisão.

Estes aspectos definidos para o modelo GRI - *Global Reporting Initiative* foram utilizados para avaliação da sustentabilidade social, e esse modelo foi definido na estruturação de um procedimento social que avaliará os processos de manufatura.

Os modelos de sustentabilidade estudados contemplam vários aspectos, conforme Dietz et al. (2018), cada área deverá adequar seus aspectos de forma detalhada respeitando os padrões de sustentabilidade e cada dimensão da sustentabilidade terá valoração diferenciada.

Elphick, Gilron, Christensen (2018), refere-se a aplicação de técnicas inovadoras para investigar efeitos ambientais e são aspectos como: análise de efluentes, qualidade da água, testes de toxicidade, avaliação das populações.

Maxwell, Sitchler, Tonkin (2018), diz que, a aplicação de um modelo de avaliação da sustentabilidade inclui características físicas e deve ter uma visão ampla e longitudinal abordando os principais aspectos para a condição analisada tornando-se um modelo conceito.

Na pesquisa realizada, identifica-se com os autores e vários aspectos podem ser analisados e cabe ao gestor avaliar, adaptar e com bom senso definir os melhores aspectos de monitoramento para as condições analisadas.

4.1.3 FASE 1.3 Estruturar um procedimento para avaliar o desempenho em sustentabilidade comparando os processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento ambiental, econômico e social

Com a definição dos aspectos de mensuração da sustentabilidade que se aplicam a cada um dos modelos avaliados, foi realizado o *brainstorming* com a aplicação de um questionário à profissionais das áreas de engenharia mecânica, engenharia elétrica, engenharia civil, engenharia ambiental e engenharia industrial. Estes profissionais foram selecionados pelo pesquisador por serem reconhecidos como formadores de opinião na região e por concordarem em participar da pesquisa conforme a Tabela 9:

Tabela 9 - Especialistas participantes da etapa de brainstorming.

Profissionais c/ experiência	30 anos	25 anos	10 anos	7 anos
Profissionais engenharia mecânica	1	1	1	1
Profissionais engenharia elétrica	1	1	----	-----
Profissionais engenharia civil	1	-----	1	1
Profissionais engenharia ambiental	-----	1	1	1
Profissionais engenharia industrial	1	1	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Esta etapa teve o propósito de identificar apenas os aspectos possíveis de medir, quantificar, e que fossem realmente relevantes para o processo de manufatura por furação convencional e furação por escoamento, uma vez que o resultado obtido da seleção dos modelos e do *Brainstorming* contempla a definição do procedimento estruturado. Com isso, os aspectos definidos nesta etapa, para cada uma das três dimensões da sustentabilidade, estão apresentados na Figura 49:

Figura 49 - Aspectos definidos para o Procedimento Estruturado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Os demais aspectos não selecionados, não foram considerados relevantes pelos especialistas para a pesquisa em laboratório, logo, não farão parte do procedimento estruturado.

Com relação aos aspectos econômicos, surge um detalhe importante em função da aplicação dos aspectos ao processo de manufatura de furação convencional e furação por escoamento. Como os aspectos econômicos selecionados não podem ser quantificados em laboratório, para esta situação específica surge a necessidade de uma substituição pelos seguintes itens:

- 1) Custo por furo furação convencional ASTM A-36;
- 2) Custo por furo furação convencional STRENX 700;
- 3) Custo por furo furação por escoamento ASTM A-36;
- 4) Custo por furo furação por escoamento STRENX 700.

Por fim, o procedimento estruturado para avaliar o desempenho em sustentabilidade utilizado na comparação de processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento origina-se da união das dimensões ambiental, social e econômica da sustentabilidade, e os seus respectivos aspectos identificados nos modelos, que obtiveram a maior pontuação (representado pelos pontos enegrecidos nos quadrículos) do somatório de aspectos na etapa de avaliação, e que posteriormente foram selecionados na etapa de *brainstorming* (Figura 50):

Figura 50 - Procedimento estruturado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A partir da experiência do pesquisador e de um *brainstorming* realizado com especialistas das áreas de engenharia através de questionário específico, foi identificado os aspectos possíveis de medir e de quantificar e que foram relevantes para avaliar a sustentabilidade nos processos de manufatura considerando os estudos de caso de furação convencional e furação por escoamento como instrumento de validação do modelo e possível de quantificar a sustentabilidade nos processos de manufatura.

Para Nadal et al. (2018), desenvolver uma nova metodologia para avaliação da sustentabilidade deve utilizar ferramentas diversas, como coleta de dados, entrevistas, estes dados devem ser unificados e identificadas as melhores alternativas, para isso, são realizadas as pré-seleções de critérios, selecionam-se as necessidades. É de fundamental importância a participação das pessoas que tem relação com a condição. Em um primeiro momento deve ser realizada uma reunião da equipe multidisciplinar e num segundo momento reunião com especialistas para avaliar as dimensões da sustentabilidade.

Na pesquisa desenvolvida foi realizado estes procedimentos, inicialmente foi realizado um *brainstorming* com especialistas das áreas de engenharia que definirão a equipe multidisciplinar, num segundo momento realizou-se entrevistas com colaboradores do setor de manufatura e num terceiro momento uma entrevista mais ampla utilizando as planilhas da UNIFAL (2019), que utilizam a metodologia proposta por (SAATY, 1980).

4.2 ETAPA 2 ESTRUTURAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO VISANDO QUANTIFICAR OS ASPECTOS RELATIVOS AS DIMENSÕES AMBIENTAIS, SOCIAIS E ECONÔMICAS DA SUSTENTABILIDADE

4.2.1 FASE 2.1 Caracterização da máquina, ferramentas utilizadas, dispositivos de fixação, equipamentos de medição, materiais e corpos de prova, sistemas de lubrificaçãorefrigeração

A) Caracterização da máquina

A máquina operatriz que foi utilizada na pesquisa é um centro de usinagem vertical CNC Romi V-400. A Figura 51 ilustra o equipamento:

Figura 51 - Centro de usinagem Romi V-400.



Fonte: ROMI (2018).

Observa-se que nos processos de manufatura se tem produtos de entrada, produtos em processo e produtos de saída, e no final do ciclo produtivo se obtém o produto e os resíduos. O fluxograma da Figura 52 caracteriza o fluxo do processo (entradas e saídas):

Figura 52 - Romi V-400 fluxo do processo (Entradas e Saídas).



Fonte: Adaptado de Romi (2018).

O fluxo do processo (Figura 52) para uma sequência de operações onde obteve-se no final o produto acabado, o produto semiacabado e resíduos na forma sólida, líquida ou gasosa.

Para Jasch (2001), é importante analisar as entradas e saídas, o resíduo gerado por um processo pode ser produto em outro processo. Na pesquisa, buscou-se avaliar os aspectos da sustentabilidade, possibilitando a avaliação de qual é o processo mais sustentável, buscando reduções e mitigação na fonte geradora.

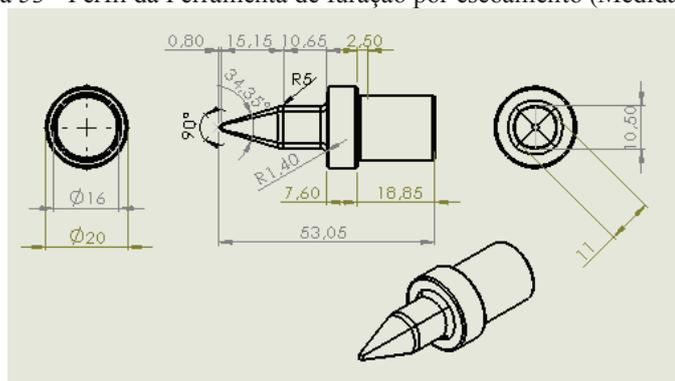
B) Caracterização das ferramentas de usinagem

Para a realização dos ensaios de furação convencional, foram utilizadas brocas de aço-rápido tipo HSS de diâmetro 10 mm e 110,03° de ângulo, com cobertura de nitreto de titânio (TiN) conforme a DIN 338 (2017).

Utilizou-se o comprimento menor possível da broca em balanço e igual para todos os testes. A broca possui comprimento total de 75 mm e 43 mm de comprimento do canal helicoidal. Assim, o comprimento em balanço foi de 44 mm.

Para a escolha do perfil da ferramenta de furação por escoamento, foi analisado os catálogos e escolhido um diâmetro usual da ferramenta e a Figura 51 ilustra este perfil, a mesma é de metal duro, diâmetro de 11 mm para roscagem (M12), na faixa ISO 513: K30/K40, dureza: 1610 HV 30, tenacidade: 3800 N/mm², tamanho de grão: 0,6 µm, densidade ISO 3369: 14,45 g/cm³, tungstênio (WC): 90,0 %, cobalto (Co): 10%, com revestimento de nitreto de titânio (TiN) e no modelo curta. A Figura 53 ilustra o perfil da ferramenta de furação por escoamento com as medidas em (mm):

Figura 53 - Perfil da Ferramenta de furação por escoamento (Medidas mm).



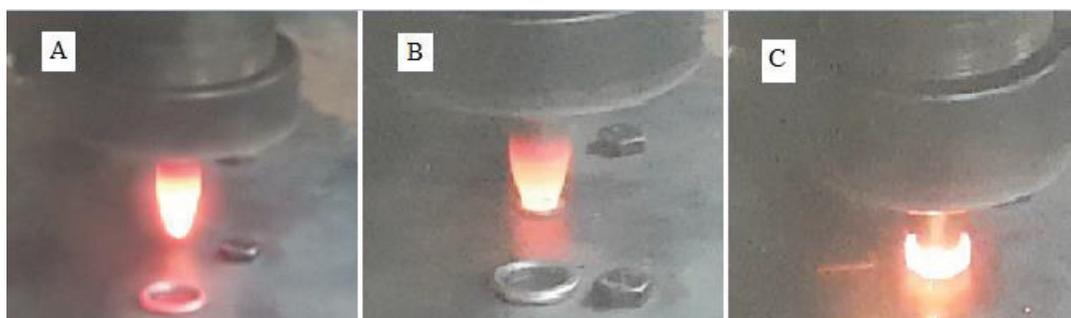
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Optou-se pelo modelo da ferramenta curto conforme desenvolvimento de Eckhardt (2003), porque os corpos de prova que foram realizadas as perfurações apresentam 3 mm de espessura, de acordo com a espessura da chapa se define o perfil da ferramenta. Optou-se por utilizar ferramentas com revestimento, no processo de furação convencional e no processo de furação por escoamento porque este acabamento superficial aumenta a sua vida útil.

As furações convencionais, foram realizadas sem pré-furo e de forma sequencial. Na furação por escoamento ocorre grande aquecimento da ferramenta devido ao atrito gerado durante o processo e sem geração de resíduos. A Figura 54 (A), (B) e (C) visualiza-se as etapas que ocorrem durante o processo de furação por escoamento, nota-se o aquecimento da ferramenta que trabalha à altas temperaturas durante todo o processo:

Figura 54 - Etapas do processo de furação por escoamento durante os ensaios.

(A) Broca antes de iniciar perfuração (B) Broca início perfuração (C) Broca conformando anel



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Na imagem (A) é visto a ferramenta antes de iniciar o processo de furação, como a ferramenta havia perfurado o furo anterior (sequencial), ainda está aquecida. A imagem (B) demonstrar o início da perfuração por escoamento e a imagem (C) a conformação do anel.

Nardi e Lacalle (2012), afirma que o diferencial do processo de furação por escoamento sobre a furação convencional é que no processo de furação convencional é necessário

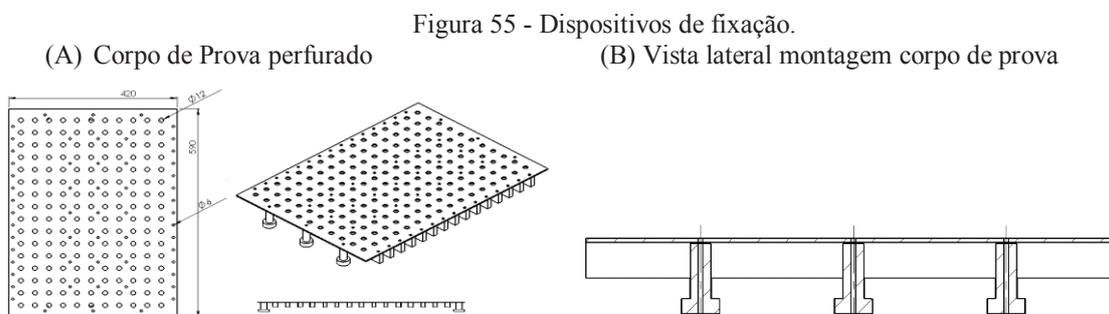
resfriamento para reduzir fricção e calor gerado, exatamente o oposto ao que se propõe na furação por escoamento e isso é evidenciado na pesquisa, além de se ter a possibilidade de roscagem posterior no furo escoado em chapas de pouca espessura permitindo a substituição de porcas soldadas e elementos construtivos após a perfuração.

C) Caracterização do dispositivo de fixação do corpo de prova na mesa da máquina CNC

O projeto do dispositivo de fixação foi realizado conforme exigências do processo e limitações da máquina utilizada, para a execução das perfurações o primeiro fator considerado foi a necessidade do espaçamento para a penetração da ferramenta de furação, para assim evitar o choque da mesma com a mesa de trabalho da máquina CNC, para evitar-se esta interferência, foi projetado calços, os mesmos possuem 28mm de altura para eliminar o risco de colisão entre a ferramenta e a mesa da máquina CNC. Estes foram fixos ao longo do comprimento da chapa nos intervalos médios entre os espaçamentos dos furos,

Outro fator de extrema importância é o tipo de fixação utilizado, devido ao grande esforço mecânico gerado pelo atrito, rotação e velocidade de avanço, há uma tendência muito forte de vibração do corpo de prova, caso não haja uma fixação adequada este corpo de prova pode se deslocar, danificando a ferramenta, o corpo de prova e a máquina CNC.

A parte inferior do componente projetado é encaixado no canal da mesa da máquina CNC, a parte superior é fixada com parafusos M6 no corpo de prova, estes componentes projetados foram colocados nos três canais da máquina em ambas extremidades para ter uma boa fixação. Como esta fixação não é o suficiente para evitar a vibração, foram realizados furos nos calços em ambas extremidades, no intervalo a cada dois calços, um deles foi fixado na região central, assim evitando qualquer vibração que poderia acontecer. A Figura 55 (A) ilustra a simulação do corpo de prova perfurado na vista superior e na vista isométrica. A Figura 55 (B) ilustra a vista lateral do corpo de prova, com os calços montados:



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Visualiza-se na Figura 55 (B) a montagem de fixação dos calços no intuito de evitar vibrações e a flexão do corpo de prova durante as perfurações. Estas encaixam nos canais da mesa da máquina CNC. O desenho da Figura 53 (A) mostra os furos do corpo de prova e do componente projetado onde serão colocados os parafusos para haver uma boa rigidez.

Vários autores como Lopes (1994) e Nardi e Lacalle (2012), adaptaram os métodos de desenvolvimento de suas pesquisas conforme as condições existentes na área de fabricação, não diferente, na pesquisa buscou-se otimizar os recursos e maximizar os resultados.

D) Equipamentos de medição utilizados e caracterização do porta-ferramenta

Os equipamentos de medição disponíveis foram paquímetros digitais, micrômetros para medições de diâmetros internos, externos, profundidades das perfurações. Os microscópios óticos, foi utilizado para medição do comprimento da zona térmica e mecanicamente afetada (ZTMA) e para registrar as imagens do desgaste das brocas durante as fabricações. O microdurômetro foi utilizado a partir das endentações que foram realizadas a partir da zona mecânica e termicamente afetada (ZTMA), até o metal-base. Foram feitas três linhas de medições. Realizou-se as medições desta forma para obter a perspectiva da variação de dureza sofrida pelo material em função da severidade do processo. O microscópio eletrônico de varredura foi utilizado para comprovação das modificações de fase que os materiais sofreram em função dos parâmetros de fabricação. Ressalta-se que todos os sistemas de medição informados foram devidamente calibrados em laboratórios pertencentes a Rede Brasileira de Calibração (RBC), possuindo seus respectivos certificados de calibração.

O porta-ferramenta que foi utilizado nos experimentos é um cone hidráulico BT40 balanceado para 7000 rpm e uma pinça ER 40 com batimento máximo de 0,005mm.

A cada fixação de uma nova broca no porta-ferramenta, o batimento radial do conjunto montado foi mensurado com o auxílio de um relógio apalpador. Em todas as medições, o batimento máximo foi inferior a 0,008mm.

Assim como as pesquisas realizadas por Nardi e Lacalle (2012), a equipe multidisciplinar de laboratório auxilia no desenvolvimento dos ensaios e medições para a obtenção dos dados técnicos que são parâmetros para o desenvolvimento do modelo de sustentabilidade para a manufatura. Na pesquisa todos os ensaios e manufaturas foram realizados com o auxílio dos profissionais técnicos dos laboratórios do curso de Engenharia Mecânica da UPF.

E) Materiais e corpo de prova

Os corpos de prova foram definidos com as dimensões de 590 mm de comprimento x 420 mm de largura x 3 mm de espessura, em furação convencional perfurou-se 336 furos por

corpo de prova e 154 furos em furação por escoamento por corpo de prova. A distância entre os furos foi de 15,9 mm na posição horizontal; 35mm entre os furos na posição vertical (furação convencional); e 35mm nas posições horizontal e vertical (furação por escoamento).

Estas dimensões proporcionaram a ancoragem e evitaram a flexão do corpo de prova, considerando a fixação por parafusos, calços e encostos, esta dificuldade de fixação ocorre porque a espessura do corpo de prova é pequena (3 mm) e buscou-se utilizar esta espessura por ser a mais usual nas indústrias da região.

Os materiais utilizados são o aço estrutural ASTM A-36 e o aço STREX 700 MCD. O aço STREX 700 MCD é novidade no mercado Brasileiro, este é laminado a quente, possui limite de escoamento mínimo de 700 MPa, proporciona a construção de estruturas mais resistentes e leves (SSAB, 2017).

Para o desenvolvimento das fabricações, os corpos de prova de aços ASTM A-36 e STREX 700 MCD foram fixados conforme projeto, o tempo de montagem médio de cada corpo de prova foi de 15 minutos, foram utilizados 37 parafusos M6 para a fixação do corpo de prova na mesa de trabalho da máquina CNC. Em cada corpo de prova foram realizados em furação convencional 336 furos e em furação por escoamento 154 furos, no canto esquerdo as chapas foram enumeradas na ordem crescente, As furações realizadas com lubrificante foi escrito MQL e as sem lubrificação à seco.

Pusavec (2010), avalia os processos de manufatura e realiza uma avaliação de máquinas, ferramentas, equipamentos, dispositivos, seus prováveis impactos e correlaciona com o desempenho da sustentabilidade e a partir destas análises definições de rotas tecnológicas podem ser definidas como apoio a tomada de decisão e incentivo à sua adoção e aplicação na indústria.

Na pesquisa, desenvolvida foram seguidas instruções conforme descreve Pusavec (2010), buscou-se definições metodológicas para que os dados coletados e gerados apresentassem qualidade e informações confiáveis.

4.2.2 FASE 2.2 Desenvolvimento da metodologia experimental adotada para as manufaturas e coleta de informações do desempenho em sustentabilidade utilizado na comparação de processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento

Foram definidos após testes práticos, as condições de contorno da pesquisa. A Tabela 10 mostra as condições de contorno definidas para o processo de furação convencional material ASTM A-36 e STRENX 700 MCD:

Tabela 10 - Condição de contorno Furação convencional MATERIAL ASTM A-36 e STRENX 700 MCD.

Parâmetros	Parâmetros de corte				
	Rotação (rpm)	Vc (mm/min)	Fluido	fr (avanço/rot)	Vf (mm/min)
	1274	44,0	MQL Seco	0,35mm/rot	446
500	17,3	MQL Seco	0,20 mm/rot	100	

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

As condições de contorno para o processo de furação por escoamento foram realizadas conforme recomendações da literatura, experiência do pesquisador e ensaios práticos *in loco*.

A Tabela 11 define as condições de contorno para o processo de furação por escoamento:

Tabela 11 - Condição de contorno Furação por escoamento ASTM A-36 E STRENX 700 MCD.

Parâmetros	Parâmetros de corte				
	Rotação (rpm)	Vc (mm/min)	Fluido	fr (avanço/rot)	Vf (mm/min)
	2000	69,1	MQL Seco	0,125	250
1500	51,8	MQL Seco	0,200	300	

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Na furação por escoamento, descartou-se a técnica de Emulsão ou Jorro de lubrificante, porque, em virtude do aquecimento da ferramenta e do resfriamento rápido, ocorre um grande choque térmico e a quebra das ferramentas. Essa situação evidenciou que o processo não deve ser utilizado nesse grau de severidade.

Pusavec (2010), compara processos de manufatura, Através da usinagem por jato de pressão (Criogenia) com a usinagem convencional e através da definição das condições e das avaliações dos resultados obtidos, como: consumo de energia, segurança, saúde pessoal, gestão de resíduos e custos. Oferece uma rota econômica para melhorar o desempenho econômico, ambiental e social em comparação com processos convencionais de fabricação.

Na pesquisa realizada buscou-se estes resultados, mas para uma condição mais condizente com a necessidade das manufaturas realizadas no Brasil. Técnicas como a criogenia ainda estão distantes da realidade regional e a utilização de técnicas com Mínima quantidade de fluido (MQL) aplicada nos processos abrange uma maior aplicabilidade e possibilita ganhos

econômicos, sociais e ambientais. A análise de um segundo processo de manufatura como a furação por escoamento, possibilita uma nova possibilidade em aplicações específicas e cabe ressaltar que a avaliação dos processos foi realizada como estudo de caso para validação do modelo de avaliação da sustentabilidade nos processos.

4.2.3 FASE 2.3 – Avaliação de aspectos para o processo de furação convencional e processo de furação por escoamento ambiental, social e econômico

Os aspectos ambientais que estão envolvidos no processo de manufatura e que foram mensurados são: consumo de energia, produção de resíduos sólidos, utilização fluido lubrificante na manufatura, consumo de fluido hidráulico, desgaste das ferramentas e aquecimento na manufatura nos processos de furação convencional e furação por escoamento.

4.2.4 FASE 2.3.1 Estruturação do Procedimento ambiental

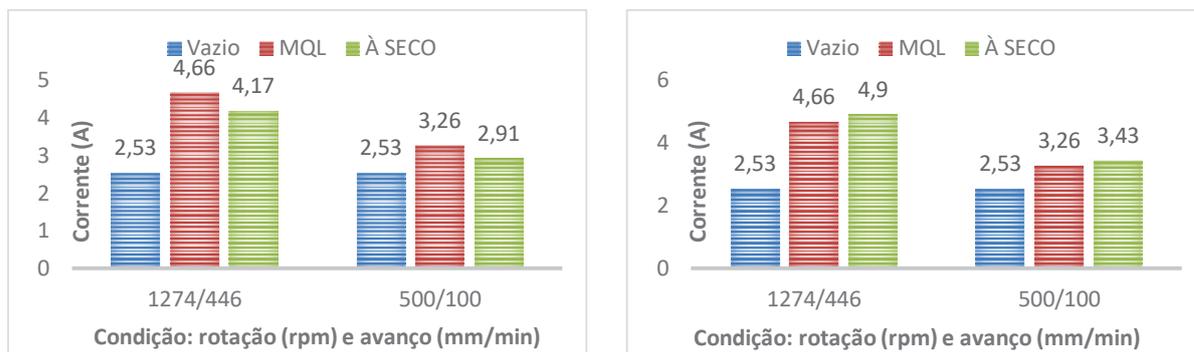
A) Energia no processo de furação convencional e no processo de furação por escoamento dimensão ambiental

Foram montados, nos três cabos de alimentação de entrada de energia da máquina CNC, três amperímetros, sendo um em cada cabo, no intuito de mensurar a energia fornecida pela rede trifásica e consumida no processo de manufatura.

Mensurou-se o consumo de energia sem manufatura, com a máquina ligada (máquina em vazio), objetivando verificar qual o consumo para movimentar e acionar todos os mecanismos e sistemas do equipamento.

Foi monitorada a furação convencional para o material ASTM A36 na condição MQL e na condição à Seco. Repetiram-se as mesmas operações para o material STREX 700 MCD. Os dados são apresentados na Figura 56 (A) e (B):

Figura 56 - Corrente medida durante a furação convencional.
 (A) Material ASTM A-36 (B) Material STRENX 700 MCD



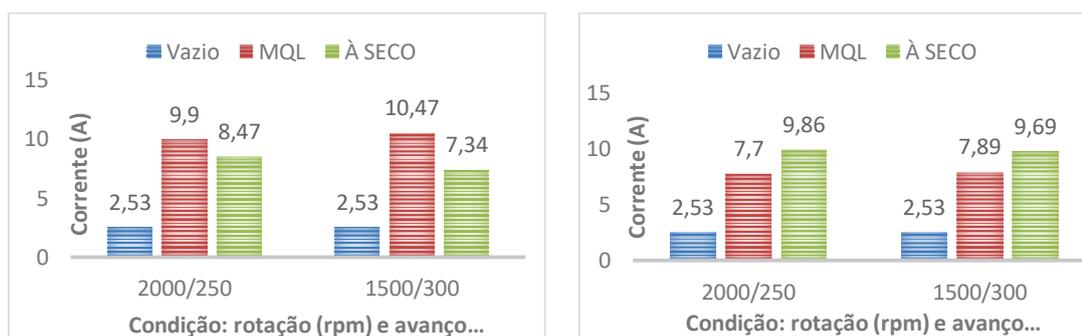
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A furação convencional à Seco (1274/446), material STRENX 700 MCD, apresentou maior consumo de energia (4,9 A) - Ampère.

Para reduzir o desgaste da ferramenta e qualidade no processo de furação convencional (a Seco) foi necessário reduzir a rotação e avanço para (500/100). Isso representa redução de (70%) no consumo de energia. E esta alteração representou baixar a produtividade com redução significativa de consumo de energia.

No processo de manufatura de furação por escoamento, para o material ASTM A36, visualiza-se na Figura 57 (A) E (B):

Figura 57 - Corrente medida durante a furação escoamento.
 (A) Material ASTM A36 (B) Material STRENX 700 MCD



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

No MQL, para o material ASTM A-36, na condição 1500/300 tem-se menor rotação (1500 rpm) e maior avanço ($f = 300$), caracterizando um maior esforço de corte gasto para executar as perfurações e se obteve o maior consumo de energia (10,47 A).

Na perfuração do aço STRENX 700 MCD, na condição à Seco, 2000 rpm e $F = 250$ mm/min, houve o maior consumo de energia (9,86 A).

Para Rajemi, Mativenga, Aramcharoen (2010), reduzir o consumo de energia na manufatura, reduz a pegada de energia, leva a redução das emissões de dióxido de carbono e minimiza-se a pegada ambiental. A energia utilizada pelas máquinas não é estrategicamente pensada. A energia utilizada para executar as operações de fabricação, muitas vezes, representam o maior torque disponível e pode estar superdimensionado para efetuar aquele trabalho. É essencial otimizar e melhorar a produtividade da fabricação mitigando o efeito fábrica e meio ambiente. O corte dos metais e as operações foram otimizadas com base em considerações tecnológicas sem a dimensão ambiental e devem ser revistas considerando estes resultados para as operações e processos.

Morales et al. (2018), afirma que além de trabalhar na fonte como é o caso da redução da energia no equipamento, também se pode trabalhar com a geração de fontes de energias alternativas como hidroelétricas, biomassa, solar, fotovoltaica, eólica, no intuito de aumentar a infraestrutura, mas as regulamentações ambientais devem ser reforçadas para aumentar o controle e os consumos.

Na pesquisa buscou-se redução na fonte que é a primeira estratégia da Produção mais limpa (SENAI, 2003). Esta ação possibilita definir processos que apresentam maiores consumos e possibilita avaliar como se pode mitigar estas ações através da utilização tecnológicas, tais como: alterações de parâmetros de fabricação, modificação na ferramenta, na técnica de lubrificarrefrigeração, no projeto do produto e na composição do material a ser manufaturado.

Observa-se que uma ação de buscar energias alternativas para as fabricações conforme descreve Morales et al. (2018), é importante no intuito de gerar novas fontes energéticas, mas com o aumento das populações e de consumo esta ação também pode chegar ao seu limite de utilização e se deve tomar muito cuidado quando se trata de produção sem um controle de forma ordenada.

Na pesquisa realizada, as informações de consumo de energia foram utilizadas na validação do modelo no método AHP na dimensão ambiental, mas é importante possibilitar aos *stakeholders* outras estratégias de redução deste impacto e que possam ser implementadas nos processos de manufatura.

B) Resíduo sólido gerado em unidade de massa (Kg) no processo de furação convencional e processo de furação por escoamento dimensão ambiental

Na manufatura em furação convencional, foi coletado o resíduo sólido gerado do processo de fabricação à Seco e lubrificarrefrigerante na condição MQL.

Na Figura 58 (A) e (B), apresentam-se os componentes manufacturados e o resíduo sólido gerado e coletado para os materiais ASTM – A36 e STRENX 700 MCD.

Figura 58 – Componentes manufacturados, resíduo sólido gerado e coletado materiais (A) e (B):

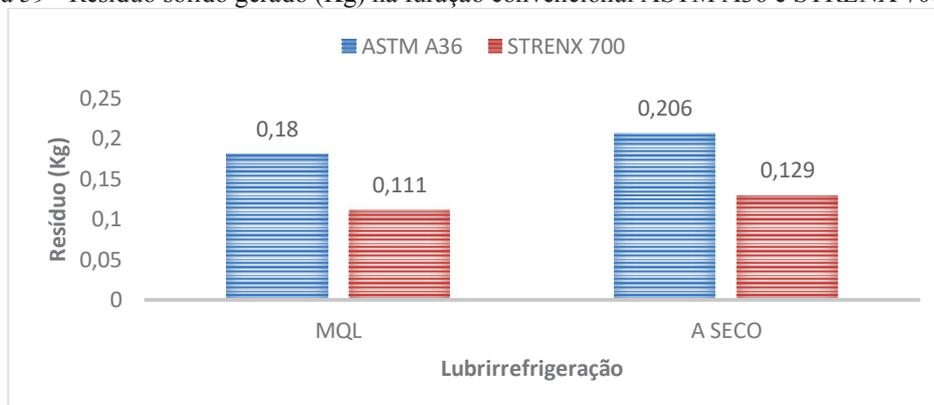


Fonte: Próprio autor (2020).

Quantificou-se em unidade de massa o peso médio, em kg, do resíduo sólido gerado após a manufatura dos componentes.

Na Figura 59 apresenta-se o comparativo que foi realizado do resíduo dos materiais com relação ao processo de furação convencional:

Figura 59 - Resíduo sólido gerado (Kg) na furação convencional ASTM A36 e STRENX 700 MCD:



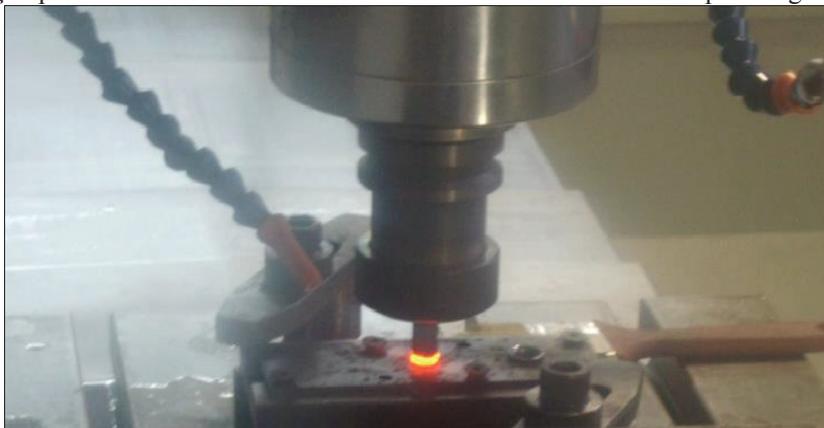
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O resíduo sólido gerado na manufatura, na condição MQL representa 7,8% da massa gerada em (Kg) e na condição à Seco o resíduo gerado representa 8,8% da massa gerada em (Kg).

Esta variação de 1% do resíduo gerado entre os materiais ASTM A-36 e STRENX 700 MCD, ocorre devido a característica do material, condição e lubrirrefrigeração que proporciona cavacos em perfis diferentes ex. tipo vírgula ou molas que são arremessados para o depósito de cavacos. Ocorre que nem todo cavaco é coletado na íntegra e por isso ocorre esta variabilidade.

Na manufatura em furação por escoamento, não é gerado resíduo sólido porque este processo combina velocidade e força de compressão, e esses fatores, somados à ação de uma ferramenta confeccionada em material especial, permitem que o resíduo que deveria ser gerado no processo seja conformado pelo aquecimento gerado e se deposite na borda da parede externa da perfuração, conhecida como bucha escoada. A Figura 60 abaixo apresenta o processo de furação por escoamento para os materiais ASTM A-36 e STRENX 700 MCD que não gera resíduos sólidos:

Figura 60 - Furação por escoamento materiais ASTM A36 e STRENX 700 MCD que não gera resíduos sólidos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A maioria das ferramentas de furação por escoamento é projetada com anel conformador, que serve para dar acabamento superficial para a borda da perfuração. Na Figura 61, são mostrados alguns dos componentes manufaturados em furação por escoamento ASTM A-36 e STRENX 700 MCD:

Figura 61 - Componentes Manufaturados em furação por escoamento ASTM A36 e STRENX 700 MCD:



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Gavrilescu e Teodosiu (2016), avaliou os resíduos sólidos, possíveis impactos, indicadores sócio-econômicos, a produtividade durante o período 2004-2013, a geração dos

resíduos industriais, principalmente os manufaturados na Romênia. A redução da quantidade de resíduos está relacionada a uma legislação de tratamento de resíduos sólidos eficiente que fechou muitas indústrias.

Na pesquisa, não considerou-se as questões de legislação, é de conhecimento que a destinação incorreta destes resíduos e a falta de responsabilidade ocasiona multas que podem variar conforme o grau de incidência. Mas as fiscalizações não conseguem abranger de forma eficaz, buscou-se alternativas que possam propiciar ações simples e de ordem tecnológica para melhorias dos processos.

Pusavec (2010), afirma que o fabricação de componentes com materiais especiais, como é o caso das ligas resistentes ao calor, são atualmente materiais utilizados na manufatura de componentes de motores de aeronaves, aplicações na área médica e hospitalar, na indústria de estruturas, em aplicações que exigem propriedades de temperatura e corrosão extraordinariamente elevadas e resistência mecânica. Estas aplicações condicionam os produtos manufaturados a uma vida útil relativamente curta, aumentando relativamente os custos de manufatura e os resíduos sólidos na fabricação. A aplicação de tecnologias alternativas de usinagem pode proporcionar um enorme ganho de processo a partir do ponto de vista da sustentabilidade.

Justifica-se na pesquisa a utilização e a análise da aplicação do processo de furação por escoamento, que não gera resíduos e o resíduo gerado foi depositado na parte inferior (bucha escoada) e na parte superior o colar conformador da ferramenta gera um acabamento circular ao redor da perfuração. Possibilitando utilizar este material depositado para um posterior processo que pode ser aplicado na bucha que é a operação de roscagem.

Esta redução de impacto por não gerar resíduo sólido, possibilita uma produção mais limpa, aonde realizou-se uma redução de resíduos na fonte (SENAI, 2003). Para os *stakeholders* é importante avaliar os processos e a pesquisa através da coleta de dados demonstra um resultado específico que pode ser adaptado em outros processos nos mais variados segmentos industriais.

C) Fluido hidráulico no processo de furação convencional e no processo de furação por escoamento dimensão ambiental

Uma questão que vem sendo observada pela indústria metal mecânica é com relação aos fluidos hidráulicos utilizados pelas máquinas ferramentas na execução de processos de fabricação. Esses lubrificantes representam a vitalidade da máquina, o valor agregado quando há necessidade de substituição e a questão ambiental quanto ao descarte do óleo deteriorado. Estes são os principais fatores que causam preocupações para a indústria mecânica. Busca-se

otimizar os lubrificantes para que a sua utilização seja com a maior eficiência possível (ALVES, 2007).

O fluido hidráulico utilizado pela máquina ferramenta para movimentar os eixos de rotação e translação. Inicialmente o reservatório foi abastecido de óleo, e, no final das manufaturas, naquela semana o nível de óleo havia baixado, tendo sido repostos, então, 700 ml de óleo lubrificante. Foram produzidas 810 perfurações em furação convencional, das quais 405 perfurações no material ASTM A36 e 405 perfurações no material STREX 700 MCD.

Na furação por escoamento, inicialmente, o reservatório estava com o nível de óleo completo, e, durante a manufatura, foram realizadas 180 perfurações em furação por escoamento, das quais 90 com material ASTM A-36 e 90 com material STREX 700 MCD, e, no decorrer do processo, foi necessário repor 200 ml de óleo lubrificante.

O consumo da máquina é de 200 ml a cada 200 perfurações e esse consumo ocorre devido a fatores como lubrificação dos componentes mecânicos e acionamentos hidráulicos de movimentação.

A filtragem é um meio utilizado para corrigir um óleo lubrificante quando em uma análise é verificado a presença de contaminantes. Esse processo segue a classificação das normas ISO 4406 (1999), (normalmente faz com que o óleo retorne às características aproximadas de um produto novo. A norma ISO 4406 é a norma mais utilizada para medir a limpeza do óleo. Trata-se de um guia de representação, o qual tem o intuito de simplificar o relatório de contagem de partículas, convertendo a quantidade encontrada por mililitro da amostra analisada em um código que mensura esse valor. Trabalha com 3 referências de tamanho de partícula: 4 microns, 6 microns e 14 microns (CANCHUMANI, 2013).

Na máquina CNC utilizada nas manufaturas, apenas é repostado o fluido lubrificante conforme a sua utilização, no equipamento boa parte deste lubrificante evapora-se e outra parte vai para o circuito hidráulico que pode apresentar vazamentos em conexões e mangueiras devido ao alto consumo apresentado durante as perfurações na execução dos processos.

Shokoohi, Khosrojerdi, Shiadhi (2015), afirma que o recente progresso notável nos processos de fabricação de produtos metálicos, vários estudos foram realizados sobre como melhorar o desempenho da manufatura. Um dos mais importantes e relevantes campos de pesquisa tem focado na avaliação dos comportamentos dos fluidos e metais e os efeitos destes fluidos no meio ambiente, nos colaboradores humanos das indústrias e na qualidade dos produtos e na pesquisa desenvolvida é pertinente analisar o comportamento destes fluidos e como são utilizados nas indústrias.

Belluco e Chiffre (2002), afirma que a eficiência da manufatura, considerando o desgaste da ferramenta, acabamento superficial, tolerâncias, força de corte e redução de vibrações está relacionada a qualidade do fluido hidráulico utilizado. Um fluido de qualidade indesejável pode perder as suas propriedades físico-químicas, como principal propriedade a viscosidade e este efeito pode gerar maior atrito entre os elementos da máquina, proporcionando maiores desgastes e até perda de movimentos essenciais para a fabricação.

Oilchek (2015), recomenda que seja verificado o sistema de filtragem, como condições de pré-filtração, tempo, eficiência do sistema, procedimentos de coleta, reposição e vedações. Evidenciou-se na pesquisa, que seja verificado junto ao fabricante os níveis de contaminação adequado específicos para o equipamento. Sugere-se que sejam avaliadas as normais para o período de utilização, que seja realizado o teste de contagem de partículas, porque este fluido pode apresentar parâmetros acima do especificado para sistemas hidráulicos que possuem filtros absolutos. No caso de descarte do fluido lubrificante, este deve ser acondicionado em recipientes apropriados e encaminhe para empresas que realizam a mitigação do lubrificante. Na máquina CNC utilizada na pesquisa, apenas é repostado este fluido hidráulico conforme ele é evaporado e dissipado. São realizadas inspeções visuais que propiciam uma análise prévia da qualidade do fluido e este procedimento não condiz com as situações encontradas na indústria, aonde os equipamentos trabalham em turnos prolongados e pode ocorrer a perda das propriedades dos fluidos. Na pesquisa o máximo de utilização diária em regime de trabalho foi de oito horas e por ser laboratório a degradação e contaminação não foi observada devido ao prolongamento da vida do óleo em função da pouca utilização.

D) Fluido lubrificadorrefrigerante, MQL no processo de furação convencional e no processo de furação por escoamento dimensão ambiental

Várias tecnologias de lubrificar e refrigerar são utilizadas na zona de corte para melhorar a eficiência dos processos de manufatura, as principais mais utilizadas são Emulsão ou Jorro, lubrificação sólida, lubrificação com mínima quantidade de fluido (MQL), Criogênia e à Seco (SHOKOOHI; KHOSROJERDI; SHIADHI, 2015).

Na pesquisa desenvolvida a lubrificadorrefrigeração (lubrificar e refrigerar) pela técnica de Emulsão foi descartada dos processos de manufatura pesquisados devido ao aporte térmico gerado pelo processo de furação por escoamento que causa a quebra da ferramenta de corte.

A técnica de lubrificação sólida é muito utilizada em baixa rotação e por utilizarmos um centro de usinagem (CNC) esta técnica também foi descartada, porque para aplicar esta técnica faz-se necessário utilizar o equipamento com a porta da cabine enclausurada aberta.

A utilização do MQL, ao invés de uma quantidade excessiva de lubrificantes, a substância líquida é atomizada e aplicada por meio de jato de ar comprimido diretamente na ferramenta. Durante o processo o lubrificante é totalmente consumido, confirmando uma eficiência máxima em seu uso.

A técnica da Criogenia, é um método inovador que consiste em pulverizar a região da usinagem com líquido não combustível, um gás e não corrosivo. Geralmente utilizado o nitrogênio líquido, gás que evapora rapidamente e 78% do ar que respiramos é composto por nitrogênio líquido (PUSAVEC, 2010). Esta técnica não foi adotada na pesquisa porque não tem muita aplicabilidade na indústria Metal mecânica na região da pesquisa.

A Usinagem à Seco é a mais utilizada na região da pesquisa, sem gerar efluente líquido, proporciona aplicação em vários processos como: furar, cortar, fresar, tornear, e diminui danos a saúde dos funcionários e poluição ambiental.

Nos processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento, adotou-se fluido lubrificante pela técnica de Mínima quantidade de fluido (MQL), foi escolhido o uso de um fluido composto de óleo semi-sintético e água, com sua composição possuindo 80% de água e 20% de óleo, e sendo aplicado pelo método de atomização ou mínima quantidade de lubrificante (MQL) sobre a peça. Foi cronometrado o tempo de 03:41:78 e obteve-se uma vazão de 0,0189 (l/min). Essa vazão de fluido lubrificante foi adotada em todas as perfurações por MQL no processo de furação convencional e no processo de furação por escoamento.

Kuram et al. (2013), investigou a influência de fluidos de corte à base de vegetais e fluidos misturados, estes apresentaram desempenho notável no corte, forças radiais e eficácia dos processos de corte.

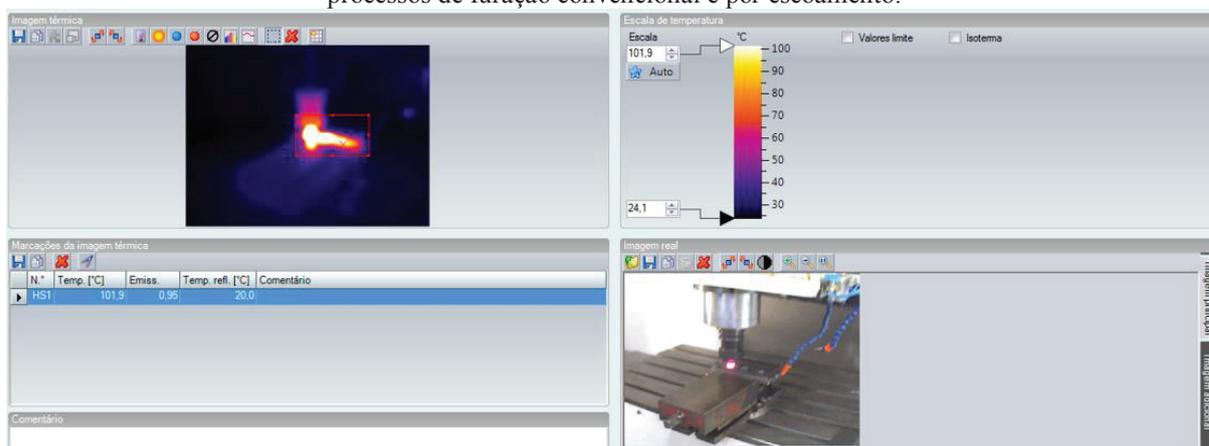
Shokoohi, Khosrojerdi, Shiadhi (2015), afirma que, as operações em máquinas rotativas são consideradas uma das mais fundamentais de corte de metais na indústria. A aplicação da técnica de mínima quantidade de líquido (MQL), aumenta a produtividade das operações de corte em termos de qualidade de fabricação, custos, saúde dos operadores e proteção ambiental.

Analisar as técnicas sem lubrificante (à Seco) e com lubrificante (MQL), possibilitaram a obtenção de dados de manufatura com relação ao desgaste das ferramentas, qualidade das fabricações e parâmetros de fabricação, além de questões sociais, relacionadas aos usuários, como a saúde. Na pesquisa, obteve-se estas informações no intuito de analisar a sustentabilidade dos processos a partir do procedimento estruturado desenvolvido aplicando o método AHP e a partir destes resultados investigados possibilitar experiências aos *stakeholders* das indústrias.

E) Aquecimento das ferramentas nos processos de manufatura de furacao convencional e furacao por escoamento

O monitoramento do aquecimento da ferramenta e dos corpos de prova durante as fabricações é importante porque mostra um panorama de desgaste das ferramentas e da qualidade da peça manufaturada. Durante as perfurações utilizou-se a câmera termográfica modelo testo 882 e o *software* texto IRsof (2018), da câmera térmica e os materiais analisados durante a manufatura dos componentes foi o material ASTM A-36 e o material STRENX 700 MCD nas condições de contorno definidas. Na Figura 62 visualiza-se um exemplo de imagem térmica e o aquecimento gerado pela manufatura mensurando a temperatura nos processos de furação convencional e por escoamento:

Figura 62 – Exemplo de Imagem térmica, aquecimento gerado pela manufatura mensurando a temperatura nos processos de furação convencional e por escoamento:

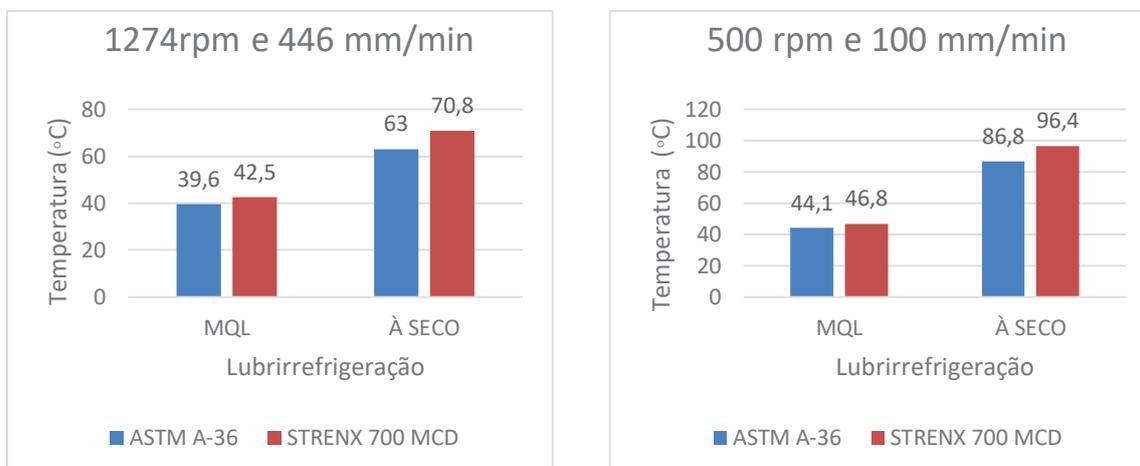


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O comando ponto mais quente no *software* texto IRsof para a imagem termográfica se captura o ponto de maior temperatura durante as fabricações.

A Figura 63 (A) e (B) ilustra o aquecimento gerado no corpo de prova e foi mensurado o aquecimento médio em unidade de temperatura em graus Célsius (°C) para a furação convencional:

Figura 63 - Média do Aquecimento mensurado em unidade de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$).
 (A) Aquecimento furação convencional B) Aquecimento furação convencional



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

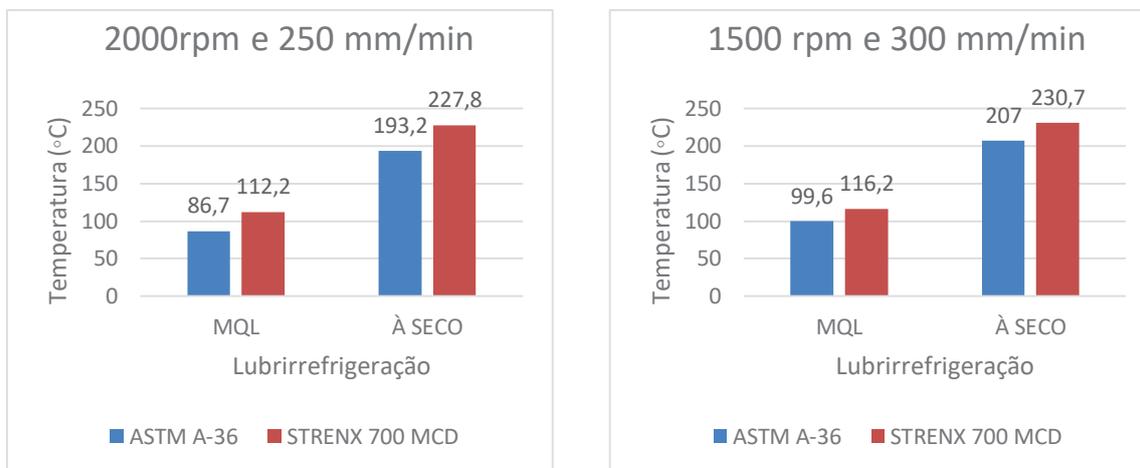
A Figura 63 (A) e (B) ilustram a média do aquecimento que ocorre durante a furação convencional entre a ferramenta e os materiais ASTM A36 e STRENX 700 MCD.

Conforme Stoeterau (2019), o aquecimento no processo de furação ocorre devido a interferência entre ferramenta e peça e é oriundo do atrito, cinemática, deformação, termodinâmica (geração e propagação de calor) e propriedade dos materiais.

Na condição 1: 1274 rpm e avanço de 446 mm/min o maior aquecimento gerado como temperatura média para 50 medições foi de $70,8^{\circ}\text{C}$ à Seco. Na condição 2: 500 rpm e 100 mm/min o maior aquecimento gerado como temperatura média para 50 medições foi de $96,4^{\circ}\text{C}$ à Seco e estes valores apresentam-se condizentes com informações encontradas na literatura técnica.

A Figura 64 (A) e (B) ilustra a média de aquecimento gerado na ferramenta e foi mensurado em unidade de temperatura em graus Célsius ($^{\circ}\text{C}$) para a furação por escoamento:

Figura 64 - Média do Aquecimento mensurado em unidade de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$).
 (A) Aquecimento furação por escoamento B) Aquecimento furação por escoamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A Figura 64 (A) e (B) ilustram a média do aquecimento que ocorrem na furação por escoamento entre a ferramenta em processo de furação por escoamento e os materiais ASTM A-36 e STRENX 700 MCD.

Para Nardi e Lacalle (2012), a técnica de medição da temperatura atingida pela peça é um importante fator na execução de perfurações, com o intuito de verificar os principais valores atingidos durante a perfuração.

Lopes (1994), obteve dados variando de 350,6 à 500,8 $^{\circ}\text{C}$. É importante mitigar este aquecimento utilizando técnicas de lubrirrefrigeração no intuito de melhorar a eficiência econômica dos processos e possibilitar segurança ao colaborador no momento da extração do componente do posto de trabalho na máquina CNC.

Biermann e Liu (2014), perfurando por escoamento liga especial Magnésio ALLOY AZ 3, obteve valores de temperatura na faixa de 225 $^{\circ}\text{C}$ no corpo da ferramenta e 350 $^{\circ}\text{C}$ na região de calibração do diâmetro.

Quanto a ação de mensurar o aquecimento nos processos de manufatura, conclui-se que temperaturas altas geram aquecimento na peça, este aquecimento pode alterar em função das condições de contorno, material e técnicas utilizadas (LOPES,1994).

Na ferramenta de furação por escoamento observa-se a influência na performance do trabalho e estas temperaturas altas devem ser mitigadas buscando melhorar a dimensão econômica da sustentabilidade. Na pesquisa, na medição da temperatura utilizando a câmera térmica, identificou-se que essa medição apresenta bastante incerteza de medição, devido a variações ocorridas durante o manuseio do instrumento. No apontamento do feixe laser, podem ocorrer variações de posicionamento e como o instante de deslocamento é muito rápido, a

captura do ponto mais quente pode não representar o valor da temperatura com exatidão. Conforme a média dos valores coletados na Figura 64 (A) e (B) que a temperatura média ficou em torno de 230,7 °C (1500 rpm e 300 00/min à Seco e material STRENX 700). Analisando os pontos de maior temperatura na faixa de 500°C a 530°C, evidenciando-se na pesquisa valores muito próximos dos encontrados na literatura. Cabe ressaltar que em função das condições de contorno, material a ser perfurado e técnica de refrigeração, pode alterar os resultados apresentando maior ou menor aquecimento.

F) Dimensional das perfurações no Processo de furação convencional e no processo de furação por escoamento

1) Dimensional das perfurações no Processo de furação convencional

As perfurações em furação convencional foram realizadas avaliando dois aços de alta resistência e baixa liga (ARBL). Os materiais avaliados foram os ASTM A-36 e o STRENX 700 MCD, utilizou-se a técnica de lubrificação mínima quantidade de líquido (MQL) e perfurou-se à Seco. As condições de contorno especificadas foram de RPM 1274 e avanço F446 mm/min e RPM 500 e avanço F100 mm/min. Realizou-se perfurações até a ferramenta apresentar desgaste e não garantir mais a qualidade das perfurações chegando ao final da sua vida útil ou apresentar quebras e desgastes prematuros comprometendo a fabricação. A média de furos realizadas para furação convencional considerando 03 repetições em cada ensaio apresenta-se no Quadro 8:

Quadro 8 - Média de furos realizados furação convencional.

	RPM1274F446 ASTM A-36		RPM 500 F100 ASTM A-36		RPM1274F446 STRENX700		RPM 500 F100 STRENX700	
	MQL	Seco	MQL	Seco	MQL	Seco	MQL	Seco
Qtd. de Perfurações	1008	4023	1008	5040	58	58	478	74

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

As perfurações realizadas em furação convencional, mensurou-se com paquímetro digital uma média de 50 medições de maneira aleatória para as condições especificadas. Foi mensurado com paquímetro digital o diâmetro do corpo de prova e a altura da rebarba gerada para assegurar confiabilidade e a qualidade do furo em cada condição de manufatura.

Lopes (1994), afirma que furos manufaturados por brocas em processo de furação convencional, normalmente permitem obter dimensões na faixa de IT 11 e IT 12. Para as perfurações adotou-se a tolerância dimensional para M12 x 1.75mm furo para broca Φ 10,3mm (Tolerância rosca interna 6H – Classe 2: Min: Φ 10,106mm e Máx: Φ 10,441mm).

O dimensional das perfurações em cada condição para o processo de Furação convencional apresenta-se no Quadro 9:

Quadro 9 - Dimensional das Perfurações em cada condição Processo de furação convencional.

ITEM	RPM1274 F446		RPM500 F100		RPM1274 F446		RPM500 F100		Média por critério
	ASTMA-36		ASTMA-36		STRENX 700		STRENX 700		
	MQL	Seco	MQL	Seco	MQL	Seco	MQL	Seco	
Φ furo	10,2394	10,208	10,2102	10,2144	10,176	10,0171	10,1794	10,1626	10,18
Rebarba	1,621	2,589	0,6706	1,1868	0,7716	1,3107	0,4866	0,2852	1,12

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Lopes (1994), diz que um furo gerado pelo processo de furação convencional deve ser um pouco menor do que um furo gerado por furação por escoamento, condição esta devido ao processo posterior que pode ser implementado de roscagem por conformação nos furos.

Observando-se as condições tem-se que a pior condição avaliada foi (cor vermelha) para furação convencional RPM 1274 F446 ASTM A-36 com diâmetro do furo de 10,2394 mm.

As avaliações negativas referente a esta condição por apresentar maior rebarba à Seco (2,589 mm).

Quanto a condição (cor verde), observa-se as medições muito próximas da vermelha e aponta esta condição como a que apresenta maior variação dimensional.

Nas condições RPM500 F100 ASTM A-36 e RPM1274 F446 STRENX 700, percebeu-se dimensões parecidas no diâmetro do furo (10,202 e 10,214mm).

A condição RPM500 F100 STRENX 700 MQL e à Seco é a que apresentou melhor condição (10,17 e 10,16 mm) e menor geração de rebarba (0,48 e 0,28mm).

2) Dimensional das perfurações no Processo de furação por escoamento

As perfurações em furação por escoamento seguiram a mesma metodologia utilizada para furação convencional, foi avaliado dois aços de alta resistência e baixa liga (ARBL). Os materiais avaliados foram os ASTM A-36 e o STRENX 700 MCD, utilizou-se a técnica de lubrificação mínima quantidade de líquido (MQL) e perfurou-se à Seco. As condições de contorno especificadas foram de RPM2000 F250 mm/min e RPM 1500 F300 mm/min.

Realizou-se perfurações até a ferramenta apresentar desgaste e não garantir mais a qualidade das perfurações chegando ao final da sua vida útil ou apresentar quebras e desgastes prematuros comprometendo a fabricação. A média de furos realizadas para furação por escoamento considerando 03 repetições em cada ensaio apresenta-se no Quadro 10:

Quadro 10 - Média de furos realizados para furação escoamento considerando 03 repetições:

	RPM2000F250 ASTM A-36		RPM 1500 F300 ASTM A-36		RPM2000F250 STRENX700		RPM 1500 F300 STRENX 700	
	MQL	Seco	MQL	Seco	MQL	Seco	MQL	Seco
Qtd. de Perfurações	924	1352	134	148	462	462	462	616

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

As perfurações realizadas em furação por escoamento, mensurou-se com paquímetro digital uma média de 50 medições em cada corpo de prova e foram realizadas medições dos furos no diâmetro interno, diâmetro da bucha, espessura da parede, comprimento total, rebarba, foi realizada inspeção visual, verificando a qualidade e a repetibilidade gerada no intuito de obter-se um valor referência de avaliação da qualidade do furo em cada condição de manufatura.

Lopes (1994), afirma que furos manufaturados por brocas em processo de furação por escoamento se classificam em uma classe de tolerância entre IT 9 e IT 10. Para as perfurações da pesquisa utilizou-se o critério de fim da vida útil através do diâmetro e foi adotado o critério de tolerância do catálogo do fabricante de roscas internas Emuge Franken (2019), no mesmo é citado que o diâmetro para macho laminador (o mesmo é o utilizado para roscas em furação por escoamento), deve ser de no mínimo 11,16 mm e no máximo de 11,25 mm.

O dimensional das perfurações em cada condição para o processo de furação por escoamento apresenta-se no Quadro 11:

Quadro 11 - Dimensional das Perfurações em cada condição Processo furação escoamento.

ITEM	RPM2000 F250 ASTMA-36		RPM1500 F300 ASTMA-36		RPM1500 F300 STRENX 700		RPM2000 F250 STRENX 700		Média por critério
	MQL	Seco	MQL	Seco	MQL	Seco	MQL	Seco	
	Φ furo (Φf)	11,215	11,2375	11,054	11,0812	11,06625	11,25125	11,48	
Esp.anel Bucha (Eb)	3,0775	3,71375	2,2292	1,8452	4,6575	4,56125	4,76125	4,78125	3,70
Esp. Parede (Ep)	1,34875	1,46875	1,4404	1,2472	1,47	1,6075	1,295	1,42	1,41
Comprimento (L)	9,95875	10,825	9,6936	9,9196	11,0725	10,9	11,305	11,515	10,65
Comprimento útil	7,2012	7,3432	7,4644	8,0744	6,845	6,68	6,4225	6,26	7,04
Rebarba (Rb)	2,76	3,48	2,23	1,85	4,23	4,22	4,88	5,26	3,61
Coef. δ (Menor 30%)	28%	32%	23%	19%	38%	39%	43%	46%	34%
Qualidade	BOA	RUIM	BOA	BOA	RUIM	RUIM	RUIM	RUIM	

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Observando-se os resultados do quadro 11, tem-se que a pior condição é a salientada em (vermelho) e foi RPM2000 F250 STRENX 700 MQL e à Seco. As avaliações negativas referente a esta condição porque esta apresenta maior variação dimensional no diâmetro do furo e o percentual do coeficiente δ foi superior a 30%.

A condição (verde), visualiza-se as medidas muito próximas da vermelha e aponta esta condição, também com problemas dimensionais.

Na condição RPM1500 F300 STRENX 700 MQL e à Seco, existe maior variação entre os dimensionais.

A condição (RPM1500 F300 ASTM A-36 MQL) e à Seco apresenta-se a melhor condição com relação a qualidade da bucha.

Conforme descreve Lopes (1994), na avaliação dimensional da pesquisa que velocidade de avanços menores aliados a altas rotações caracterizam mais calor gerado na região de trabalho, facilitando o escoamento do material, ocasionando maiores valores de comprimento da bucha. Em avanços maiores ocorre justamente o contrário. Identifica-se também que a rotação influencia no processo de furação por escoamento, devido ao aumento de temperatura gerada. Conforme Lopes (1994), o aumento do avanço piora a qualidade das rebarbas.

Visualizou-se esta situação na condição (RPM1500F300mm/min) material STRENX 700 MCD MQL e à Seco considerando o processo de furação por escoamento. Outra característica muito importante e identificada nas perfurações por escoamento na pesquisa é o percentual da relação do tamanho da rebarba gerada pelo comprimento total da bucha gerada que deve ser menor que 30% no intuito da geração da roscagem. Na pesquisa, obteve-se o menor valor 19% no material ASTM A-36 na condição (RPM1500 F300mm/min).

Conforme Lopes (1994), percentual do coeficiente δ acima de 30% desqualifica para a realização da operação de roscagem, cabe uma análise mais específica, simulações e comparações através de ensaio de tração comparando o processo atual do produto com as buchas manufaturadas por furação por escoamento.

4.2.5 FASE 2.3.2 Estruturação do Procedimento social

A) Pesquisa realizada com colaboradores do setor de fabricação aonde foram realizadas as manufaturas nos processos de furação convencional e no processo de furação escoamento dimensão social

A pesquisa realizada com os colaboradores segue o procedimento descrito na metodologia da pesquisa e abaixo apresentam-se os resultados.

1) Mensurar a Segurança no Processo de furação convencional e no Processo de furação por escoamento dimensão social

A segurança na realização das atividades de manufatura de furação convencional e furação por escoamento caracterizam-se por ser um processo extremo onde se trabalha com altas temperaturas em máquina rotativa onde se deve ter cuidado ao manusear os componentes fabricados porque a exposição aos riscos causa acidentes.

1.1) Análise de riscos centro V-400 Processo de furação convencional e Processo de furação por escoamento

Foi realizada a análise de risco do Centro de usinagem V-400. A análise de risco foi realizada conforme norma NBR 12100, sendo que a determinação dos limites da máquina foi realizada conforme o modelo da máquina.

Esse equipamento tem um curso de trabalho de X/Y/Z - 700 mm x 350 mm x 300 mm, cabeçote com capacidade de 6.000 rpm, cone da árvore padrão ISO 40, magazine para 20 ferramentas e motor principal de 15 CV.

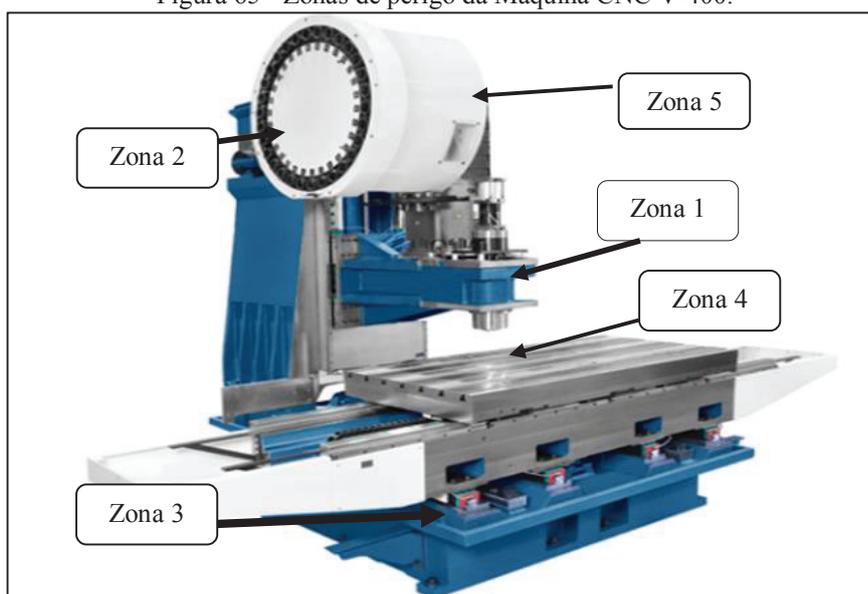
1.2) Determinação dos limites da máquina Processo de furação convencional e Processo de furação por escoamento

A máquina CNC V-400 deve ter sua utilização normal por apenas um operador. Este posiciona-se na parte frontal do equipamento onde estão todos os controles da máquina CNC. Na posição de operação da máquina o colaborador possui total controle e visibilidade de todos os movimentos que a máquina executa. A alimentação deste equipamento é realizada com o equipamento parado e com todos os movimentos cessados, diminuindo o grau de risco a que está submetido o operador da máquina.

1.3) Identificação dos Perigos Processo de furação convencional e Processo de furação por escoamento

Na Figura 65 ilustra-se a máquina CNC V-400 com a apresentação das zonas de perigo:

Figura 65 - Zonas de perigo da Máquina CNC V-400.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

No Quadro 12 são apresentadas as descrições dos riscos, fontes geradoras de perigo de acordo com cada tipo ou grupo, identificando estas zonas na máquina CNC V-400:

Quadro 12 - Descritivos dos riscos de acordo com as zonas de perigo da figura 63.

Tipo ou grupo	Fonte de Perigo	Risco	Zona
Mecânicos	Aproximação de um elemento móvel a uma parte fixa	Esmagamento, corte ou mutilação;	1;3
	Corte de peça	Corte ou mutilação	1
	Energia cinética	Enroscar, arremessos;	1
	Elementos móveis	Enroscar, arremessos;	3
	Elementos rotativos	Arremessos, corte ou mutilação, enroscar, queimaduras;	1, 2 e 4
	Arremesso de particulado	Queimadura, corte;	1
Elétricos	Falha no componente	Choque elétrico, queimaduras;	5
	Rede elétrica não aterrada		
Térmicos	Objetos com alta temperatura	Queimaduras	1, 3
Ruídos	Processo de produção; Peças rotativas; Superfícies em atrito	Desconforto, perda da audição;	Geral
Ergonômicos	Esforço	Desconforto, cansaço e estresse.	Geral
	Postura		
	Atividade repetitiva		

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A partir da identificação dos perigos no equipamento, foi realizada com os colaboradores do setor uma entrevista através do questionário elaborado no intuito de realizar um levantamento específico sobre a segurança nos Processos de furação convencional e na furação por escoamento.

Verificou-se que, 16,66% dos colaboradores entrevistados responderam que já sofreram algum tipo de acidente no trabalho (Segurança) e consideram que a furação convencional e por escoamento apresentam grande risco na região de corte (Zona 1 e Zona 3), 33,33% não responderam e 50,00% nunca ficaram afastados do trabalho por causa de acidentes no trabalho e concordam com os funcionários que já sofreram acidentes de trabalho.

Na Figura 66 se observa a resposta dos colaboradores aos questionários sobre segurança do trabalho no setor de manufatura,

Figura 66 - Respostas dos colaboradores aos questionários sobre segurança do trabalho no setor de manufatura.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Os acidentes causam grandes prejuízos, por causa das faltas e afastamentos dos colaboradores, além das perdas financeiras, acarretando em acúmulo de serviços, gerando a queda na produtividade. Foram determinados pesos para as zonas de perigo da máquina CNC conforme o Quadro 13:

Quadro 13 - Pesos das zonas de Perigo da máquina CNC.

ITENS	DESCRIÇÃO	PESO:
Zona 1	Elemento rotativo	5
Zona 2	Arremessos e corte ou mutilação, enroscar, queimadura.	3
Zona 3	Enroscar, arremessos;	4
Zona 4	Arremessos corte ou mutilação, enroscar, queimadura;	4
Zona 5	Choque elétrico, queimaduras;	3

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Os valores dos pesos definidos foram utilizados os mesmos para os dois processos de furação convencional e furação por escoamento. O resultado do somatório dos pesos obtidos a partir do Quadro 13 para furação convencional visualiza-se na Tabela 12:

Tabela 12 - Resultado do somatório dos pesos na furação convencional.

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Colaborador 1	5	4	2	4	3
Colaborador 2	4	3	2	4	5
Colaborador 3	4	3	4	3	4
Colaborador 4	4	4	4	2	3
Colaborador 5	4	4	3	4	4
Colaborador 6	4	5	2	5	3
Colaborador 7	4	3	5	3	4
Colaborador 8	0	0	0	0	0
Colaborador 9	0	0	0	0	0
Colaborador 10	0	0	0	0	0
TOTAL:	2,9	2,6	2,2	2,5	2,6

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Conforme a Tabela 12, todos colaboradores caracterizaram a zona 1 como sendo a mais crítica com pontuação média de (2,9) pontos por ter movimento rotativo.

Na furação por escoamento o somatório dos pesos obtidos a partir do Quadro 13 visualiza-se na Tabela 14:

Tabela 13 - Resultado do somatório dos pesos na furação escoamento.

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Colaborador 1	4	4	2	4	3
Colaborador 2	4	4	2	4	5
Colaborador 3	5	4	4	3	4
Colaborador 4	4	4	4	2	3
Colaborador 5	4	4	3	4	4
Colaborador 6	5	4	2	5	3
Colaborador 7	4	4	5	3	4
Colaborador 8	0	0	0	0	0
Colaborador 9	0	0	0	0	0
Colaborador 10	0	0	0	0	0
TOTAL:	3,0	2,8	2,2	2,5	2,6

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Na Tabela 13, todos colaboradores caracterizaram a zona 1 como sendo a mais crítica com pontuação média de (3,0) por ter movimento rotativo e a zonas 2 também considerada crítica por ser suscetível a queimaduras com pontuação média (2,8).

Conforme NR-12 (2016), que trata da proteção em equipamentos e máquinas rotativas é de suma importância garantir a segurança, medidas de proteção e segurança na execução de atividades de risco é muito importante que o colaborador sob o âmbito social identifique e tenha ciência da preocupação do seu empregador com relação a questões da segurança no trabalho e da responsabilidade na execução destas atividades. Na pesquisa desenvolvida foram tomadas todas as medidas e precauções durante as perfurações e cumprimento das legislações, garantindo e zelando pela vida e qualidade de vida dos colaboradores envolvidos nos processos. A análise na máquina CNC V-400, possibilitou conhecimento da gestão do laboratório para adequações em outros equipamentos que deverão ser realizados. Bem como a conscientização dos colaboradores com relação a trabalhos realizados em máquina rotativa que pode causar acidentes de trabalho e estes devem ser prevenidos no intuito de buscar a excelência e prevenir a indústria e os *stakeholders* com relação a este risco.

2) Mensurar o treinamento no processo de furação convencional e no processo de furação por escoamento dimensão social

O treinamento e experiência do operador é o diferencial na execução das atividades na máquina V-400. A falta de treinamento é um ponto a ser melhorada no intuito de realizar as atividades e obter do equipamento e do processo a máxima eficiência.

Quanto à realização de treinamentos as respostas dos questionários no setor de manufatura são as seguintes abaixo especificadas no gráfico da Figura 67:

Figura 67 - Questionário quanto a treinamentos no Processo de furação convencional e no Processo de furação por escoamento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Os colaboradores afirmaram que 41,67% recebem treinamentos anualmente e por outro lado, 25,00% informaram que não recebem treinamentos anualmente e 33,33% não responderam. No intuito de quantificação e qualidade dos treinamentos desenvolveu-se o Quadro 14 de ponderação de pesos aonde os colaboradores através de pesos determinam notas com relação aos treinamentos genéricos e treinamentos específicos recebidos para a execução das atividades no Processo de furação convencional e no Processo de furação por escoamento. Visualiza-se no Quadro 14:

Quadro 14 - Ponderação de Pesos dos treinamentos furação convencional e por escoamento

ITENS	DESCRIÇÃO	PESO:
Treinamento Genérico	EXCELENTE	5,0
	ÓTIMO	4,0
	BOM	3,0
	REGULAR	2,0
	PÉSSIMO	1,0
	INEXISTENTE	0,0
Treinamento Específico	EXCELENTE	5,0
	ÓTIMO	4,0
	BOM	3,0
	REGULAR	2,0
	PESSIMO	1,0
	INEXISTENTE	0,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O resultado obtido a partir da ponderação de pesos do Quadro 14 visualiza-se na Tabela 14 para o Processo de furação convencional:

Tabela 14 - Pesos treinamento genérico e treinamento específico Processo furação convencional.

	Treinamento Genérico	Treinamento Específico
Colaborador 1	4,0	3,0
Colaborador 2	4,0	1,0
Colaborador 3	4,0	1,0
Colaborador 4	4,0	1,0
Colaborador 5	4,0	1,0
Colaborador 6	4,0	0,0
Colaborador 7	4,0	1,0
Colaborador 8	0,0	0,0
Colaborador 9	0,0	0,0
Colaborador 10	0,0	0,0
TOTAL:	28/10 = 2,8	8/10 = 0,8

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Com relação aos treinamentos especificados na Tabela 14, os colaboradores avaliaram que os treinamentos genéricos obtiveram a nota média (2,8) pontos e considera-se um treinamento BOM conforme tabela de ponderação.

Estes treinamentos são bem planejados pelo setor de recursos humanos. Quanto aos treinamentos específicos obtiveram a nota média (0,8) pontos e considera-se um treinamento inexistente para o setor. O Processo de furação convencional está inserido como um treinamento específico e não existe treinamento para desenvolver esta atividade.

O resultado obtido a partir da ponderação de pesos do Quadro 14 visualiza-se na Tabela 15 para o processo de furação por escoamento:

Tabela 15 - Resultado do somatório dos pesos treinamento na furação escoamento.

	Treinamento Genérico	Treinamento Específico
Colaborador 1	4,0	2,0
Colaborador 2	4,0	2,0
Colaborador 3	4,0	1,0
Colaborador 4	4,0	1,0
Colaborador 5	4,0	1,0
Colaborador 6	4,0	1,0
Colaborador 7	4,0	1,0
Colaborador 8	0,0	0,0
Colaborador 9	0,0	0,0
Colaborador 10	0,0	0,0
TOTAL:	28/10 = 2,8	9/10 = 0,9

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Com relação aos treinamentos especificados na Tabela 15, os colaboradores avaliaram que os treinamentos genéricos obtiveram a nota média (2,8) pontos e considera-se um treinamento BOM conforme tabela de ponderação. Estes são bem planejados pelo setor de recursos humanos. Quanto aos treinamentos específicos obtiveram a nota média (0,9) pontos e considera-se um treinamento inexistente para o setor. O Processo de furação por escoamento

está inserido como um treinamento específico e não existe treinamento para desenvolver a atividade.

Para Marras (2012), atualmente os trabalhadores tem que correr atrás de cursos e treinamentos, pós-graduação, MBAs, especializações, por conta e risco próprios, se quiserem manter a empregabilidade. A empresa não mais se sente responsável pelo progresso profissional de cada um. Excessão feita àqueles que ela considera “talentos”. E, com isso, criou-se mais um motivo para desmotivar a maioria dos trabalhadores. Para tentar compensar o desastre, criou-se a idéia de que os trabalhadores de hoje representam o “capital intelectual” das organizações pois estamos num momento onde o conhecimento é muito importante. Observa-se que na Europa 80% dos investimentos em treinamento são de responsabilidade do estado (e também do empregado), enquanto os 20% restantes são assumidos pela empresa. Mas cabe ressaltar que o treinamento é um dos pilares para uma gestão e através do treinamento as empresas podem identificar lacunas de conhecimento e competências. É uma troca, a empresa incentiva o desenvolvimento e a qualificação do seu talento e o colaborador retribui com a aplicação da aprendizagem do seu dia a dia produzindo mais e melhor. Na pesquisa desenvolvida buscou-se levantar informações de como é desenvolvido os treinamentos no setor analisado e a partir destas informações se consegue mapear e melhorar estas ações. E cabe dizer, que é uma realidade no processo produtivo o cumprimento das metas de fabricação e muitas vezes, como é o caso analisado se prioriza em atender as demandas e não existe um plano de ação de treinamentos para os colaboradores já existentes no setor e nem a novos colaboradores que possam estar ingressando nos setores de manufatura.

3) Mensurar a Saúde no processo de furação convencional e no processo de furação por escoamento dimensão social

Na pesquisa aplicaram-se questionários quanto à realização de exames periódicos e se os colaboradores já tiveram ou têm alguma doença do trabalho. Para quantificar a saúde foi estimado pesos conforme o Quadro 15:

Quadro 15 - Pesos quanto à Saúde.

	Resposta:	Peso:
Faz exames periódicos	(SIM)	1,0
	(NÃO)	0,0
Teve doenças do trabalho	(SIM)	0,0
	(NÃO)	1,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A quantificação dos pesos no Quadro 15, possibilitou obter a opinião dos colaboradores que foi quantificada a partir da análise dos questionários e visualiza-se na Tabela 16:

Tabela 16 - Pesquisa com os colaboradores quanto à saúde.

	QT	Exames	Doenças
Pós-graduado	1	1,0	1,0
Superior Completo	1	1,0	1,0
Superior Incompleto	3	3,0	1,0
Nível médio completo	4	4,0	2,0
Nível médio incompleto	1	1,0	0,0
TOTAL:	10	1,0	0,50

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Na Tabela 16 o colaborador com maior nível de instrução pós-graduação e fazer exames pontuou a maior nota (1,0) e o colaborador com menor nível de instrução médio incompleto ponderou a menor nota (0,0) teve doenças do trabalho. Quanto à saúde no Processo de furação por escoamento, os colaboradores são os mesmos então se adotou as mesmas considerações e as mesmas notas quantificadas dos questionários da pesquisa.

Para Silvia e Mendes (2012), com relação a saúde das pessoas, deveria ter-se uma normatização que avalie-se as questões de saúde, poluição sonora (ruído) e poluição atmosférica em uma única norma e que estes aspectos fossem avaliados em um ambiente combinado para que seja possível programar ações para mitigar estes impactos e melhorar a sustentabilidade ambiental da dimensão social. Como esta normativa ainda não existe, na pesquisa, avaliou-se de forma separada, mas concordamos que o desenvolvimento de uma metodologia de unificação ou interação destes aspectos seria pertinente e facilitaria muito a análise dos resultados. Como mensurar a poluição atmosférica necessita de equipamento específico e este aspecto não foi evidenciado no procedimento estruturado desenvolvido, este aspecto não foi analisado. Mas é muito importante a sua avaliação, porque muitos setores de fabricação estão alocados em ambiente enclausurado e com grande volume de fumos metálicos dispersos. Esta análise auxiliará os *stakeholders* nas indústrias e melhorias nos setores produtivos. Na pesquisa, setor de manufatura apresenta ventilação e ambiência térmica e as demandas de trabalho não são maiores que 08 horas de trabalho contínuo e neste caso foi desconsiderada esta análise.

4) Mensurar as relações para o trabalho no processo de furação convencional e processo de furação por escoamento dimensão social

Na pesquisa realizada foram realizados questionamentos aos colaboradores:

- a) Com relação a problemas no espaço físico no seu ambiente de trabalho?;

- b) Quanto à acústica no seu ambiente de trabalho?;
- c) Sobre as horas de preparação de atividade se os colaboradores têm tempo disponível para realizá-las?;
- d) Existe integração entre os funcionários (professores e técnicos)?;
- e) Existe um bom relacionamento entre gestão e os técnicos?;
- f) Existe motivação para as atividades exercidas?;
- g) Se o colaborador está satisfeito com a remuneração que recebe por hora?

Para quantificar as relações para o trabalho foram definidos pesos para quantificar esta atividade conforme Quadro 16:

Quadro 16 - Pesos para quantificar as relações para o trabalho.

	Resposta:	Peso:
Espaço físico	(SIM)	1,0
	(NÃO)	0,0
Acústica no ambiente trabalho	(SIM)	1,0
	(NÃO)	0,0
Horas de Preparação	(SIM)	1,0
	(NÃO)	0,0
Integração Funcionários	(SIM)	1,0
	(NÃO)	0,0
Relacionamento Gestão x Técnicos	(SIM)	1,0
	(NÃO)	0,0
Motivação para atividades	(SIM)	1,0
	(NÃO)	0,0
Satisfação quanto à remuneração	(SIM)	1,0
	(NÃO)	0,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A partir da definição das respostas (SIM) ou (NÃO), quantifica-se os pesos com nota (1,0) pontos ou (0,0) pontos. O somatório das notas para os aspectos (espaço físico, acústica no ambiente trabalho, horas de preparação, integração funcionários, relacionamento gestão x técnicos, motivação para atividades, satisfação quanto à remuneração) divididos pelo número de colaboradores (dez) obtém-se o grau de qualidade para as relações para o trabalho no Processo de furação convencional e Processo de furação por escoamento e visualiza-se no Quadro 17:

Quadro 17 - Pesos quanto a relações para o trabalho.

Pesos:	Grau de Qualidade
0,5	Excelente
0,4	Ótimo
0,3	Bom
0,2	Regular
0,1	Péssimo
0,0	Inexistente

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A quantificação dos pesos para o Processo de furação convencional e Processo de furação por escoamento definidos no Quadro 17 visualiza-se na Tabela 17:

Tabela 17 -Pesos do questionário quanto a relações para o trabalho.

	QT	Espaço Físico	Acústica ambiente trabalho	Horas Prep.	Integ. Func.	Relacion. Gestão x Técnicos	Motivação atividades	Satisfação remuneração
Pós-graduado	1	E	E (0,5)	E	E	E	E (0,5)	E (0,5)
Superior Completo	1	E	E (0,5)	E	E	E	I	E (0,5)
Superior Incompleto	3	E	B(0,3)	E	E	E	B(0,3)	B(0,3)
Nível médio completo	4	E	B(0,3)	E	E	E	B(0,3)	B(0,3)
Nível médio incompleto	1	E	I	E	E	E	E (0,5)	E (0,5)
TOTAL:	10	0,50	0,31	0,5	0,5	0,50	0,31	0,36

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Na Tabela 17 todos os colaboradores ponderaram notas com relação ao espaço físico, acústica, horas de preparação das atividades, integração entre funcionários e relacionamento entre funcionários (Gestão x técnicos), motivação para realização das atividades e satisfação quanto à remuneração e se obteve a média das notas. Alcançou nota máxima de (0,50) pontos conforme o Quadro 15 (grau de qualidade) com nota EXCELENTE os aspectos de espaço físico, horas de preparação das atividades, integração entre os funcionários e relacionamento gestão x técnicos.

Fica evidente que os outros aspectos têm que haver melhorias, sendo que a nota de (0,31) pontos e conforme Quadro 17 classifica como BOM. Os aspectos como acústica dos ambientes de trabalho, motivação para a realização das atividades e satisfação com relação à remuneração a nota de (0,36) pontos se justifica quando foram coletados os dados da pesquisa e provavelmente esta resposta pode ser diferenciada nos dias atuais.

Quanto às relações para o trabalho no Processo de furação por escoamento, os colaboradores são os mesmos então se adotou as mesmas considerações e as mesmas notas quantificadas dos questionários.

Ferreira (2013), aonde passamos a maior parte do tempo de vida? Se pensarmos em um dia com 24 horas, considerando a hora do almoço e sem considerar o tempo de deslocamento casa-trabalho e trabalho-casa, cerca de 40% do dia são dedicados as atividades laborais de trabalho. Cabe ressaltar que é impossível dedicar 40% do seu tempo a uma atividade que você não se sinta realizado em executar. Neste sentido, na pesquisa desenvolvida, buscou-se obter informações sobre como os colaboradores se sentem em relação as relações para o trabalho e

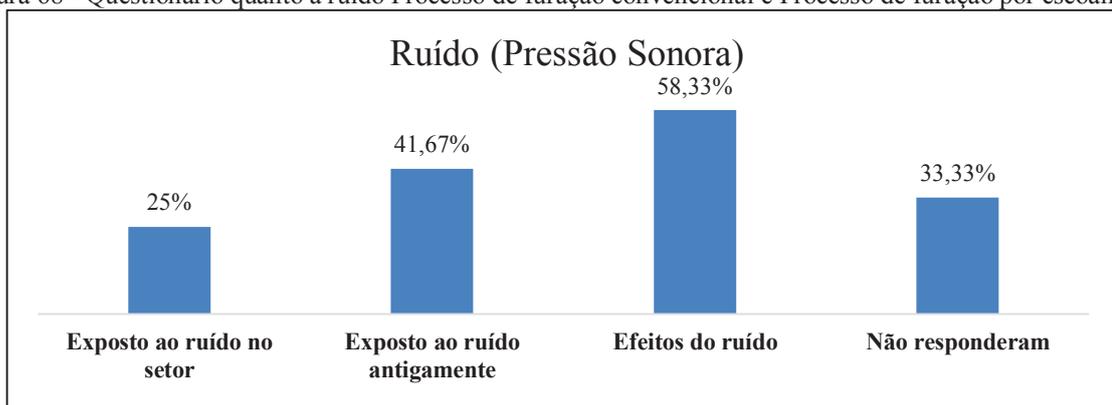
isso, salienta Ferreira que expressa a qualidade de vida no trabalho, que no seu estudo observou vários estudos de caso aonde obteve respostas positivas e negativas e julgando os questionamento se pode mensurar se o colaborador apresenta-se feliz com o seu trabalho atual e como está a sua produtividade comparada aos seus colegas. Na pesquisa, realizada os colaboradores estavam satisfeitos, mas esse tipo de iniciativa de avaliar como está as relações entre as pessoas no ambiente de trabalho deve ser realizada seguidamente. Atualmente em função da Pandemia do Covid-19, cortes de atividades, horas, salários e incertezas, provavelmente as respostas seriam diferentes das apresentadas quando foi aplicado o questionário. Para o *stakeholder* industrial, ouvir o colaborador e prover ações embasadas no sentimento destes geram melhorias significativas na dimensão social da sustentabilidade.

5) Mensurar o Ruído (Pressão sonora) nos Processos de furação convencional e por escoamento dimensão social

Na pesquisa realizada com os colaboradores foram pesquisados informações quanto ao ruído ocupacional, com as respostas obtidas 25,00% dos funcionários ficam expostos ao ruído no ambiente de trabalho atualmente, 58,33% dos funcionários sente algum efeito do ruído, 41,67% deles já trabalhou em algum ambiente em que ficasse exposto ao ruído e 33,33% não respondeu.

A Figura 68 apresenta estes resultados com relação ao ruído no Processo de furação convencional e furação por escoamento:

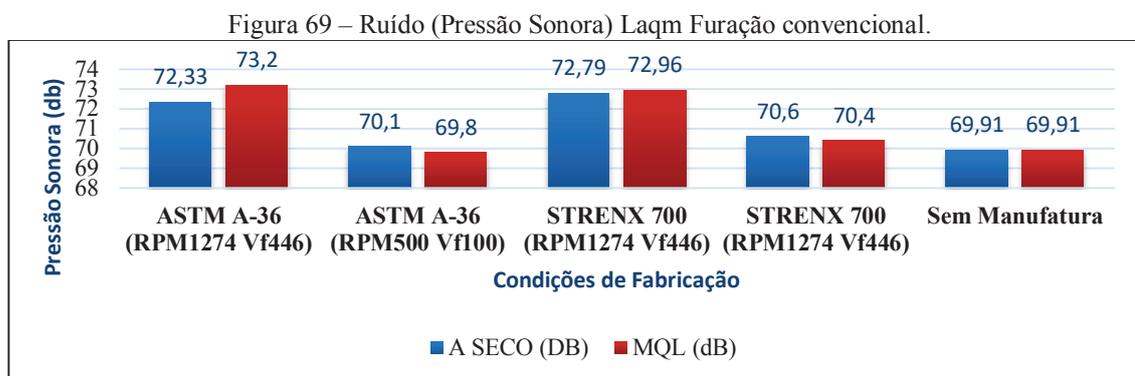
Figura 68 - Questionário quanto a ruído Processo de furação convencional e Processo de furação por escoamento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Com esses dados e com as idades dos funcionários é possível analisar que, alguns deles podem sentir os efeitos do ruído, pois já apresentam uma idade mais avançada, porém, trabalham sob a exposição do ruído ou já trabalharam.

Os resultados obtidos para furação convencional apresentam-se conforme se visualiza na Figura 69:

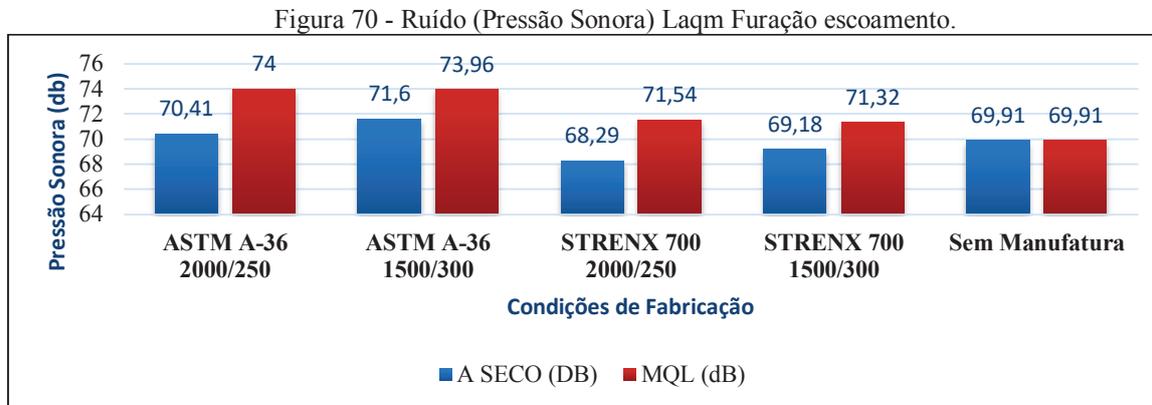


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A análise do gráfico da Figura 67 apresenta que os níveis de Pressão sonora comparando os dois materiais. A condição sem manufatura (69,91 Db ou NEN 40,37).

O material STRENX 700 MCD em furação convencional apresenta maior nível de ruído para MQL (72,96 dB ou NEN 43,42).

Para a furação por escoamento os resultados se visualizam conforme a Figura 70:



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A análise da Figura 68 apresenta que os níveis de Pressão sonora comparando os dois materiais para a condição sem manufatura os níveis de ruído são os mesmos (69,91 dB). Para a condição MQL o ASTM A-36 (2000/250) apresenta maior ruído (74,00 dB).

Spangenberg (2002), afirma que, a dimensão social da sustentabilidade deve avaliar critérios e questões específicas, integrar critérios de diferentes qualidades e é muito importante as avaliações dos usuários e dos *stakeholders*.

Na pesquisa, avaliou-se as questões sociais integrando dados qualitativos através das entrevistas aos colaboradores, com informações coletadas durante os processos de manufatura de furação convencional e por escoamento.

Estas informações qualitativas são relativas a questões de segurança, treinamento, Saúde, relações para o trabalho e os questionários desenvolvidos têm por finalidade obter informações sobre a ótica dos colaboradores, (atividades por eles desenvolvidas, percepções, melhorias, aflições). Para a análise dos questionários, utilizou-se da Escala de Likert adaptada para a pesquisa e composta por 5 níveis de intensidade, a saber: péssimo, ruim, regular, bom e ótimo.

O nível de pressão sonora ou NPS corresponde à variação do nível da pressão atmosférica, situada numa frequência entre 20 e 20.000 Hz, frequências captadas pelo ouvido humano. Para se medir esses níveis são utilizados instrumentos específicos, dentre os quais o decibelímetro. Como os níveis de ruído variam de maneira aleatória no tempo, mede-se o nível equivalente (LAeq), expresso em dB, que representa a média de energia sonora durante um intervalo de tempo, ABNT NBR 10151 (2000).

Os valores ficaram em uma faixa de 69 a 74 dB, ficando abaixo do limite mínimo de 85 dB que a NR 15, anexo 1, determina como atividades insalubres e considera estas atividades sem o uso de protetores auriculares. Portanto não precisa indicar o uso de protetores auriculares ou pagar insalubridade para funcionários. Os funcionários podem ficar exposto sem o uso de protetores auriculares 8 horas diárias.

A avaliação do ruído (pressão sonora) na pesquisa apresenta valores dentro do especificado nas normas. Mas avaliações negativas referente ao ruído foram evidenciadas e se justificam devido a utilização de salas administrativas no entorno do prédio prejudicando a concentração destes usuários durante as rotinas de trabalho. O nível de conforto percebido vai diminuindo na medida em que os equipamentos são utilizados por muitas horas em sequência até se atingir níveis de desconforto. Recomenda-se aos stakeholders das indústrias ações de mitigar este impacto através de projetos de acústica ou até mesmo transferência destes setores como é o caso identificado na pesquisa.

4.2.6 FASE 2.3.3 Estruturação da avaliação da dimensão econômica no processo de furação convencional e processo de furação por escoamento

Nesta fase foram levantados os dados necessários para que fosse possível desenvolver os aspectos identificados no procedimento estruturado e descrito no capítulo 3 considerando as

questões econômicas que estão envolvidas nos processos de manufatura de furação convencional e por escoamento.

1) Custo de mão de obra em furação convencional e furação por escoamento

O custo médio da mão de obra em furação convencional e em furação por escoamento foram levantados os dados junto ao responsável técnico do setor e no setor de recursos humanos. Como o operador é o mesmo nos dois processos e as horas trabalhadas não se diferenciam na execução foi considerado o mesmo custo. A Tabela 18 ilustra o custo médio de mão de obra em furação convencional e em furação por escoamento:

Tabela 18 - Custo médio de mão de obra em furação convencional e em furação por escoamento.

Disponibilidade de horas	Horas - Laboratório
Semanais	40
Mensais	180
Descrição	Salário (R\$)
Funcionário 1	1.572,84

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Conforme Berliner (1992), os custos diretos devem ser considerados, normalmente os classificáveis como custos diretos, custos variáveis e despesas variáveis. Na pesquisa desenvolvida a avaliação média do salário do colaborador foi considerado o número de horas semanais disponíveis para a realização das atividades e não foram considerados os encargos sociais e este custo é considerado fixo e direto.

2) Custo do Equipamento CNC em furação convencional e em furação por escoamento

A estimativa de custo da máquina foi realizada através de consulta a fabricantes e fornecedores de equipamentos da indústria de base. Como a máquina CNC é capaz de executar os dois processos de furação convencional e de furação por escoamento o valor do equipamento é o mesmo nos dois processos conforme a Tabela 19:

Tabela 19 - Custo do equipamento CNC em furação convencional e em furação por escoamento

Descrição	Valor Máquina Nova (R\$)	Valor máquina depreciação 10 anos (R\$)	Valor Máquina Depreciação 5 anos (R\$)	Horas semanais úteis	Horas por mês(R\$)	Custo deprec. Horas mquina/mês(R\$)
V-400	350.000,00	100.000,00	1666,67	30,00	135,00	12,35

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para Viceconti (2013), um equipamento é considerado um investimento na empresa e deve ser realizada a depreciação do mesmo para que ao final da sua vida útil de utilização se obtenha valores para a compra, troca e substituição deste equipamento por um novo. Na pesquisa realizada, foi considerado, conforme a Tabela 19 o valor de depreciação de 10 anos,

conforme informações do setor contábil considerando que após este período a instituição teria recursos financeiros para substituir o atual equipamento agregando tecnologia ao setor de manufatura.

3) Custo das Ferramentas em furação convencional e furação por escoamento

O Custo das ferramentas foi realizado através do orçamento realizado e da compra das ferramentas com o fabricante DORMER para as brocas de furação convencional e com o fabricante FERTIG para as brocas de furação por escoamento. Os valores das ferramentas em furação convencional e furação por escoamento visualiza-se na Tabela 20:

Tabela 20 - Custo das Ferramentas em furação convencional e furação por escoamento

Ferramenta	Valor (R\$)	Utilização/hora(min)	Custo Unitário R\$/(min)
Broca Dormer A002	30,00	60	0,5
Broca Fertig escoamento	498,60	120	4,15

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Meglierini (2012), afirma que os insumos utilizados são diretos e variáveis porque a quantidade utilizada pode variar em função da condição de manufatura e da quantidade produzida. Na pesquisa desenvolvida a Tabela 20 caracteriza os valores unitários para uma estimativa de utilização por horas das ferramentas e conforme a variabilidade das condições e quantidade estes custos variáveis podem ser alterados.

4) Tempo de troca de componentes (*Set up*) em furação convencional e por escoamento

Mensuramos o tempo médio de troca de componentes dentro da área de trabalho da máquina CNC para a manufatura em furação convencional e furação por escoamento. Estas informações também devem ser avaliadas na definição dos custos mesmo sendo um tempo improdutivo porque não agrega valor ao produto. A Tabela 21 ilustra os tempos médios de troca (*set up*) durante as manufaturas em furação convencional e furação por escoamento:

Tabela 21 - Tempos médios Troca (*Set up*) furação convencional e furação por escoamento.

PROCESSO/ MATERIAL	FLUIDO	CONDIÇÃO	Tempo Troca (min)
Furação Conv. ASTM A-36	MQL	(RPM1274 e $V_c= 44$ mm/min)	01:35:29
	à Seco		01:29:36
	MQL	(RPM500 e $V_c= 17,3$ mm/min)	01:37:45
	à Seco		01:33:18
Furação Conv. STRENX 700	MQL	(RPM1274 e $V_c= 44$ mm/min)	01:36:04
	à Seco		01:30:46
	MQL	(RPM500 e $V_c= 17,3$ mm/min)	01:22:28
	à Seco		01:17:10
Furação Esc. ASTM A-36	MQL	(RPM2000 e $V_c = 250$ mm/min)	00:48:34
	à Seco		00:47:49
	MQL	(RPM1500 e $V_c = 300$ mm/min)	00:48:47
	à Seco		00:47:22
Furação Esc. STRENX 700	MQL	(RPM2000 e $V_c = 250$ mm/min)	00:48:29
	à Seco		00:47:59
	MQL	(RPM1500 e $V_c = 300$ mm/min)	00:48:30
	à Seco		00:47:27

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Bornia (2010), afirma que com o crescimento do consumo, aumenta a complexidade do sistema produtivo e para aumentar a produção deve-se eliminar o que não agrega valor, garantindo as exigências dos consumidores, reduzindo desperdícios e conhecer e mensurar os seus aspectos indica o quanto pode potencialmente reduzir e agir buscando melhorias ambientais, sociais e econômicas. O tempo de troca é considerado um tempo improdutivo, que não agrega valor ao processo produtivo e na pesquisa desenvolvida a Tabela 21 mensura os tempos de troca (*set up*) e estes não são os mesmos, devido a condições diferentes e as oscilações ocasionadas pela habilidade do colaborador em substituir o componente na máquina e devido a esta ação ser realizada de forma artesanal sem a utilização de sistemas automatizados.

5) Tempo de manufatura em furação convencional e furação por escoamento

Para a obtenção do tempo de manufatura nos processos de furação convencional e furação por escoamento realizou-se as fabricações. A Tabela 22 apresenta estes resultados dos tempos médios de manufatura em furação convencional e furação por escoamento:

Tabela 22 - Tempos médios de manufatura furação convencional e furação por escoamento.

PROCESSO/ MATERIAL	FLUÍDO	CONDIÇÃO	Tempo Manuf. (min)
Furação Convencional ASTM A-36	MQL	(RPM1274 e $V_c = 44$ mm/min)	00:30:10
	à Seco		00:29:49
	MQL	(RPM500 e $V_c = 17,3$ mm/min)	00:44:08
	à Seco		00:43:58
Furação Convencional STREX 700	MQL	(RPM1274 e $V_c = 44$ mm/min)	00:29:58
	à Seco		00:29:22
	MQL	(RPM500 e $V_c = 17,3$ mm/min)	00:44:48
	à Seco		00:43:23
Furação Escoamento ASTM A-36	MQL	(RPM2000 e $V_c = 250$ mm/min)	00:34:00
	à Seco		00:29:00
	MQL	(RPM1500 e $V_c = 300$ mm/min)	00:45:36
	à Seco		00:42:15
Furação Escoamento STREX 700	MQL	(RPM2000 e $V_c = 250$ mm/min)	00:34:36
	à Seco		00:31:56
	MQL	(RPM1500 e $V_c = 300$ mm/min)	00:35:16
	à Seco		00:33:15

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O tempo de manufatura, é mensurado considerando o tempo efetivo de execução da perfuração. Para Martins (2010), é essencial mensurar estes tempos para o levantamento do custo e desempenho das atividades de fabricação. Na pesquisa realizada foi mensurado com a utilização do cronômetro e observa-se que a utilização do fluido lubrificante MQL, agrega-se alguns segundos de tempo em função de ligar e desligar a bomba de vazão.

6) Tempo Total de manufatura em furação convencional e furação por escoamento

O tempo total de manufatura é o somatório dos tempos de troca (*set up*) mais o tempo de fabricação. A Tabela 23 ilustra estes resultados para os processos de furação convencional e furação por escoamento:

Tabela 23 - Tempos médios totais de manufatura furação convencional e furação por escoamento.

PROCESSO/ MATERIAL	FLUÍDO	CONDIÇÃO	T. Total Manuf. (min)
Furação Convencional ASTM A-36	MQL	(RPM1274 e $V_c = 44$ mm/min)	2:05:39
	à Seco		1:59:25
	MQL	(RPM500 e $V_c = 17,3$ mm/min)	2:21:53
	à Seco		2:17:16
Furação Convencional STREX 700	MQL	(RPM1274 e $V_c = 44$ mm/min)	2:06:02
	à Seco		2:00:08
	MQL	(RPM500 e $V_c = 17,3$ mm/min)	2:07:16
	à Seco		2:00:33
Furação Escoamento ASTM A-36	MQL	(RPM2000 e $V_c = 250$ mm/min)	1:22:34
	à Seco		1:16:49
	MQL	(RPM1500 e $V_c = 300$ mm/min)	1:34:23
	à Seco		1:29:37
Furação Escoamento STREX 700	MQL	(RPM2000 e $V_c = 250$ mm/min)	1:23:05
	à Seco		1:19:55
	MQL	(RPM1500 e $V_c = 300$ mm/min)	1:23:46
	à Seco		1:20:42
TOTAL:			1:45:34

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Martins (2010), afirma que esta avaliação é aplicável ao cotidiano dos Engenheiros de manufatura, gestores das indústrias que lidam com preços e custos. Na pesquisa uma média geral para os tempos médios de manufatura foi estimada em 1:45:34 segundos e corresponde a um tempo de 20 segundos por furo, totalizando 03 perfurações um tempo de 60 segundos e o restante dos tempos como (*set up*) na troca do corpo de prova e tempos ociosos (como deslocamento do eixo da máquina CNC) e cabe ressaltar aos *stakeholders* das indústrias, que estes tempos podem ser melhorados em processos produtivos com a fabricação de gabaritos para produção seriada.

7) Custos de manufatura em furação convencional e em furação por escoamento

Os custos das manufaturas nos Processos de furação convencional e de furação por escoamento abrangem os custos diretos, indiretos, os custos dos materiais, custo das ferramentas e os custos do fluido lubrificante, o custo de energia foi considerado a potência da máquina e o valor médio do Kw/h pago no último ano. A Tabela 24 descreve estes custos envolvidos no processo de manufatura:

Tabela 24 - Custos de Manufatura Processo de furação convencional e furação por escoamento.

Custo Direto	Custo por / hora (R\$)
Mão de obra	8,74
Depreciação da máquina	12,35
Depreciação espaço físico	0,13
Energia	15,76
Manutenção	4,86
Total Parcial:	41,84
Custo Indireto	
Custo por / hora (R\$)	
Mão de Obra gestão	6,04
Espaço físico	0,04
Total Parcial:	6,08
Custo de Materiais (Corpo de Prova)	
Custo por Peça (R\$)	
Corpo de prova 150x50x3mm (STrenx700)	4,00
Corpo de prova 150x50x3mm (ASTM A36)	3,74
Custo da ferramenta	
Custo por ferramenta (R\$)	
Broca DORMER A002	30,00
Broca escoamento FERTIG	498,60
Custo Fluido Lubrificante	
Custo litros (R\$)	
BD Fluid B-90	15,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Azevedo (2007), afirma que as empresas devem definir o que estas entendem por custos, conforme seus meios de custeio e devem fazer uso de atividades que agregam valor. Na pesquisa desenvolvida, avaliou-se os custos básicos que possam delimitar em uma análise mais

detalhada o ponto de equilíbrio que define para a empresa uma valoração básica e que seja suficiente para ela cobrir os seus custos e despesas fixas e variáveis sem gerar qualquer resultado positivo (lucro) e a partir desta análise ponderar lucros futuros.

8) Custo Total Manufaturas em furação convencional e furação por escoamento

O Custo Total das manufaturas para os corpos de prova, considera-se os custos de manufatura para os processos de furação convencional e por escoamento e se visualiza na Tabela 25:

Tabela 25 - Custos Totais manufatura dos corpos de prova furação convencional e furação por escoamento.

PROCESSO/ MATERIAL	FLUÍDO	CONDIÇÃO	Custo Total (R\$) Manuf. (Por hora)
Furação Convencional ASTM A-36	MQL	(RPM1274 e $V_c = 44$ mm/min)	96,66
	à Seco		
	MQL	(RPM500 e $V_c = 17,3$ mm/min)	96,66
	à Seco		
Furação Convencional STREX 700	MQL	(RPM1274 e $V_c = 44$ mm/min)	96,92
	à Seco		
	MQL	(RPM500 e $V_c = 17,3$ mm/min)	96,92
	à Seco		
Furação Escoamento ASTM A-36	MQL	(RPM2000 e $V_c = 250$ mm/min)	315,66
	à Seco		
	MQL	(RPM1500 e $V_c = 300$ mm/min)	315,66
	à Seco		
Furação Escoamento STREX 700	MQL	(RPM2000 e $V_c = 250$ mm/min)	315,92
	à Seco		
	MQL	(RPM1500 e $V_c = 300$ mm/min)	315,92
	à Seco		

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Azevedo (2007), afirma que é questão fundamental para a sobrevivência e crescimento das empresas, independente do porte ou área de atuação ter uma apuração, noção da rentabilidade proporcionada por seus produtos e serviço e isso somente é possível com a valoração dos custos totais. Na pesquisa desenvolvida, descreve-se na Tabela 25, o custo total (R\$) das manufaturas nos processos de furação convencional e furação por escoamento valores por hora são: R\$ 96,66 para furação convencional e R\$ 315,92 para furação por escoamento. Considerando que o percentual do fluido lubrificante aplicado no MQL de (0,0189 ml para 3,41 minutos) e considerando uma média de (1,45 minutos e percentual de 0,0102 ml), o incremento de diferença de valor é desprezível na valoração do custo para os processos.

9) Custos por furo furação convencional e furação por escoamento para os materiais ASTM A-36 e STREX 700 MCD (MQL e à Seco)

Os custos por furo para os processos de furação convencional e por escoamento para as condições de contorno definidas na metodologia podem ser visualizados conforme descreve a Tabela 26:

Tabela 26 - Custo por furo furação convencional e escoamento ASTM A36 e STREX 700 (MQL e à Seco).

PROCESSO/ MATERIAL	FLUÍDO	CONDIÇÃO	Custo por furo (R\$)
Furação Convencional ASTM A-36	MQL	(RPM1274 e Vc = 44 mm/min)	0,287
	à Seco		
	MQL	(RPM500 e Vc = 17,3 mm/min)	0,287
	à Seco		
Furação Convencional STREX 700	MQL	(RPM1274 e Vc = 44 mm/min)	0,288
	à Seco		
	MQL	(RPM500 e Vc = 17,3 mm/min)	0,288
	à Seco		
Furação Escoamento ASTM A-36	MQL	(RPM2000 e Vc = 250 mm/min)	2,04
	à Seco		
	MQL	(RPM1500 e Vc = 300 mm/min)	2,04
	à Seco		
Furação Escoamento STREX 700	MQL	(RPM2000 e Vc = 250 mm/min)	2,05
	à Seco		
	MQL	(RPM1500 e Vc = 300 mm/min)	2,05
	à Seco		

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

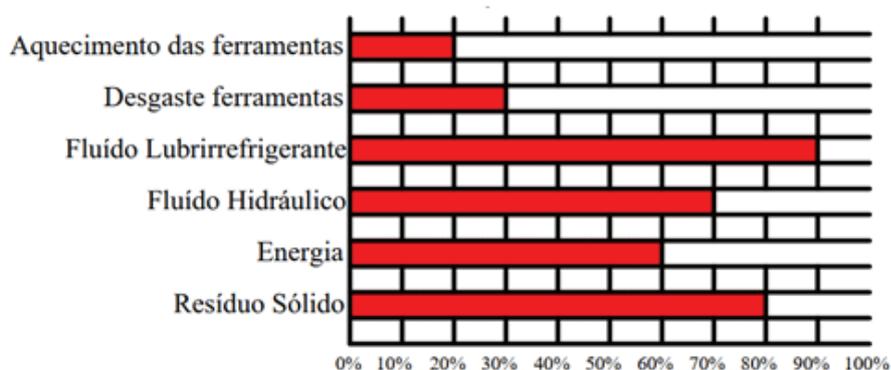
Para Viceconti (2013), identificar a rentabilidade obtida com os preços de venda constantes, em geral aceitos pelo mercado consumidor, é muito importante obter o preço por produto para decidir se estes continuarão a serem praticados ou sofrerão alterações (majoração ou descontos), isso é muito importante porque cada vez mais a determinação do preço de venda está influenciado por fatores de mercado. Na pesquisa desenvolvida, observa-se a variação do custo por furo em furação convencional de R\$ 0,288 por perfuração e em furação por escoamento R\$ 2,05 por perfuração. Na indústria os *stakeholders* avaliam os custos e os seus benefícios e na avaliação da dimensão econômica da sustentabilidade apresenta-se mais viável o processo de furação convencional, considerando o custo por furo. Em uma análise mais ampla a correlação com as outras dimensões da sustentabilidade deve ser considerada e se apresenta na sequência da pesquisa na Etapa 3.

4.3 ETAPA 3 DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE NAS DIMENSÕES AMBIENTAL, SOCIAL E ECONÔMICO

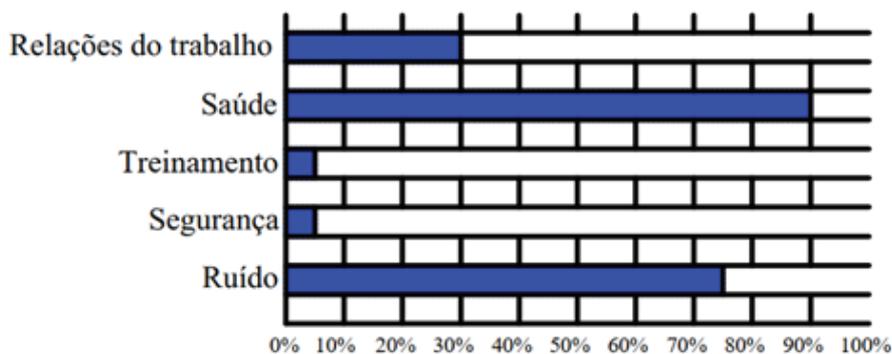
4.3.1 Índices coletados durante as manufaturas Furação Convencional

Os dados coletados para os processos de manufatura de furação convencional, foram definidos conforme o procedimento estruturado definido na metodologia da pesquisa. Estas informações são a base para as análises desenvolvidas nas *planilhas do software Excel do Windows* aonde foi desenvolvido o método AHP. A Figura 71 (A), (B) e (C) apresenta os resultados dos índices monitorados durante as manufaturas para o processo de furação Convencional:

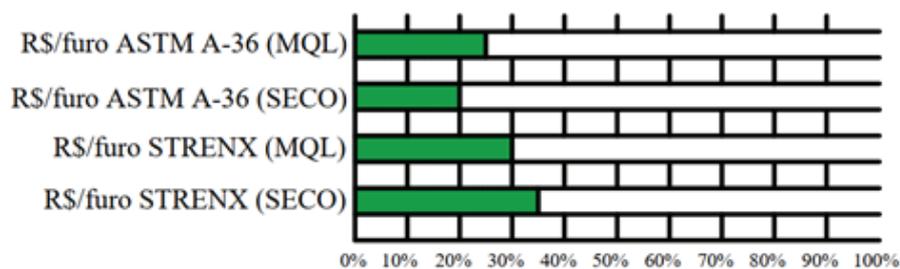
Figura 71 - Índices Monitorados durante as manufaturas Furação Convencional.
(A) Furação Convencional Ambiental



(B) Furação Convencional Social



(C) Furação Convencional Econômico



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Matos et al. (2018), considera importante avaliar todos os aspectos possíveis, desenvolver um modelo que permitisse considerar estes aspectos, tendo em consideração os diferentes fatores de avaliação (ambiente, saúde, questões industriais).

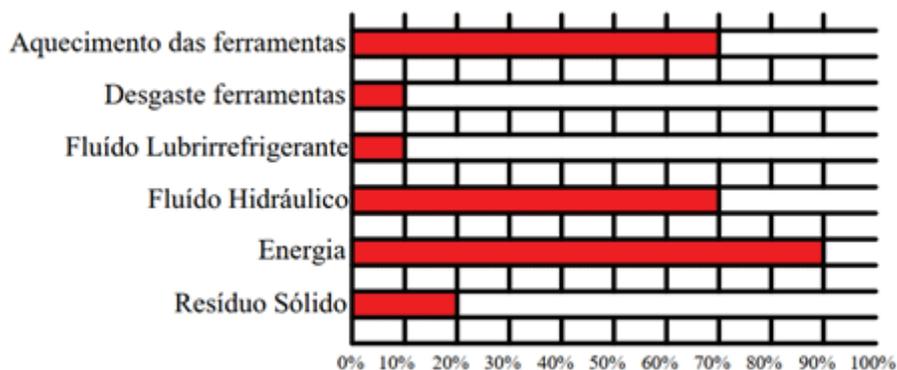
Os dados gerados das manufaturas dos estudos de caso foram definidos conforme a metodologia da Figura 38 e estas informações sobre o processo de manufatura de furação convencional ambiental e econômico foram monitorados durante as operações de fabricação. As informações sociais foram realizadas entrevistas com os colaboradores do processo de manufatura.

A partir destas informações foi realizada a análise multicritério utilizando o método AHP (*Analytical Hierarchy Process*) para o processo de furação convencional

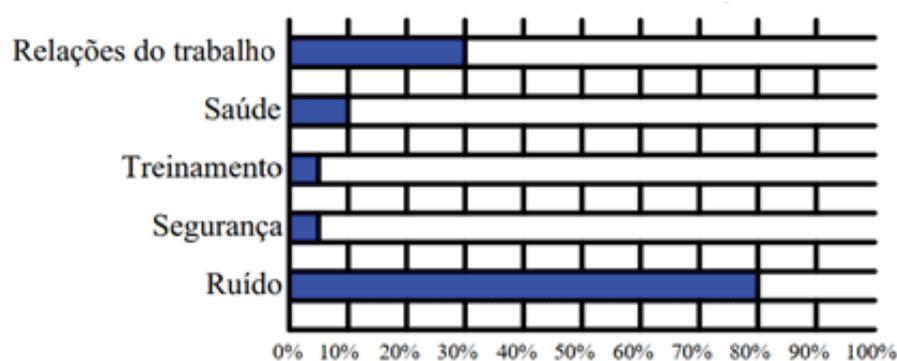
4.3.2 Índices coletados durante as manufaturas Furação Escoamento

Os dados coletados para o processo de manufatura de furação por escoamento, foram definidos conforme o procedimento estruturado definido na metodologia da pesquisa. Estas informações são a base para as análises desenvolvidas nas planilhas do *software Excel do Windows* aonde foi desenvolvido o método AHP. A Figura 72 (A), (B) e (C) apresenta os resultados dos índices monitorados durante as manufaturas para o processo de furação por escoamento:

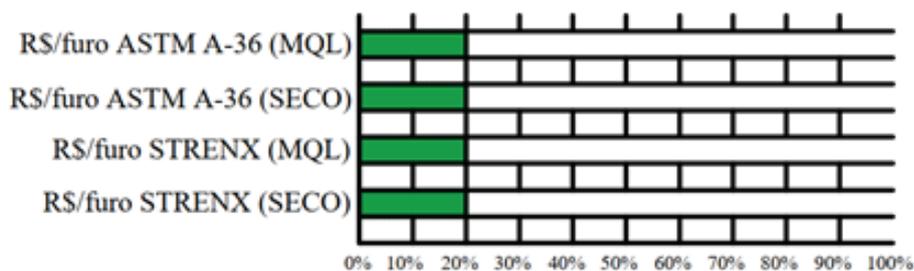
Figura 72 - Índices Coletados durante as manufaturas Furação Escoamento.
(A) Furação Escoamento Ambiental



(B) Furação Escoamento Social



(C) Furação Escoamento Econômico



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Matos et al. (2018), descreve que situações práticas do operacional, auxiliam no intuito de ter-se melhores resultados com relação aos aspectos e critérios definidos no modelo.

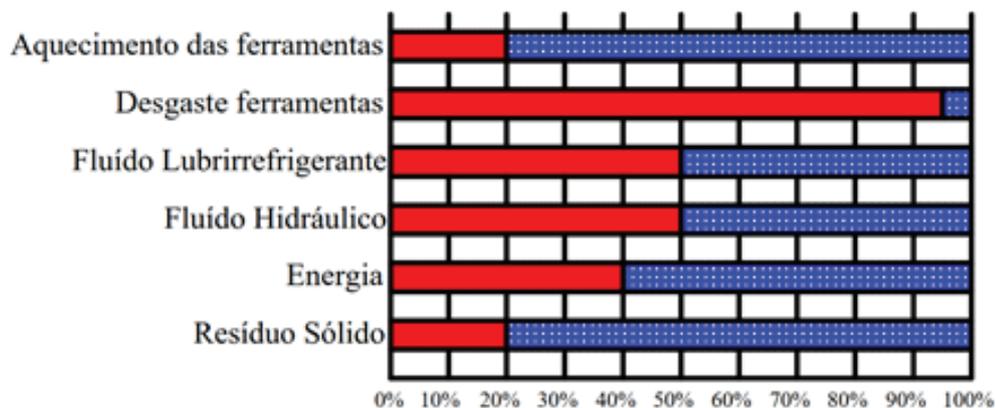
Os dados gerados das manufaturas dos estudos de caso foram definidos conforme a metodologia da Figura 40 e estas informações sobre o processo de manufatura de furação por escoamento Ambiental e econômico foram monitorados durante as operações de fabricação. As informações sociais foram realizadas entrevistas com os colaboradores no processo de manufatura.

A partir destas informações foi realizada a análise multicritério utilizando o método AHP (*Analytical Hierarchy Process*) para o processo de furação por escoamento.

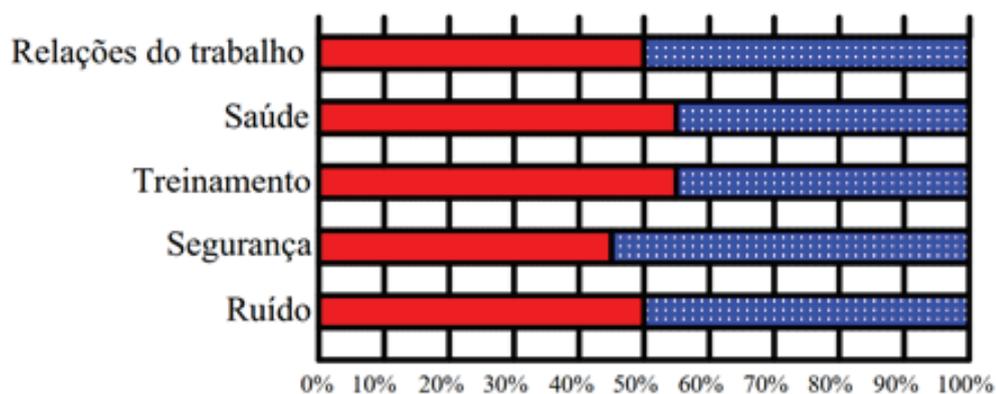
4.3.3 Método multicritério AHP - Cálculo do Vetor Médio

O cálculo o vetor médio, pelo método AHP, apresenta um resultado prévio sobre os aspectos ambientais, sociais e econômicos dos estudos de caso de manufatura estudados. Estes dados apresentam-se na Figura 73 (A), (B) e (C):

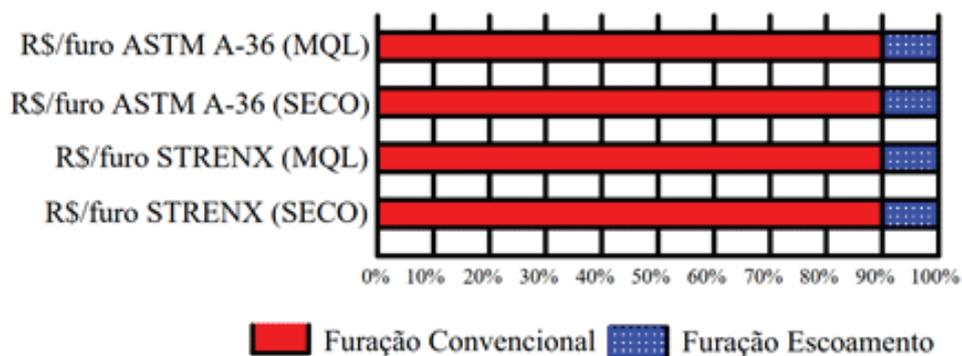
Figura 73 - Cálculo do Vetor Médio.
 (A) Furação Convencional x Furação Escoamento Ambiental



(B) Furação Convencional x Furação Escoamento Social



(C) Furação Convencional x Furação Escoamento Econômico



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Matos et al. (2018), utilizou a metodologia AHP proposta por Saaty (1980), na recuperação de minas abandonadas: estudo da intervenção em Portugal, montou a matriz de comparações e julgamentos e calculou o vetor coluna (vetor médio).

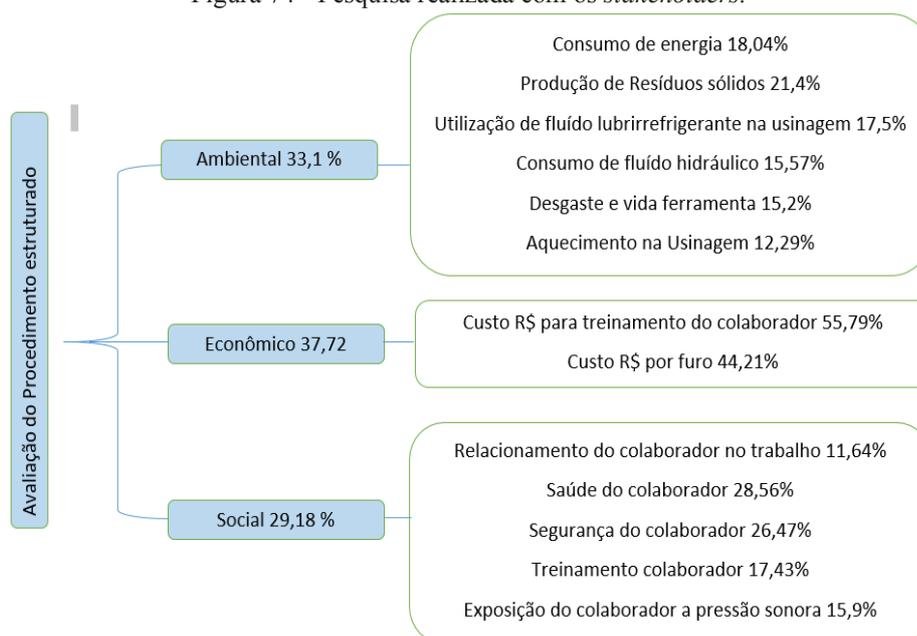
Na pesquisa, o cálculo dos vetores médios é realizado conforme a metodologia na Figura 40 na matriz de avaliação de aspectos e na Figura 41, que avaliou cada aspecto linha x coluna considerando qual é o melhor um com relação ao outro (análise par a par) e este resultado pode ser positivo ou negativo para aqueles aspectos.

Na metodologia do método AHP, esta análise pondera e avalia os aspectos e o resultado desta iteração são resultados prévios do método.

4.3.4 Método multicritério AHP – Pesquisa realizada considerando o Peso dos Stakeholders

Na primeira etapa, foram avaliados os principais modelos de sustentabilidade e foi definido pelo grupo de especialistas no *brainstorming* os aspectos de sustentabilidade ambiental, social e econômico em relação a sua importância e a partir desta análise desenvolveu-se o procedimento estruturado com os principais aspectos da sustentabilidade que poderiam ser incorporados nos processos de furação convencional e por escoamento.

Doran e Ryan (2012), Fujari et al. (2003) e Visseret et al. (2008), e observaram que o sucesso da pesquisa social e da pesquisa realizada com as partes interessadas depende da análise de comportamento aplicada a usuários e especialistas, que pode gerar maior ou menor satisfação. O software utilizado para ponderação dos critérios foi o “Decisões + Simples”. Criado por Salgado e colaboradores (UNIFAL, 2019). É sistema web para facilitar e melhorar a tomada de decisão utilizando o método AHP. O questionário foi enviado a 120 *stakeholders*, a taxa de retorno foi de 30%. Visualiza-se os resultados conforme a Figura 74:

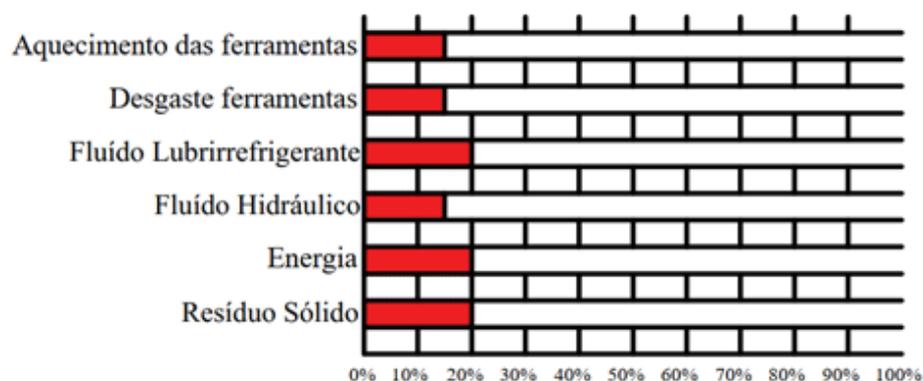
Figura 74 - Pesquisa realizada com os *stakeholders*.

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

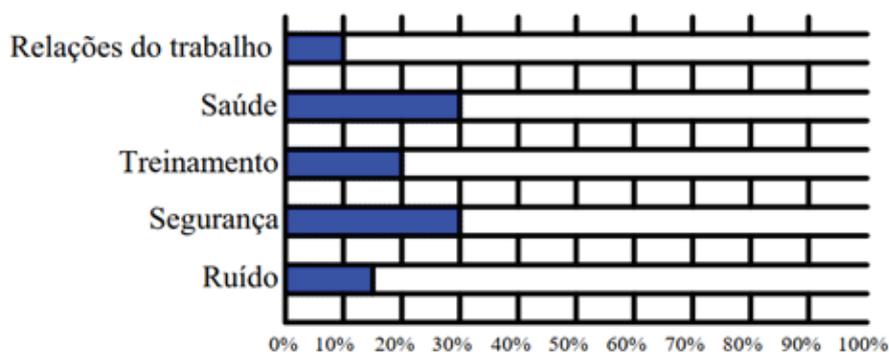
Entrevistas com *stakeholders* da área podem ser aplicadas em pesquisas baseadas no formato de estudo de caso, pois tem o potencial de relacionar benefícios, desafios, aspectos críticos e fatores de sucesso à realidade em um determinado cenário. Ajuda a identificar novos fatores que podem ser incluídos nas dimensões ambientais, sociais e econômicas da sustentabilidade relacionadas aos processos de manufatura. Além de destacar a evolução do estado da arte e sua contribuição para as referências bibliográficas, trazendo contribuições técnicas e mensuráveis às empresas, ao meio acadêmico, à pesquisa no campo ambiental e ao aprimoramento sustentável de processos, produtos e serviços.

Os resultados da pesquisa apresentados na Figura 74 dos resultados da pesquisa realizada com o Peso dos *stakeholders* são representados na Figura 75 (A), (B) e (C):

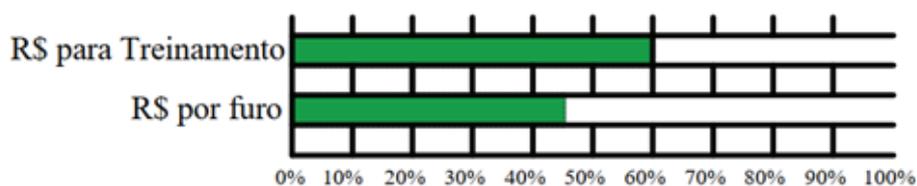
Figura 75 - Pesquisa realizada com *Stakeholders*.
 (A) Furação Convencional x Furação Escoamento Ambiental



(B) Furação Convencional x Furação Escoamento Social



(C) Furação Convencional x Furação Escoamento Econômico



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Matos et al. (2018), diz que: com base nas respostas dos especialistas que contribuíram de forma objetiva possibilitou desenvolver um banco de dados e definir uma matriz linha x coluna com um número de alternativas para a análise AHP.

A análise macro das respostas dos *stakeholders* de qual a dimensão mais importante sob o seu ponto de vista quantifica a dimensão econômica obteve na pesquisa o maior peso (37,72%), entre as três dimensões da sustentabilidade, seguida pela ambiental (33,1%) e sociais (29,18%). Isso caracteriza que a curto prazo o empresário considera muito importante o retorno das ações de manufatura (37, 72%), visando um lucro de maneira imediata.

A escolha deste cenário, está interligada a sobrevivência da empresa, que prioriza os itens mais relevantes a sua própria existência e deixa em segundo plano aspectos muito importantes que podem fazer a diferença e agregar valor, reduzir impactos e propiciar ganhos de sustentabilidade para a corporação.

No entanto, as ações ambientais aparecem em segundo lugar com (33,1%), demonstrando que a médio prazo já se pensa em adequar processos e realizar ações sustentáveis com técnicas de produção mais limpa, como exemplo, o uso de energia renovável e limpa, utilizando tecnologias recentes como a solar e a vapor obtido a partir da energia solar, reduzindo significativamente os impactos ambientais (SADA; JAFFAL, 2017).

A mitigação dos resíduos e buscar a utilização destes adequando-os para uma aplicação em novos produtos, trabalhando com a manufatura verde e manufatura sustentável, na maneira de pensar e na forma de projetar os produtos e depois do ciclo de vida na forma de desconstruir para reutilizar.

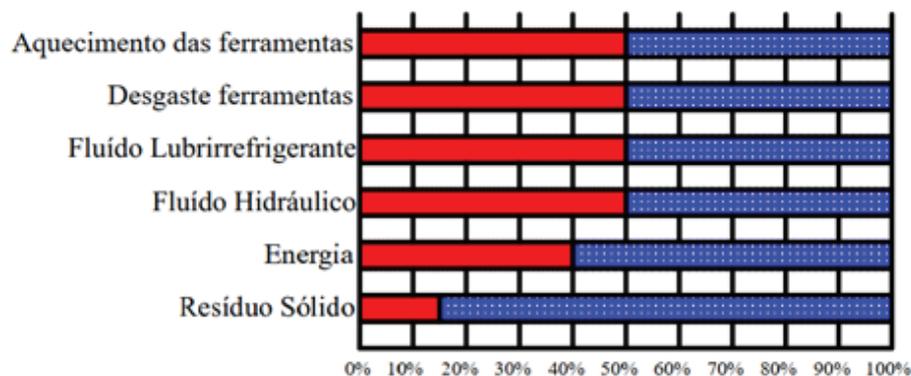
As ações sociais aparecem em terceiro lugar com (29, 18%), pensando no bem estar do colaborador que estão desenvolvendo as atividades nos processos de manufatura, solução possível a utilização de fluídos lubrificantes biodegradáveis, que não poluam o meio ambiente e que não venham a gerar doenças ocupacionais do trabalho, bem como no processo de fabricação com a utilização de condições de utilização como rotações e velocidades que gerem menor ruído (poluição Sonora), possibilitando ao colaborador maior bem estar durante a manufatura.

Estes resultados da pesquisa com os *Stakeholders* representam a opinião dos *stakeholders* com relação aos aspectos definidos na pesquisa conforme o procedimento estruturado definido na metodologia.

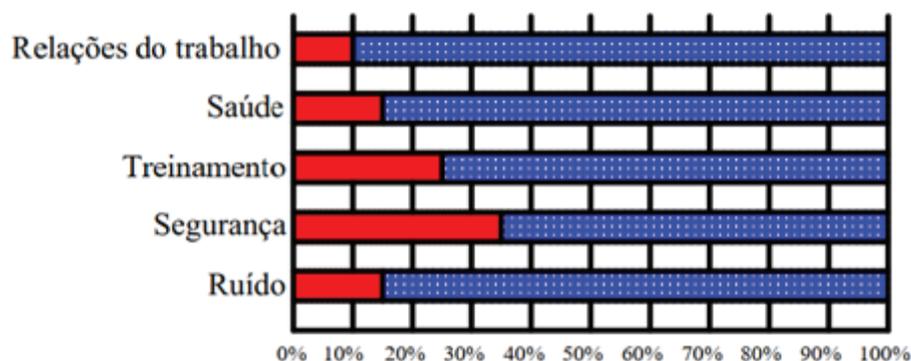
4.3.5 Método multicritério AHP - cálculo da matriz normalizada

O cálculo da matriz normalizada, pelo método AHP, apresenta um resultado prévio sobre os aspectos ambientais, sociais e econômicos dos estudos de caso de manufatura de furação convencional e furação por escoamento. Estes dados apresentam-se na Figura 76 (A), (B) e (C):

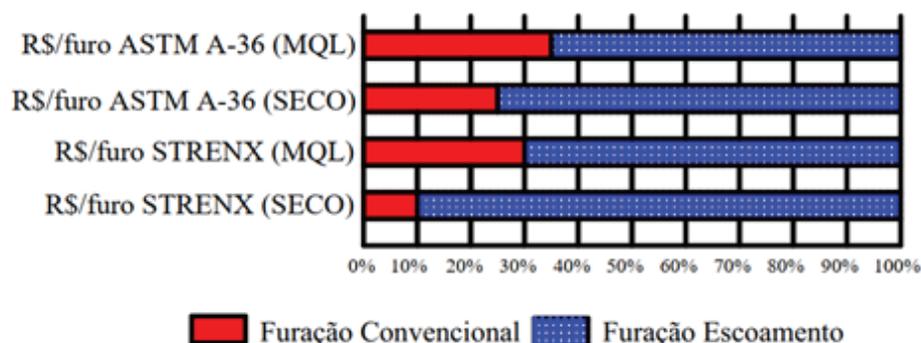
Figura 76 - Cálculo da Matriz Normalizada.
(A) Furação Convencional e Furação Escoamento Ambiental



(B) Furação Convencional e Furação Escoamento Social



(C) Furação Convencional e Furação Escoamento Ambiental



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

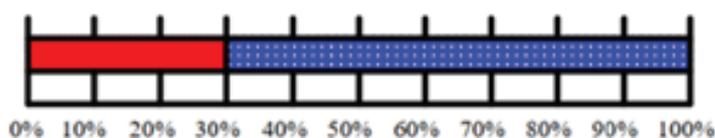
Muñoz, Romana, Ordóñez (2016), afirma que os métodos multicritérios para a tomada de decisão são ferramentas que reduzem a subjetividade na decisão e criam uma série de filtros e auxiliam na decisão de alternativas complexas. O cálculo da normalização é um destes filtros e deve ser avaliado, porque considera que todos os aspectos tem a mesma importância.

O cálculo da matriz normalizada realizado na pesquisa avaliou o peso ponderado em cada aspecto dividido pelo peso da respectiva coluna conforme o método AHP desenvolvido no *software excel do windows*.

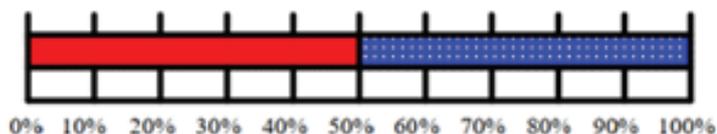
4.3.6 Método multicritério AHP - Cálculo do índice de sustentabilidade considerando Vetor médio x Matriz normalizada;

O cálculo do índice de sustentabilidade considerando os dados do Vetor médio e da matriz normalizada foram valorados no *software Excel do Windows* conforme o modelo definido na metodologia na Figura 42 e calculado pelas equações 9 e 10 e visualiza-se estes resultados na Figura 77 (A), (B) e (C) para o Processo de furação convencional e furação por escoamento:

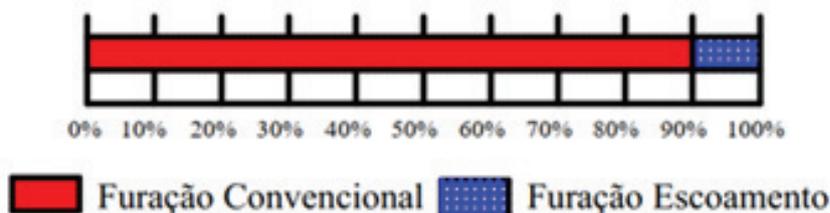
Figura 77 - Cálculo do Índice de sustentabilidade (Vetor médio x Matriz normalizada).
(A) Furação Convencional e Furação Escoamento Ambiental



(B) Furação Convencional e Furação Escoamento Social



(C) Furação Convencional e Furação Escoamento Econômico



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Escobar (2015), calcula os índices de sustentabilidade ambiental, social e econômico calculando o índice de sustentabilidade com a multiplicação do vetor de cada alternativa (aspecto) com o vetor preferencial de cada critério de valoração (normalização).

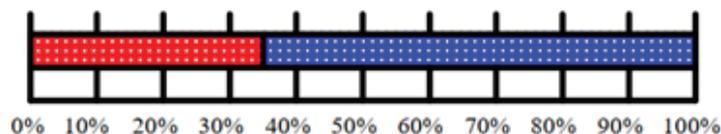
Os valores dos índices de sustentabilidade, multiplicados pelos valores normalizados resolvem o vetor sustentabilidade ambiental, social e econômica para os estudos de caso de manufatura de furação convencional e de furação por escoamento.

Os índices de sustentabilidade ambiental, social e econômico calculados na pesquisa apresentam informações que ambientalmente o processo de furação por escoamento é (70%) melhor que o processo de furação convencional que apresenta (30%). Na dimensão Social a valoração apresenta mesma magnitude (50%) para ambos os processos e na dimensão econômica o processo de furação convencional apresenta (90%) enquanto o processo de furação por escoamento (10%). Esta valoração foi definida conforme resultado do método AHP desenvolvido no *software excel do windows*.

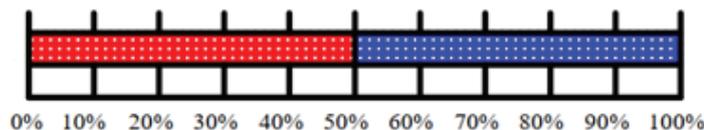
4.3.7 Método multicritério AHP – Cálculo do índice de sustentabilidade considerando Vetor médio x Pesquisa realizada com *Stakeholders*;

O cálculo do índice de sustentabilidade considerando os dados do Vetor médio e da Pesquisa realizada com *Stakeholders* foram valorados no *software Excel do Windows* conforme o modelo definido na metodologia na Figura 43 e calculado conforme demonstra as equações 11 e 12 e visualiza-se estes resultados na Figura 78 (A), (B) e (C) para o processo de furação convencional e furação por escoamento:

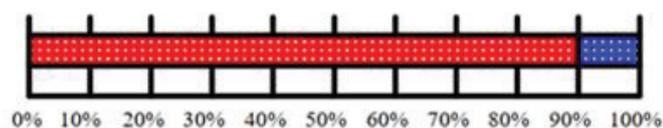
Figura 78 - Cálculo do Índice de sustentabilidade (Vetor médio x Pesquisa realizada com Stakeholders).
(A) Furação Convencional e Furação Escoamento Ambiental



(B) Furação Convencional e Furação Escoamento Social



(C) Furação Convencional e Furação Escoamento Econômico



Furação Convencional **Furação Escoamento**

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para Jannuzzi, Miranda, Silva (2009), o método AHP apresenta a aplicação de técnicas multicritérios para tratamento, análise e uso no processo decisório em empresas públicas, concessionárias de serviços e em políticas públicas aonde descreve na 1º etapa a definição, 2º etapa explicitação de aspectos, 3º etapa definição de parâmetros de comparação, 4º etapa solução multicritério, 5º etapa análise sensibilidade e 6º etapa geração de agrupamento de soluções.

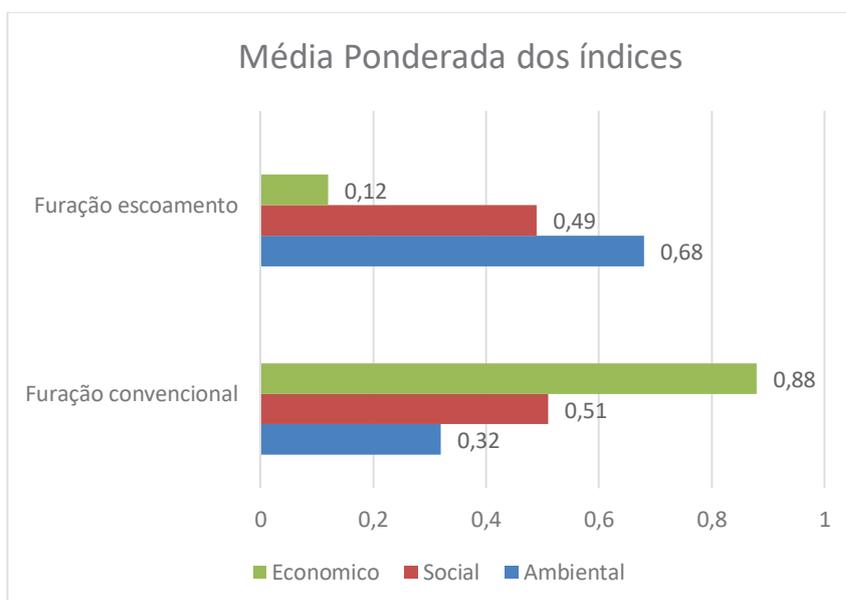
Na pesquisa realizou-se esta análise no intuito de apresentar ao estado da arte esta evolução do método AHP. No método tradicional não é realizada esta análise e o objetivo deste cálculo é avaliar e comparar as possíveis variações que possam representar uma valoração diferenciada ou muito próximas uma da outra.

O principal objetivo destas análises é a obtenção de resultados que possam representar para a indústria realmente qual é o melhor processo sob a ótica da sustentabilidade ambiental, social e econômica.

4.3.8 Método multicritério AHP – Média ponderada dos índices de Sustentabilidade

Foi realizada a média ponderada do (vetor médio x matriz normalizada) e (vetor médio x peso dos *stakeholders*) e os resultados obtidos da média ponderada destes índices representam valores confiáveis porque correlacionam um escopo mais abrangente de dados e visualiza-se na Figura 79:

Figura 79 - Média Ponderada dos Índice de sustentabilidade.
(Vetor médio x Matriz normalizada) e (Vetor médio x Peso *Stakeholders*)



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para Clímaco, Dias, Almeida (2015), salienta que existe uma preocupação comum em metodologias multicritérios que é de apoiar as dúvidas que o gestor possa ter acerca do seu modelo preferencialmente.

Com base na Figura 79, é possível visualizar características distintas entre os dois processos de manufatura:

- 1) Ambiental: O vetor médio obtido na furação por escoamento foi de (0,68), enquanto que a furação convencional apresenta um menor valor (0,32). Observa-se, portanto, que a furação por escoamento, por não gerar resíduo durante o processo, apresenta menor impacto ambiental;
- 2) Social: O vetor médio obtido na furação por escoamento foi de (0,49), enquanto que a furação convencional apresenta um maior valor (0,51). Observa-se, portanto, que a furação convencional retrata uma maior aplicabilidade na indústria e por ser mais difundido e conhecido o processo possibilita um maior vetor médio;

- 3) Econômico: O vetor médio obtido na furação por escoamento foi de (0,12), enquanto que a furação convencional apresenta um maior valor (0,88). Observa-se, portanto, que a furação convencional retrata uma maior aplicabilidade na indústria e por ser mais difundido e conhecido o processo possibilita um maior vetor médio.

Estas informações foram utilizadas na unificação do índice de sustentabilidade do método AHP no intuito de auxiliar os gestores empresariais nas indústria na obtenção da melhor solução na definição de estratégias de manufatura.

4.3.9 Método multicritério AHP – Validação do Modelo desenvolvido

A validação do modelo desenvolvido, foi realizada através de validação da implementação computacional, comparando os resultados entre o *software VIP analysis* e o modelo desenvolvido e, observou-se que, ambas tecnologias apresentam resultados similares quando avaliadas as dimensões da sustentabilidade tomando como estudo de caso os dados dos processos de manufatura de furação convencional e por escoamento.

No *software VIP analysis* se consegue gerar de forma automática gráficos, enquanto no modelo desenvolvido tem que utilizar os recursos do *software Excel do Windows* em virtude do modelo utilizar esta plataforma.

No modelo desenvolvido realizou-se a unificação do índice de sustentabilidade. Possibilitando a comprovação em números qual processo pode ser considerado mais sustentável e no *software VIP analysis* a unificação não é direta sendo necessário programação que deve ser realizada pelos proprietários do *software VIP analysis* para fazer esta unificação.

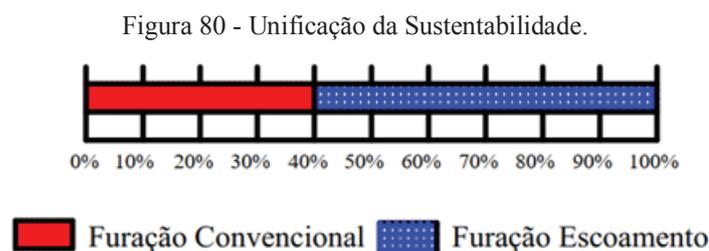
Para o entendimento do *VIP analysis* foi muito importante a experiência adquirida no desenvolvimento do modelo. Afirma-se que tanto o *VIP analysis* como o modelo desenvolvido apresentam metodologias de fácil utilização e entendimento.

4.3.10 Método multicritério AHP - Unificação do índice de sustentabilidade

Os resultados apresentados na Figura 79, demonstram as valorações das dimensões ambientais, sociais e econômicas da sustentabilidade para os dois processos de manufatura considerados estudos de casos para desenvolvimento da metodologia e os valores apresentados possibilitam ao gestor industrial analisar processos de manufatura utilizando uma ferramenta capaz de auxiliar na tomada de decisão.

As planilhas do método AHP desenvolvidas no *software Excel do windows* apresentam o resultado da avaliação da sustentabilidade e trazem a inovação como lacuna da pesquisa e contribuição para o estado da arte caracterizada no desenvolvimento da tecnologia que realize a iteração das dimensões em um único índice de sustentabilidade.

Esta unificação das dimensões da sustentabilidade apresenta a valoração em índices únicos para cada processo de manufatura e se visualiza na Figura 80:



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Clímaco, Dias, Almeida (2015), avalia 03 pacotes de softwares na sua pesquisa e constata que todas as metodologias analisadas desenvolvem métodos multicritérios, mas nenhum unifica e quantifica a valoração em um único índice.

Dias e Climaco (2000), desenvolve a metodologia multicritério com base no método AHP e o *software VIP analysis* suporta a tomada de decisão em problemas de escolha com um único decisor.

Mas nenhum destes pacotes de *software* unificam e possibilitam valorar o que está sendo analisado e ao final possibilitar afirmar em valores que tal índice é melhor ou pior que o outro avaliado, considerando os valores de todos os sub-aspectos.

Lucato (2018), mensurou a sustentabilidade nos processos de manufatura, desenvolvendo um modelo conceito que realiza a medição a partir de coordenadas cartesianas e medição da área no gráfico tridimensional.

A análise proposta como lacuna da pesquisa foi propor uma metodologia multicritério para avaliar a sustentabilidade de dois processos de manufatura de furação, considerando estes processos de furação como estudo de caso para validação do modelo.

Como resultado, ilustrado na Figura 80 a manufatura pelo processo de furação por escoamento apresenta índice de sustentabilidade de (60%), enquanto que o processo de furação convencional apresenta índice de sustentabilidade de (40%). Conclui-se que o processo de furação por escoamento é mais sustentável considerando as três dimensões da sustentabilidade

ambiental, social e econômico (Unificando os índices) e esta unificação do método AHP através das planilhas do software Excel do windows e apresentam uma grande contribuição para os gestores das indústrias nas definições dos processos de manufatura a curto, médio e longo prazo de implementação.

A curto prazo, o empresário opta por um processo que atenda as suas necessidades e que propicie uma maior lucratividade, neste sentido o processo de furação convencional é o que melhor representa esta condição.

A médio e longo prazo, com a escassez de recursos, possibilidades de fazer cada vez mais com menos e buscando reduções de consumo aliando uma produção mais limpa, faz com que este cenário se altere e a opção por um processo de manufatura capaz de reduzir impactos seja considerado o fator mais importante e surja como um fator facilitador da sua aplicabilidade que é o desenvolvimento das ferramentas em alta escala de produção, capaz de tornar o processo de furação por escoamento mais barato e tangível a aquisição destas ferramentas por parte das empresas de manufatura.

4.3.11 Calcular a relação de consistência

Na pesquisa com os *stakeholders* a metodologia implementada da UNIFAL, já calcula a relação de consistência em cada questionamento na análise par a par com relação ao peso dos *stakeholders*.

Ao definir a planilha no *software Excel do Windows* para o cálculo da matriz normalizada e interação, pode ocorrer erros, estimados pelo gestor, neste sentido torna-se necessário o cálculo da relação de consistência.

A relação de consistência deve ser calculada para todos os aspectos em análise com relação aos subcritérios definidos de forma par a par (SAATY, 1980).

Esta metodologia é importante que seja aplicada, porque sumariza os resultados e tem-se informações confiáveis.

Para a pesquisa desenvolvida obteve-se os resultados de IC (*Consistency Index* ou índice de consistência) e IR (*Consistency Ratio* ou Relação de consistência), conforme se apresenta na Tabela 27:

Tabela 27 - Relação de Consistência.

	Ambiental		Social	Econômico	
	Fur. Convencional	Fur. Escoamento	Fur. Conv.e scoam.	Fur. Convencional	Fur.Escoamento
IC	0.10	0.05	0.10	0.10	0.02
IR	0.10	0.04	0.08	0.09	0.02

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Muñoz, Romana, Ordóñez (2016), afirma que a análise da relação de consistência aplicada em metodologias multicritério como no método AHP considerando a metodologia desenvolvida em modelos é muito utilizada para estabilizar a sistemática da decisão da aplicação do método multicritério e reduzir o mínimo de subjetividade associada com a decisão do processo multicritério.

A Tabela 27, mostra o resultado da relação de consistência para os processos pesquisados, identificando que as análises realizadas ficaram dentro do especificado pela técnica 0,10 (10%) e o resultado desta análise auxilia o tomador de decisão a visualizar possíveis caminhos em eventuais situações não previstas e que podem ser adequadas novamente a partir destes resultados.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A sustentabilidade avaliada através dos estudos de caso dos processos de furação convencional e por escoamento para validar o modelo desenvolvido, permitiu a análise das três dimensões da sustentabilidade ambiental, social e econômica e de 15 sub-aspectos.

Necessitou de coletade dados “*in loco*” no laboratório de manufatura para a dimensão ambiental e os principais aspectos avaliados foram: resíduo sólido, energia, lubrificarrefrigerante, fluido hidráulico, desgaste ferramenta e aquecimento. As informações referentes a dimensão social foi realizada entrevistas a colaboradores do setor de manufatura e os principais aspectos avaliados foram: ruído, segurança, treinamento, saúde e relações no trabalho. Os aspectos econômicos foram: R\$ por furos para o material ASTM A-36 E PARA O MATERIAL STRENX 700 MCD nas condições de contorno definidas na pesquisa e nas técnicas MQL e à Seco.

A aplicação do método AHP, foi muito importante porque esta metodologia multiatributo possibilita a obtenção de dados quantitativos apartir de resultados qualitativos

obtidos da percepção dos especialistas, colaboradores e *stakeholders* que participaram na pesquisa.

Na análise par a par do método AHP, Os resultados obtidos, são individuais para cada aspecto e estes foram compilado e alocados em cada categoria de dimensão e, em cada etapa de cálculo obteve-se resultados parciais que foram refinados em cada etapa do método e no cálculo da média ponderada dos índices de sustentabilidade, observa-se que a furação por escoamento ambiental é (68%) melhor que a furação convencional ambiental pior (32%), furação escoamento social é pior (49%) que a furação convencional social melhor (51%) e que a furação escoamento econômico é pior (12%) que a furação convencional econômico melhor (88%).

A validação do método AHP foi realizada através de comparação de resultados com outro *software*, no intuito de obter resultados de mesma magnitude e significância. Estes resultados foram alcançados validando o modelo desenvolvido.

Quanto ao dimensional analisado nos processos de furação convencional e no processo de furação por escoamento, em furação convencional mensurou-se o diâmetro da perfuração e a rebarba gerada devido a perda de qualidade de afiação da ferramenta. Já no processo de furação por escoamento, o percentual de rebarba gerado pode desqualificar a perfuração quanto a operação posterior de rosqueamento. Na análise das dimensões das perfurações, observou-se que obteve-se condições foradas especificações idealizadas por Lopes (1994), mas casos específicos deve ser avaliados através de comparações de situação de fabricação e simulações e testes práticos com o ensaio de tração deve ser considerado antes de desqualificar a perfuração realizada.

Cabe ressaltar que num processo de manufatura, outros aspectos também devem ser considerados na definição e escolha do processo mais sustentável e descreve-se e traz ao estudo os exemplos: Aspectos metalúrgicos, Aspecto de desgaste das ferramentas. Na pesquisa analisou-se estes aspectos que encontram-se nos apêndices I, J e K e com relação as condições de contorno estabelecidas para as manufaturas e não seria possível incorporar no método AHP devido as limitações do método de 09 aspectos para cada dimensão da sustentabilidade.

Com relação a análise metalúrgica o processo de furação por escoamento apresenta as seguintes características para o material ASTM A-36 na condição (RPM2000 e 250 mm/min) MQL a menor dureza foi 170,30 HV, com menor (ZTMA de 0,7080 mm) Não há indicativos de grandes alterações microestruturais entre as condições de fabricação analisadas, exceto pela recristalização e refinamento dos grãos e modificações da ferrita equiaxial, mudança está, perceptível em todas as condições para este material.

A ferramenta apresentou desgaste, mas proporcionou uma maior vida útil quando comparada as outras condições e perfurou 924 furos e durabilidade de 307,9 minutos.

Para o processo de furação convencional, análises metalúrgicas não foram realizadas por ser o processo mais utilizados na indústria. Apenas foi avaliado o desgaste das ferramentas e para o material ASTM A-36 na condição (RPM500 x 100 mm/min) à Seco a ferramenta apresentou desgaste mas proporcionou a maior vida útil quando comparado com outras condições e perfurou 5040 furos e durabilidade de 1680 minutos.

Com relação ao maior tempo de utilização a furação convencional perfurando o aço ASTM A-36 apresentou uma melhoria de 73,17% e um investimento na ferramenta de 94% menor com a ferramenta de furação convencional do que a ferramenta de furação por escoamento.

No processo de furação por escoamento para o material STREX 700, na condição (RPM 2000 x 250 mm/min) MQL e (RPM1500 x 300 mm/min) à Seco, estas condições apresentam características similares de dureza, ZTMA, aquecimento durante as perfurações e qualidade dimensional, no entanto quando compara-se a ciclagem em fadiga da perfuração identifica-se que a condição (RPM 2000 x 250 mm/min) apresenta uma maior vida útil do furo 20.792 ciclos. Na análise da microestrutura não há indicativos de grandes alterações microestruturais entre as condições de fabricação analisadas, exceto pela recristalização e refinamento dos grãos e modificações da ferrita equiaxial, mudança está, perceptível em todas as condições para este material.

A ferramenta apresentou desgaste mas proporcionou a maior vida útil quando comparado com outras condições e perfurou 462 furos e durabilidade de 153,9 minutos.

Para o processo de furação convencional, análises metalúrgicas não foram realizadas por ser o processo mais utilizados na indústria. Apenas foi avaliado o desgaste das ferramentas Para o material STREX 700 MCD na condição (RPM500 x 100 mm/min) MQL a ferramenta apresentou desgaste mas proporcionou a maior vida útil quando comparado com outras condições e perfurou 478 furos e durabilidade de 159,3 minutos.

Com relação ao maior tempo de utilização a furação por escoamento perfurando o aço STREX 700 MCD apresentou uma melhoria de 22,4% mas um incremento de investimento na ferramenta de furação por escoamento de 94% maior do que o custo com a ferramenta de furação convencional, sendo necessária uma maior aplicabilidade do processo no intuito desta ferramenta ser viabilizada para as indústrias.

Neste sentido, caracteriza-se a grande divergência encontrada na avaliação dos processos com relação a sustentabilidade, devido as condições de contorno, os materiais

envolvidos nos processos que podem trazer resultados diferenciados com relação aos valorados e foi identificado na pesquisa que em algumas condições como é o caso do aço STRENX 700 MCD processo de furação por escoamento o modelo de sustentabilidade apresentou como processo mais sustentável este processo caracterizando-se com uma vida útil da ferramenta e condições consideradas razoáveis de fabricação para este material.

Para o ASTM A-36 na furação por escoamento, identificou-se o contrário e por este material caracterizar-se por apresentar melhores condições de fabricação os resultados de sustentabilidade identificados nos ensaios são diferentes dos apresentados no modelo desenvolvido. Cabe ressaltar que os *stakeholders* que responderam aos questionários, demonstraram grande interesse pelas questões ambientais e isso pode ter influenciado no resultado devido a maior ponderação e estes dados serem relevantes na definição de qual processo é o mais sustentável.

A grande lacuna tecnologia resolvida na pesquisa está relacionada a unificação das três dimensões da sustentabilidade ambiental, social e econômica em um único índice de sustentabilidade, valorado de forma numérica e esta valoração pode ser utilizado em decisões gerenciais nas indústrias, pelos *stakeholders*, possibilitando a implementação de cenários e como implementar ações sustentáveis relativas aos processos de manufatura. Mas uma análise mais ampla deve sempre ser avaliada e considerada em função da aplicação do processo.

O estudo permitiu examinar os aspectos da sustentabilidade definidos no procedimento estruturado e apoiar a gestão nas tomadas de decisão. A unificação das dimensões da sustentabilidade, possibilita uma evolução no sentido de auxiliar na análise dos resultados e escolha da melhor alternativa de sustentabilidade, podendo ser aplicada para os processos de manufatura. Esta análise apresenta-se como parâmetro que pode ser utilizado para outras aplicações, além de representar a evolução perante o estado da arte.

6 CONCLUSÕES:

A sustentabilidade nos processos de manufatura está relacionada as estratégias da gestão empresarial em melhorar seus processos e produtos. Cabe aos *stakeholders* avaliarem os aspectos nos processos produtivos, substituir processos com impactos negativos e mitigar estes processos com ações sustentáveis. Descreve-se abaixo os objetivos da pesquisa e ações sustentáveis de como foram resolvidos estas questões respondendo aos objetivos específicos da pesquisa.

Com relação ao primeiro objetivo específico:

a) Identificar os modelos existentes sobre avaliação de desempenho da sustentabilidade para obter-se um conjunto amplo de aspectos relativos as dimensões ambientais, sociais e econômicas da sustentabilidade os quais serão utilizados na avaliação dos processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento;

Identificou-se na pesquisa através de pesquisa as bases de dados, consulta a repositórios de teses e dissertações de mestrado e doutorado os principais modelos existentes sobre avaliação de desempenho da sustentabilidade, estes modelos foram planilhados utilizando-se o *software Excel do Windows*, nesta identificação avaliou-se a aplicação do modelo ampla ou específica, ferramentas que os modelos utilizam para avaliar a sustentabilidade e quais as dimensões da sustentabilidade que o modelo avalia, podendo ser uma, duas ou as três dimensões da sustentabilidade. Esta identificação caracteriza a aplicabilidade dos modelos em virtude da aplicação destes em situações diferenciadas e em diversos estudos de caso. Este primeiro objetivo foi muito importante para obter-se um conjunto amplo de aspectos relativos as dimensões ambientais, sociais e econômicas da sustentabilidade e que a partir desta análise possibilitaram a avaliação da sustentabilidade na manufatura considerando os processos estudados como estudos de caso.

Com relação ao segundo objetivo específico:

b) Estruturar um procedimento visando quantificar os aspectos relativos as dimensões ambientais, sociais e econômicas da sustentabilidade para a avaliação dos processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento;

Buscou-se estruturar um procedimento visando quantificar estes aspectos e essa definição foi realizada através de um *brainstorming* com especialistas das áreas de engenharia, este *brainstorming* proporcionou conhecer a realidade no dia a dia das empresas aonde os gestores realizam tomadas de decisão rápidas, buscando ações sustentáveis e que gerem retorno ambiental, social e econômico para as indústrias. Através de entrevistas e aplicação de um questionário considerando os processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento obteve-se informações de como o *stakeholder* define e prioriza essas ações de qual processos é o mais indicado para uma determinada ação de fabricação. A maioria das ações são

intuitivas e o stakeholders utiliza da sua experiência profissional, focando em resultados econômicos. Os questionários respondidos pela equipe focada de *stakeholders*, possibilitou para estes profissionais além da troca de experiências empresariais, esclarecimento sobre processos de fabricação e da utilização de métodos que possam auxiliar a tomada de decisão pela gestão empresarial. Da resposta aos questionários extraiu-se os principais aspectos relativos as dimensões ambientais, sociais e econômicas da sustentabilidade e que caracterizaram o procedimento estruturado como base para a realização da pesquisa, monitoramento “*in loco*” e quantificação do banco de dados para a avaliação da sustentabilidade na manufatura nos processos de furação convencional e furação por escoamento como estudos de caso para a validação do modelo desenvolvido na tese.

Com relação ao terceiro objetivo específico:

c) Determinar os índices de sustentabilidade nas dimensões ambiental, social e econômico com relação aos processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento para verificar qual processo pode ser considerado mais sustentável.

Determinar estes índices de sustentabilidade nas dimensões ambiental, social e econômico com relação aos estudos de caso dos processos de manufatura de furação convencional e por escoamento no setor de manufatura teve como intenção a aplicação de técnicas de avaliação de sustentabilidade nos processos de manufatura para que sejam integrados ao processo de tomada de decisão e melhoria do processo num sentido mais amplo de substituição de processos posteriores como soldagem e rebiteagem que podem ser aplicados atualmente na indústria e sem uma análise mais específica podem ocasionar maiores impactos sociais, ambientais e econômicos para o meio ambiente e planeta.

A unificação do índice de sustentabilidade para verificar qual processo pode ser considerado mais sustentável foi realizado e a furação convencional apresenta como resultado índice de sustentabilidade de (40%) e a furação por escoamento apresenta índice de sustentabilidade de (60%). A unificação das três dimensões da sustentabilidade ambiental, social e econômica em um único índice de sustentabilidade valorado e apresentado na pesquisa representa a evolução ao estado da arte e um ganho científico, porque a maioria dos modelos apresentam informações ambientais, sociais e econômicas da manufatura de forma pontual e isolada. Mas a unificação destes índices em um único indicador valorado em percentual e

informando qual processo é o mais sustentável caracteriza-se como inovação e como uma grande ferramenta de apoio a tomada de decisões empresariais.

Neste sentido, o presente trabalho contribui para uma análise mais adequada da sustentabilidade nos processos de manufatura, desenvolvendo um modelo que pode ser aplicado em outros processos, aprimorando etapas de mensuração e de ponderação de aspectos nas dimensões ambientais, sociais e econômicas da manufatura por meio de análise multicritério e apoio à tomada de decisão para os gestores e *stakeholders* das indústrias.

Recomendações para trabalhos futuros

Como sugestão para trabalhos futuros indica-se:

- a) Aplicar o modelo desenvolvido em outros estudos de caso para obter-se uma validação estatística com relação a processos de manufatura;
- b) Desenvolver banco de dados de processos de manufatura que integrem um modelo aplicável para a manufatura do Brasil;
- c) Desenvolver metodologia que contemple mais aspectos aplicável para os processos de manufatura.

REFERÊNCIAS

ALLESCH, A.; BRUNNER, P. H. Assessment methods for solid waste management: A literature review. **Waste Management & Research**, [S. l.], v. 32, n. 6, p. 461-473, 2014.

ALVES, G. F. **Análise de confiabilidade aplicada aos ensaios de óleos lubrificantes para motores de tratores**. 2007. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Campus de Botucatu, 2007.

ARAÚJO JÚNIOR, A. S. **Desempenho de óleos vegetais comestíveis aplicados por MQF no fresamento frontal do aço SAE 1045**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) -Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

ARAÚJO, A. C.; MOUGO A. L.; CAMPOS F. O. **Usinagem para engenharia: um curso de mecânica de corte**. Rio de Janeiro: E-papers, 2020.

ARAÚJO, J. B. **Desenvolvimento de método de avaliação de desempenho de processos de manufatura considerando parâmetros de sustentabilidade**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

ARBUTHNOTT, K. D. Education for sustainable development beyond attitude change. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 152-163, 2009.

ASHFORD, N.; HALL, R.; ASHFORD, R. The crisis in employment and consumer demand: reconciliation with environmental sustainability. **Environ. Innov. Soc. Transit**, [S. l.], p. 1-22, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 513**: classificação e aplicação de metais duros para a usinagem com arestas de corte definidos – denominação dos grupos principais e grupos de aplicação – classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419**: brocas helicoidais – classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6650**: chapas finas a quente de aço carbono para uso estrutural – classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6663**: Chapas finas de aço carbono e de aço de baixa liga e alta resistência - Requisitos gerais – Padronização. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10151**: acústica – avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10152**: níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 12100**: segurança de máquinas – princípios gerais de projeto – apreciação e redução de riscos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14031**: gestão ambiental – avaliação do desempenho ambiental - diretrizes – requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NR 12**: segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NR 15**: atividades e operações insalubres. Rio de Janeiro 1990.

AZEVEDO, D.; GIANLUPPI, L.; MALAFAIA, G. Os custos ambientais como fator de diferenciação para as empresas. **Perspectiva econômica**, [S. l.], v.3, n. 1, p. 82-95, 2007.

BADER, P. Sustentabilidade: do modelo à implementação. **Revista Eco 21**, [S. l.], v. 184, 2012. Disponível em: <http://www.eco21.com.br/textos/textos.asp?ID=2690>. Acesso em: 12 jul. 2017.

BAKCHAN A.; FAUST, M. K. Construction waste generation estimates of institutional building projects: Leveraging waste hauling tickets. **Waste Management**, [S. l.], v. 87, p. 301-312, 2019.

BELLUCO, W.; CHIFFRE, L. Surface integrity and part accuracy in reaming and tapping stainless steel with new vegetable based cutting oils. **Tribol. Int.**, [S. l.], v. 35, p. 865e870, 2002.

BERTICELLI, R. **Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida**: modelo de apoio à tomada de decisão no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2019.

BIERMANN, D.; LIU, Y. **Innovative flow drilling on magnesium wrought alloy AZ31**. Procedia CIRP, [S. l.], v. 18, p. 209-214, 2014.

BLACK, J. T. **Asm metals handbook**: volume 16. Auburn: Auburn University, 2007.

BOEHLS, L. **Apostila de metodologia de ensaios sistemáticos de usinagem para operações de furação**. Florianópolis: [s. n.], 1989.

BÖHRINGER, C.; JOCHEM, P. E. P. Measuring the immeasurable – a survey of sustainability indices. **Ecological economics**, [S. l.], v. 63. p. 1-8, 2007.

BOOPATHIA, M. *et al.* Experimental Investigation of Friction Drilling on Brass, Aluminium and Stainless Steel. **Procedia Engineering**, [S. l.], v. 64, p. 1219-1226, 2013.

BORNIA, A. C. **Análise gerencial de custos**: aplicação em empresas modernas. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações. **Perspectivas de especialistas Brasileiros sobre a manufatura avançada no Brasil**. Brasília: Ministério da Indústria, Comércio Exterior, 2016.

BRODSKY, A.; SHAO, G.; RIDDICK, F. Process analytics formalism for decision guidance in sustainable manufacturing. *Journal intell Manuf.*, [S. l.], v. 27, p. 561–580, 2016.

CALLISTER JR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia dos materiais**: uma introdução. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2018.

CAMPOS, A. C. Todos os países da ONU adotam a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. **Agência Brasil**. 2015. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-09/paises-adotam-na-onu-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: 25 mar. 2017.

CANCHUMANI, G. A. L. **Óleos lubrificantes usados**: um estudo de caso de avaliação de ciclo de vida do sistema de rerrefino no Brasil. 2013. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

CASTRO, P. R. A. **Aspectos tecnológicos na usinagem a seco e com mínima quantidade de fluido na furação com broca helicoidal**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

CBCA. Centro Brasileiro da Construção em Aço. **CBCA**. 2018. Disponível em: www.cbca-acoabrasil.org.br/. Acesso em: 2018 jul. 2019.

CHAPMAN, A.; SHIGETOMI, Y. Developing national frameworks for inclusive sustainable development incorporating lifestyle factor importance. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 200, p. 39-47, 2018.

CHIAVENATO, I. **Introdução a teoria geral da administração**: uma visão abrangente da moderna administração das organizações. 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

CHIA-WEI, HSU. Materiality analysis model in sustainability reporting: a case study at lite-on technology Corporation. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 57, p. 142-151, 2013.

CIEGIS, R.; RAMANAUSKIENÉ, J. Sustainable Development and its assessment. **Applied Economics**, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 143-153, 2009.

CLÍMACO, J.; DIAS, L.; ALMEIDA, L. A. Uma revisão de três pacotes de software dedicados a problemas Multiatributo. **ENGEVISTA**, [S. l.], v. 17, n. 3, p. 288-307, 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Retomada sustentável da economia exige medidas urgentes e reformas estruturais. **Portal da Indústria**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/economia/retomada-sustentavel-da-economia-exige-medidas-urgentes-e-reformas-estruturais/>. Acesso em: 16 out. 2020.

COSTA, T. C.; BELDERRAIN, M. C. N. Decisão em grupo em métodos multicritério de apoio à decisão. *In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO ITA XV ENCITA*, 5, 2009, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2009.

CRISTÓFALO, R. G. *et al.* Sustentabilidade e o mercado financeiro: estudo do desempenho de empresas que compõem o índice de sustentabilidade empresarial (ISE). **REGE - Revista de Gestão**, [S. l.], v. 23, p. 286-297, 2016.

DABROTA, D; DABROTA, G.; BRANCUS, C. An innovative method in the regeneration of waste rubber and the sustainable development. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 172, n. 20, p. 3591-3599, 2018.

DAS, R.; GUCHHAIT, R. “The ethics of sustainability” - a debatable outline for the security of man and nature. **International Journal of Science and Research**, [S. l.], v. 5, n. 4, 2016.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 338**. Brocas de aços rápido. German Institute for Standardisation. [S. n.]: German Institute for Standardisation, 2017.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 8589-2**. Manufacturing processes chip removal - part 2: drilling, countersinking and counterboring, reaming - classification, subdivision, terms and definitions. [S. n.]: German Institute for Standardisation, 2003.

DIAS, L. C.; CLIMACO, J. N. Additive Aggregation with variable interdependent parameters: The VIP analysis software. **Journal of the Operational Research Society**, [S. l.], v. 51, n. 9, p. 1070-1082, 2000.

DIETZ, T. *et al.* Indicadores para comparar e avaliar a força institucional dos padrões voluntários de sustentabilidade no setor cafeeiro global. **Data In Brief**, [S. l.], v. 19, p. 570-585, ago. 2018.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 9. ed. São Paulo: MM Editora, 2014.

DOCKRY, M. J. *et al.* Sustainable development education, practice, and research: an indigenous model of sustainable development at the College of Menominee Nation. *Sustainability Science*, Keshena, v. 11, p. 127-138, 2016.

DORAN, J., RYAN, G. Regulation and firm perception, eco-innovation and firm performance. **European Journal of Innovation Management**, [S. l.], v. 15, n. 4, p. 421-441, 2012.

DORMER. Ferramentas de Corte e Furação. **Dormer**. 2016. Disponível em: www.duravit.pt/dormer-ferramentas-de-corte-e-furacao/. Acesso em: 14 out. 2016.

DORNFELD, D. **Green Manufacturing, Fundamentals and Applications, Laboratory for Manufacturing and sustainability (LMAS)**. Berkeley: Springer, 2013.

DUARTE FILHO, O. C. **Estudo microestrutural e de capacidade de carga na furação por escoamento com condições de trabalho variáveis em processo**. 1998. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

ECKHARDT, M. **Relação entre processo, microestrutura e propriedades mecânicas na furação por escoamento de aços de baixo carbono**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <http://www.universidadefederaldesantacatarina.com.br>. Acesso em: 24 ago. 2015.

EJOT INDUSTRY. **EJOT FDS**. 2016. Disponível em: http://www.industrie.ejot.de/medias/sys_master/images/hc7/had/8882708152350/EJOT-FDS-AUDI-A8-en-Flyer.pdf. Acesso em: 17 out. 2016.

ELPHICK, J.; GILRON, G.; CHRISTENSEN, J. Application of innovative techniques for investigation of cause studies in environmental effects monitoring for metal mines in canada: need for technical guidance. **Integrated Environmental Assessment and Management**, [S. l.], v. 14, n. 4, p. 519-524, 2018.

EMUGE FRANKEN. **Emuge Franken**. 2019. Disponível em: http://www.emuge-franken.com.br/produtos/catalogo/zp10019_pt.pdf. Acesso em: 3 Jun. 2019.

ESCOBAR, J. W. **Metodologia para la toma de decisiones de inversión em portafolio de acciones utilizando la técnica multicritério AHP**. Contaduría y Administración, [S. l.], v. 60, p. 346-366, 2015.

ESTRATÉGIA ODS. **Estratégia ODS**. 2015. Disponível em: <http://www.estrategiaods.org.br/>. Acesso em: 11 out. 2017.

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais**. 14. ed. São Paulo: Blücher, 2011.

FERREIRA, P. I. **Série mba gestão de pessoas: clima organizacional e qualidade de vida no trabalho**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

FLOWDRILL. Friction Drilling: a process for the new millennia. **Flowdrill**. 2015. Disponível em: <http://www.flowdrill.com>. Acesso em: 30 ago. 2015.

FRAGOSO, K. M. *et al.* Retificação cilíndrica do aço VP50 utilizando o rebolo de carbetto de silício verde com a técnica de MQL. **Revista Matéria**, São Paulo, 2016.

FRIPP, W. H. **Avaliação experimental e numérica de uniões parafusadas de aços arbl furadas por escoamento**. 2017. Dissertação (Mestrado em Projeto e Processos de Fabricação) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.

GAMARRA, C.; GUERRERO, J. M.; MONTERO, E. A knowledge discovery in databases approach for industrial microgrid planning. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 60, p. 615-630, jul. 2016.

GAVRILESCU, D.; TEODOSIU, C. An assessment of the Romanian solid waste management system based on sustainable development indicators. **Sustainable Production and Consumption**, [S. l.], v. 8, p. 45-56, out. 2016.

GODOI, W. Método de construção das matrizes de julgamento paritários no AHP método do julgamento holístico. **Revista Gestão Industrial**, [S. l.], 2014.

GRI. **Sustainability reporting guidelines on economic, environmental and social performance**. Amsterdam: Global Reporting Initiative, 2007.

GUMUS, S.; KUCUKVAR, M.; TATARI, O. Intuitionistic fuzzy multi-criteria decision making framework based on life cycle environmental, economic and social impacts: the case of u.s. wind energy. **Sustainable Production and Consumption**, [S. l.], v. 8, p. 78-92, out. 2016.

HALOG, A. *et al.* A multi-attribute assessment of environmentally-sound electric vehicle battery technologies. **Journal of Industrial Engineering**, [S. l.], v. 1, p. 40-59, 2004.

HERVA, M.; ROCA, E. Review of combined approaches and multi-criteria analysis for corporate environmental evaluation. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 39, p. 355-371, 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3369**: impermeable sintered metal materials and hardmetals - determination of density. Geneva: International Organization for Standardization, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4406**: hydraulic fluid power – fluids – method for coding the level of contamination by solid particles. Geneva: International Organization for Standardization, 1999.

IOANNIS, E. N.; STEFANOS, I. M. A framework to measure eco-efficiency performance of firms through EMAS reports. **Sustainable Production and Consumption**, [S. l.], v. 8, p. 32-44, out. 2016.

JANNUZZI, P. M.; MIRANDA, W. L.; SILVA, D. S. G. Análise Multicritério e Tomada de Decisão em Políticas Públicas: Aspectos Metodológicos, Aplicativo Operacional e Aplicações. **Revista Informática Pública**, [S. l.], v. 11, p. 69-87, 2009.

JASCH. **Contabilidade da gestão ambiental procedimentos e princípios**. Nova Iorque: Nações Unidas, 2001.

KALPAKJIAN, S. **Manufacturing engineering and technology**. 7. ed. India: Pearson Education, 2013.

KAPLUNOV, J. *et al.* On the dynamics of drilling. **International Journal of Engineering Science**, [S. l.], v. 146, p. 103184-103184, jan. 2020.

KILDIENE S.; ZAVADSKAS, E. K.; TAMOSAITIENE, J.; **Complex assessment model for advanced technology deployment**. *Journal of Civil Engineering and Management*, [S. l.], v. 20, n. 2, p. 280-290, 24 abr. 2014.

KLEMES, J. **Avaliando e medindo o impacto ambiental e a sustentabilidade**. Amsterdam: Elsevier, 2015.

KLOCKE, F. **Manufacturing Processes 1**. Germany: Springer 2011.

KOU, S. **Welding Metallurgy**. 2. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003.

KRONEMBERGER, D. M. P. *et al.* Desenvolvimento sustentável no Brasil: uma análise a partir da aplicação do Barômetro da Sustentabilidade. **Sociedade & Natureza**, [S. l.], v. 20, n. 1, p. 25-50, 2008.

KURAM, E. *et al.* Effects of blended vegetable-based cutting fluids with extreme pressure on tool wear and force components in turning of Al 7075-T6. **Lubrication Science**, [S. l.], v. 25, n. 1, p. 39-52, 25 jun. 2012.

LIMA, J. D. de *et al.* Modelo de apoio à decisão para alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos na região nordeste do Brasil. **Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica**, Cidade do México, v. 6, n. 3, p. 11-28, 2013.

LINKOV, I.; MOBERG, E. **Multi-criteria decision analysis: environmental Applications and Case Studies**. CRC Press, 2012.

LOPES, J. C. O. **Furação por escoamento e rosqueamento por conformação**. Florianópolis: UFSC. 1994.

LUCATO, W. C.; SANTOS, J. C. S.; PACCHINI, A. P. T. Measuring the sustainability of a manufacturing process: a conceptual framework. **Sustainability**, [S. l.], v. 10, n. 81, 2018.

MACHADO, A. R.; RUFFINO, R. T. (rev.). **Teoria da usinagem dos materiais**. São Paulo: Blucher, 2012.

MACHADO, C. G. **Estudo da aplicabilidade dos conceitos da manufatura sustentável no rerrefino de óleos lubrificantes usados**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2011.

MARQUES, C. T. **Sustentabilidade empresarial aplicada à construção civil: identificação de estratégias para implantação**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2018.

MARRAS, J. P. **Gestão de pessoas em empresas inovadoras**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

MARTINETTI, T. H. **Análise da sustentabilidade de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários para habitações unifamiliares**. 2015. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana) da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2015.

MARTIN-GALÁN, A. *et al.* Enhanced data envelopment analysis for sustainability assessment: a novel methodology and application to electricity Technologies. **Journal Computers and Chemical Engineering**, [S. l.], v. 90, n. 12, p. 188-200, 2016.

MARTINS, E. **Contabilidade de custos**. São Paulo: Atlas, 2010.

MATOS, P. *et al.* The use of multi-criteria analysis in the recovery of abandoned mines: a study of intervention in Portugal. **Rausp Management Journal**, [S. l.], v. 53, p. 214-224, 2018.

MAXWELL, R. M.; SITCHLER, A. N.; TONKIN, M. Forward: sustainability and adaptation. **Groundwater**, [S. l.], v. 56, n. 4, p. 515-516, 2018.

MEDEIROS, J. F.; RIBEIRO, J. L. D.; CORTIMIGLIA, M. N. Success factors for environmentally sustainable product innovation: a systematic literature review. **J. Clean. Prod.**, [S. l.], v. 65, p. 76-86, 2014.

MEGLIORINI, E. **Custos: análise e gestão**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2012.

MELARÉ, AG. V. de S.; GONZÁLEZ, S. M.; FACELI, K.; CASADEI, V. **Tecnologias e sistemas de suporte a decisão como apoio na gestão de resíduos sólidos: uma revisão sistemática**. Sorocaba: UFSCAR, 2014. Disponível em: <http://dcomp.sor.ufscar.br/wp-content/uploads/2016/05/DComp-TR-001.pdf>. Acesso em: 7 maio 2017.

MELO, F.S. A.; **Estudo das propriedades mecânicas e microestruturais de aços microligados para aplicação estrutural como longarina**: Rio de Janeiro: UFRJ, 2019, Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10029775.pdf>. Acesso em: 22 de dezembro de 2020.

MOHER, D. *et al.* Preferred reporting items for systematic review and metaanalyses: The PRISMA statement. **Ann. Intern. Med.**, [S. l.], v. 151, p. 264-268, 2009.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments wiley**. 8. ed. Arizona: Arizona State University, 2012.

MORALES, C. *et al.* Assessing the environmental sustainability of electricity generation in chile. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 636, p. 1155-1170, p. 2018.

MUÑOZ, B.; ROMANA, M. G.; ORDÓNEZ, J. Sensitivity analysis of multicriteria decision making methodology developed for selection of typologies of Earth-retaining walls in na urban highway. **Transportation Research Procedia**, [S. l.], v. 18, p. 135-139, 2016.

NADAL, A. *et al.* Rooftop greenhouses in educational centers: a sustainability assessment of urban agriculture in compact cities. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 626, p. 1319-1331, 2018.

NARDI, D.; LACALLE, L. N. L. **Taladrado por fricción en aceros de doble fase de alta resistencia**. [S. n.]: EAE Editorial, 2012.

NEMEROW, N. L. **Environmental engineering: environmental health and safety for municipal infrastructure, land use and planning, and industry**. 6. ed. Hoboken: Wiley, 2009.

NESS, B. *et al.* Categorising Tools for Sustainability Assessment. **Ecological Economics**, [S. l.], v.60, n. 3, p. 498-508, 2006.

OILCHEK. Análise de óleo. **Oilcheck**. 2015. Disponível em: <https://www.oilcheck.com.br/wp-content/uploads/2016/09/analise-de-oleos.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2019.

OLIVEIRA, C. A. S. D. Saiba tudo sobre Processo de Furação por Escoamento. **CIMM - Centro de informação metal mecânica**. 2007. Disponível em: https://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/2262-saiba-tudo-sobre-processo-de-furacao-por-escoamento. Acesso em: 22 set. 2018.

OZEK, C.; DEMIR, Z. Investigate the friction drilling of aluminium alloys according to the thermal conductivity. **Tem Journal Technology Education Management Informatics**, [S. l.], v. 2, p. 93-101, 2013.

PHONPHOTON, N.; PHARINO, C. A system dynamics modeling to evaluate flooding impacts on municipal solid waste management services. **Waste Management**, [S. l.], v. 87, p. 525-536, 2019.

PLATAFORMA AGENDA 2030. Acelerando as transformações para a Agenda 2030 no Brasil. **Agenda 2030**. 2015. Disponível em: <http://www.agenda2030.com.br/>. Acesso em: 6 mar. 2020.

PUSAVEC, F.; KRAJNIK, P.; KPOAC, J. Transitioning to sustainable production – Part 1; application on machining technologies. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 18, p. 174-184, 2010.

PUSAVEC, F.; KRAJNIK, P.; KPOAC, J. Transitioning to sustainable production – Part 2; evaluation of sustainable machining technologies. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 18, p. 1211-1221, 2010.

QREN. **A avaliação do desenvolvimento socioeconómico, manual técnico II**: métodos e técnicas instrumentos de enquadramento das conclusões da avaliação: análise multicritério, Portugal. [S. n.: S. l.], 2013.

RAGSDALE, C. T. **Spreadsheet modeling & decision analysis**: a practical introduction to management science. 4. ed. South-Western: Thomson, 2003.

RAJEMI, M. F; MATIVENGA, P. T; ARAMCHAROEN, A. **Sustainable machining**: selection of optimum turning conditions based on minimum energy considerations. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 18, p. 1059-1065, 2010.

ROCHA, M. P. **Proposta de indicadores de sustentabilidade na gestão de resíduos de construção e demolição**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.

ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. Brasília: Unb, 2013.

ROMI. **Linha Romi D nova geração centros de usinagem**. Disponível em: <http://www.romi.com/produtos/linha-romi-d-nova-geracao/>. Acesso em: 15 jun. 2018.

SAATY, T. L. **Decision making for leaders – the analytic hierarchy process for decisions in a complex world**. Pittsburg: University of Pittsburg, 1995.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process**. McGraw-Hill International: New York, 1980.

SADA, G. K. A.; JAFFAL, H. M. Utilization solar energy for steam production. **Int J Adv Res Eng Tech**, [S. l.], v. 8, n. 5, p. 13-18, 2017.

SENAI. **Implementação de programas de produção mais limpa**. Porto Alegre: SENAI-RS, 2003.

SHACKELFORD, J. F. **Ciência dos materiais**. 6. ed. São Paulo: Pearson, 2014.

SHOKOOHI, Y.; KHOSROJERDI, E.; SHIADHI, B. H. Machining and ecological effects of a new developed cutting fluid in combination with diferente cooling techniques on turning operation. **Journal of Cleanear Production**, [S. l.], v. 94, p. 330-339, 2015.

SICHE, R. *et al.* Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente & Sociedade**, [S. l.], jul. 2007.

SILVA, L; SILVA, J. E; OMETTO, R. A. Green Manufacturing: uma análise da produção científica e de tendências para o futuro. **Production**, [S. l.], v. 26, n. 3, p. 642-655, 2016.

SILVIA, L. T.; MENDES, J. F. G. **City noise-air**: na enviromental quality index for cities. **Sustainable Cities and Society**, [S. l.], v. 4, p. 1-11, 2012.

SINGH, P. K.; SARKAR, P. A framework based on fuzzy AHP-TOPSIS for prioritizing solutions to overcome the barriers in the implementation of ecodesign practices in SMEs. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, [S. l.], v. 26, n. 6, p. 506-521. 2019.

SPANGENBERG, I. The Social Dimension of Sustainability in a Socio-Economic Scenario. *In*: BIENNIAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR ECOLOGICAL ECONOMICS, 7, 2002, Sousse, **Anais...** Sousse: [s. n.], 2002.

SSAB. Upgrade and save in CO2 emissions with SSAB EcoUpgraded concept. **SSAB**. 2017. Disponível em: <https://www.ssab.com/products/brands/strenx/customer-cases/#StrenxEcoCases>. Acesso em: 26 jun. 2017.

STEMMER, C. E. **Ferramenta de Corte II**. Florianópolis: [s. n.], 2007.

STOETERAU, R. L. **Apostila de usinagem**. São Paulo: USP, 2019.

TRANFIELD, D. *et al.* Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **Br. J. Manag.**, [S. l.], v. 14, n. 3, p. 207–222, 2003.

UNEP. **Global Waste Management Outlook**. 2015. Disponível em: <https://www.unenvironment.org/resources/report/global-waste-management-outlook>. Acesso em: 17 out 2018.

UNIFAL. Decisions + Simple. **Unifal-MG**. 2019. Disponível em: <https://www2.bcc.unifal-mg.edu.br/ahp/registrar.php?link=0ddaab40fbd9d55444de82b295b5c222>. Acesso em: 6 dez. 2019.

VICECONTI, P. E. V. **Contabilidade de custos: um enfoque direto e objetivo**. São Paulo: Saraiva, 2013.

VIEIRA, G. H. **Análise e comparação dos métodos de decisão multicritério AHP Clássico e Multiplicativo**. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, Brasil, 2006.

VINODH, S. *et al.* Development of decision support system for sustainability evaluation: a case study. **Cleam Techn Environ Policy**, [S. l.], v. 16, p. 163-174, 2014.

WANG, X. *et al.* A case study of an integrated fuzzy methodology for green product development. **Eur. J. Oper. Res.**, [S. l.], v. 241, p. 212-223, 2015.

WEINGAERTNER, W. L. **Laboratório de mecânica de precisão**. 2006. Disponível em: http://www.lmp.ufsc.br/linhas_pesquisa/furcon/furcon_furacao.html. Acesso em: 22 set. 2018.

WWF. **Living Planet Report 2012**. WWF. 2012. Disponível em: http://awsassets.panda.org/downloads/1_lpr_2012_online_full_size_single_pages_final_120516.pdf. Acesso em: 7 out. 2018.

ZANCOPE, C. F.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, R. S. **Construção de um modelo para avaliação da sustentabilidade corporativa: um estudo de caso da indústria têxtil**. Florianópolis: UFSC, 2012.

ANEXO 1 – AUTORIZAÇÃO



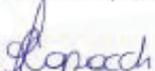
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
Campus I, BR 285, Km 292,7, Bairro São José, Passo Fundo/RS – CEP 99052-900
Telefone: +55(54) 3316.8109 – fupf@upf.br – www.upf.br
CNPJ: 92.034.321/0001-25

AUTORIZAÇÃO

A **FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO**, pessoa jurídica de direito privado, estabelecida no Campus I, Rodovia BR 285, km 292,7, Bairro São José, na cidade de Passo Fundo, RS, inscrita no CNPJ sob o nº 92.034.321/0001-25, representada pela presidente do Conselho Diretor, professora Maristela Capacchi, **AUTORIZA** a realização do projeto intitulado “AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO EM SUSTENTABILIDADE UTILIZADO EM PROCESSOS DE MANUFATURA”, proposto pelo pesquisador Leandro Dóro Tagliari junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Passo Fundo, sob orientação do Prof. Doutor Adalberto Pandolfo.

O referido projeto será realizado nesta Instituição, e só poderá ter início a partir da apresentação da carta de aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da UPF.

Passo Fundo/RS, 23 de maio de 2019.


Maristela Capacchi,
Presidente do Conselho Diretor da
Fundação Universidade de Passo Fundo.

ANEXO 2 – PARECER PLATAFORMA BRASIL



 principal
  sair

Público
Pesquisador
Alterar Meus Dados

LEANDRO DORO TAGLIARI - Pesquisador | V3.2
 Sua sessão expira em: 38min 24

Cadastros

DETALHAR PROJETO DE PESQUISA

DADOS DA VERSÃO DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO EM SUSTENTABILIDADE UTILIZADO EM PROCESSOS DE MANUFATURA
Pesquisador Responsável: LEANDRO DORO TAGLIARI
Área Temática:
Versão: 2
CAAE: 10689819.1.0000.5342
Submetido em: 01/06/2019
Instituição Proponente: Universidade de Passo Fundo/Vice-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Situação da Versão do Projeto: Aprovado
Localização atual da Versão do Projeto: Pesquisador Responsável
Patrocinador Principal: Financiamento Próprio



Comprovante de Receção:  PB_COMPROVANTE_RECEPCAO_1322525

DOCUMENTOS DO PROJETO DE PESQUISA

- Versão Atual Aprovada (PO) - Versão 2
 - Pendência de Parecer (PO) - Versão 2
 - Documentos do Projeto
 - Brochura Pesquisa - Submissão 2
 - Comprovante de Receção - Submissão
 - Declaração de Instituição e Infraestrutura
 - Declaração de Pesquisadores - Submis
 - Folha de Rosto - Submissão 2
 - Informações Básicas do Projeto - Subm
 - Outros - Submissão 2
 - Projeto Detalhado / Brochura Investiga
 - TCLE / Termos de Assentimento / Justif
 - Apreciação 2 - Universidade de Passo Fun
- Projeto Completo

Tipo de Documento	Situação	Arquivo	Postagem	Ações
-------------------	----------	---------	----------	-------

Apreciação *	Pesquisador Responsável *	Versão *	Submissão *	Modificação *	Situação *	Exclusiva do Centro Coord. *	Ações
PO	LEANDRO DORO TAGLIARI	2	01/06/2019	10/06/2019	Aprovado	Não	   

HISTÓRICO DE TRÂMITES

Apreciação	Data/Hora	Tipo Trâmite	Versão	Perfil	Origem	Destino	Informações
PO	10/06/2019 15:45:53	Parecer liberado	2	Coordenador	Universidade de Passo Fundo/ Vice-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - VRPPG/UPF	PESQUISADOR	
PO	10/06/2019 15:43:31	Parecer do colegiado emitido	2	Coordenador	Universidade de Passo Fundo/ Vice-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - VRPPG/UPF	Universidade de Passo Fundo/ Vice-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - VRPPG/UPF	
PO	06/06/2019 15:01:10	Parecer do relator emitido	2	Membro do CEP	Universidade de Passo Fundo/ Vice-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - VRPPG/UPF	Universidade de Passo Fundo/ Vice-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - VRPPG/UPF	
PO	06/06/2019 14:49:53	Aceitação de Elaboração de Relatório	2	Membro do CEP	Universidade de Passo Fundo/ Vice-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - VRPPG/UPF	Universidade de Passo Fundo/ Vice-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - VRPPG/UPF	
PO	04/06/2019 08:24:44	Confirmação de Indicação de Relatório	2	Coordenador	Universidade de Passo Fundo/ Vice-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - VRPPG/UPF	Universidade de Passo Fundo/ Vice-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - VRPPG/UPF	
PO	03/06/2019 09:31:05	Indicação de Relatório	2	Secretária	Universidade de Passo Fundo/ Vice-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - VRPPG/UPF	Universidade de Passo Fundo/ Vice-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - VRPPG/UPF	
PO	03/06/2019 09:30:42	Aceitação do PP	2	Secretária	Universidade de Passo Fundo/ Vice-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - VRPPG/UPF	Universidade de Passo Fundo/ Vice-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - VRPPG/UPF	
PO	01/06/2019 00:05:10	Submetido para avaliação do CEP	2	Pesquisador Principal	PESQUISADOR	Universidade de Passo Fundo/ Vice-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - VRPPG/UPF	
PO	24/04/2019 14:42:13	Parecer liberado	1	Coordenador	Universidade de Passo Fundo/ Vice-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - VRPPG/UPF	PESQUISADOR	
PO	24/04/2019 14:19:17	Parecer do colegiado emitido	1	Coordenador	Universidade de Passo Fundo/ Vice-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - VRPPG/UPF	Universidade de Passo Fundo/ Vice-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - VRPPG/UPF	

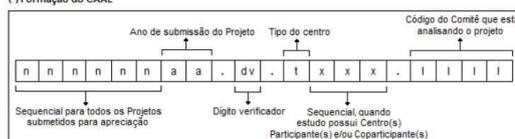
Ocorrência 1 a 10 de 16 registro(s)

LEGENDA:

(*) Apreciação

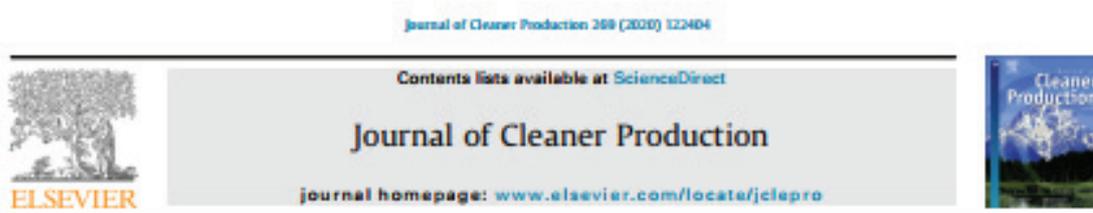
PO = Projeto Original de Centro Coordenador	POp = Projeto Original de Centro Participante	POc = Projeto Original de Centro Coparticipante
E = Emenda de Centro Coordenador	Ep = Emenda de Centro Participante	Ec = Emenda de Centro Coparticipante
N = Notificação de Centro Coordenador	Np = Notificação de Centro Participante	Nc = Notificação de Centro Coparticipante

(*) Formação do CAAE



[Voltar](#)

APÊNDICE A – Artigo publicado



Review

Developing a specific structured procedure to assess sustainability performance in manufacturing processes



Leandro Dóro Tagliari ^{a,*}, Adalberto Pandolfo ^a, Rodrigo Panosso Zeilmann ^b

^a Passo Fundo University, Post-Graduation Program in Mechanical Engineering, Post-Graduation Program in Civil Engineering, Rodovia BR 285, Km 292,7, 5 / n - São João, Passo Fundo, RS, 99052-900, Brazil

^b Conics do Sul University, Post-Graduation Program in Mechanical Engineering, Rua Francisco Getúlio Vargas, 1120 Campus Sede, Brazil

ARTICLE INFO

Article history:

Received 6 July 2019

Received in revised form

10 April 2020

Accepted 10 May 2020

Available online 26 May 2020

Handling Editor: Mingzhou Jin

Keywords:

Sustainability

Sustainability evaluation models

Manufacturing processes

ABSTRACT

The aim of the present study is to develop a specific structured procedure to assess the sustainability performance of conventional and flow drilling manufacturing processes. A systematic literature review was carried out in order to find a set of information to assess sustainability performance in drilling manufacturing. Interviews were conducted with professionals and researchers from the manufacturing and industrial engineering fields to assess information collected during the theoretical research and to define a set of aspects related to the environmental, social and economic dimensions of sustainability. Based on the herein developed methodological procedures, it was possible assessing the sustainability performance in manufacturing processes that were the object of the present study. The specific structured procedure allowed implementing a viable methodology based on correlating results to information developed in the research, as well as on adapting and extrapolating it to other manufacturing processes in order to generate environmental, social and economic gains to companies.

© 2020 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Contents

1. Introduction	1
2. Method	2
2.1. Systematic literature review	2
2.2. Methodology for research among experts	3
3. Results	5
3.1. Bibliometric results	5
3.2. Results of the models	5
3.3. Model evaluation, brainstorming	6
3.4. Specific structured procedure to evaluate manufacturing	8
4. Discussions	8
4.1. Success factors of the specific structured procedure	8
5. Conclusion	10
Declaration of competing interest	11
Acknowledgements	11
Supplementary data	11
References	11

1. Introduction

The growth of cities, industrial production increase and the great consumption of manufactured goods have been generating

* Corresponding author.
E-mail addresses: leandro.doro.tagliari@pucrs.com (L.D. Tagliari), pandolfo@pucrs.com (A. Pandolfo), rzeilmann@pucrs.br (R.P. Zeilmann).

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122404>

0959-6526/© 2020 Elsevier Ltd. All rights reserved.

strong environmental impact and consequent concern of governments, public opinion, organizations and consumers with sustainability, since studies focused on assessing sustainability issues are scarce (Filho et al., 2018; Zancopé et al., 2012). Sustainability challenges faced by managers in manufacturing facilities encompass matters that go from global warming to environmental protection and increased demand for resources; overall, such matters are forcing companies to restructure their business models (Schrettle et al., 2014; Gamarra et al., 2016). Therefore, business sectors have been adopting more sustainable approaches and practices in their processes and business organizations have been suffering with greater pressure from the public to show their social responsibility through economic, social and environmental factors often assessed through sustainability reports (Chia-Wei et al., 2013).

Industries have created a threat to the future, their manufacturing methods based on the excessive use of natural resources endanger future generations. It is essential for modern companies to renew their manufacturing technologies for sustainable manufacturing practices, according to which, goods must be produced in such a way that they would use the minimum amount of resources possible; besides, they aim at producing cleaner and greener products at accessible price (Vinodh et al., 2013).

Nowadays, investing in new technologies, even in new equipment or processes, in order to get new products or services must be a way to contribute to sustainability. Validating such actions demands developing structured procedures to assess sustainability in manufacturing by making corporation decision-making about improving environmental, social and economic results easier (Kildiene et al., 2014).

According to Ioannis and Stefanos (2016), the environmental, social and economic performance of companies must be assessed based on indicator (aspects) monitoring; analyses must help developing a framework, i.e., a broad and effective structured procedure capable of assessing the sustainability of processes. Thus, sustainability evaluation must represent a positive contribution to the industry and improve sustainability levels (Martin-Galdin et al., 2016).

The present research was encouraged by companies' need of information about the sustainability level of their processes and about how sustainability can be introduced in manufacturing fields in order to help decision-making at the time to decide for more sustainable processes from an environmental, social and economic viewpoint, since there are only few research assessing sustainability in manufacturing. One of the few research that address sustainability performance evaluation in manufacturing processes was developed by Araújo (2010), who has measured sustainability between cylindrical turning and external grinding processes. Accordingly, one can observe the great issue related to waste management, to the best way to mitigate waste generation in companies and to lead to social, environmental and economic gain in companies.

Gamarra et al. (2016) assessed the management of solid waste in cities and developing countries, as well as the necessary links for making the whole system and actions work. The waste management issue also has implication in industries, which justifies the development of research focused on assessing sustainability evaluation processes in order to reduce waste production.

The aim of the present research is to assess sustainability in two different manufacturing processes: conventional drilling, which used helical drill as its tool. This process is often used in the metalworking industry and was compared to the flow drilling process, which is old, little known in the industrial sector but has great application potential. It uses a conic tool without the helicoid

that was developed out of a material special for manufacturing. Manufacturing and manufacturing processes still face great challenges to be faced such operationalization and the need to adapt to other conditions, new processes that bring the state of art to other innovations and technologies, since most studies about the herein addressed subject are personalized and solutions are not reusable. Each case has to be analyzed in separate and the structured procedures must be reevaluated and adjusted to specific conditions (ROCKWELL AUTOMATION, 2010).

The choice made for assessing sustainability in manufacturing processes based on conventional flow drilling was encouraged by the needs of companies that can implement this technology type, for instance, the aeronautical, naval, war, aerospace, agricultural and basic industries, among others. Besides, the present research is an attempt to help broadening the understanding about sustainability in processes based on criteria adopted by different fields, a fact that makes decision-making processes complex (Magalhães et al., 2019).

Hence, the herein addressed technological development is the very structured procedure developed to be a great novelty for assessing conventional and drilling manufacturing processes. Its contribution to the state of art results from the evaluation of the assessed models and from how such models relate to one another in terms of aspects and impacts. The idea is to search for their application in conventional and flow drilling manufacturing processes. The main factors taken into account to define the structured procedure were how sustainability outcomes can help companies and solutions linked to drilling manufacturing processes.

The article is divided into 5 sections: section 1 is the introduction; section 2 describes the developed method and its use based on a literature review; section 3 describes results of the selected methods and the structured procedure developed for manufacturing evaluation; section 4 discusses the results and suggests further research in this field; finally, section 5 brings up the conclusions.

2. Method

The study encompassed two stages: systematic literature review and interviews (Fig. 1 – flowchart of the adopted methodology, which is better described in the sub-sections).

2.1. Systematic literature review

A literature review was carried out in order to reach the aims described in the introduction section. This method was chosen

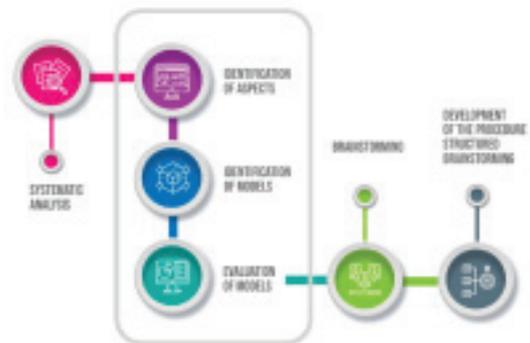


Fig. 1. Research methodology developed.

because it mitigates likely mistakes and allows information replicability (DE MEDEIROS J.F., 2014).

Instructions by Tranfield et al. (2003) and Moher et al. (2009) were followed to develop the review based on 5 stages: (i) defining the aim of the research; (ii) selecting the databases; (iii) identifying the keywords; (iv) selecting compatible articles and (v) data extraction.

Stage (i) aimed at helping better understanding the different concepts that have been nowadays used in academic research on sustainability evaluation in order to gather a set of broader aspects that could be applied to conventional and flow drilling manufacturing processes.

Stage (ii) regards database selection; it was based on a systematic literature review established from defining combined keywords and correlating the main keywords to secondary keywords in the Web of Science, Scopus the End note software (student version) databases. First, a combination of keywords was carried out to search for articles about the topic (Fig. 2).

Results were not satisfactory because the combinations did not lead to eligible articles; thus, the option was made to search for keywords in separate, stage (iii), namely: Sustainability; Performance of evaluation models in sustainability. The application of filters available in the databases, such as online resources, journals reviewed by peers, English language; technology, sustainability topics; and selection between 2013 and 2018, allowed the gross selection of articles as shown in Table 1.

All titles of the 619 selected articles were read, and 185 of them were considered relevant for the research. Stage (iv) aimed at selecting articles based on the reading of their abstract by more than one researcher in an independent way. The 25 articles were defined at Science Direct, 12 at Scopus and 3 in the library of 'end note' student version; thus totaling 40 articles.

Stage (v) the search ended up in the selection of 7 articles: 3 from the Web of Science, 2 from Scopus and 2 from End note (student version). They were adopted as reference to develop the present research.

The set of selected publications went through a critical evaluation by researchers, their assessment focused on the development of the structure procedure to assess sustainability performance in conventional and flow drilling manufacturing processes.

Finally, an adding approach was adopted to summarize conclusions in the assessed articles. This approach mainly depends on researchers' subjective interpretation of the assessed articles because, according to Tranfield et al. (2003), a certain degree of subjective latitude must be given to researchers so that such different studies can be compared and taken into account in order to extract shared and abstract meanings.

2.2. Methodology for research among experts

An in-depth analysis of the selected studies was carried out and



Figure 2. Keywords combination.

Table 1
Papers after filter application.

Database:	Searched papers
Science Direct	322
Scopus	288
End note (student)	9
TOTAL:	619

Source: Authors (2020).

the methodology to develop a structured procedure capable of identifying important aspects to assess conventional and flow drilling processes based on the environmental, social and economic dimensions of sustainability was developed (Flowchart in Fig. 3).

a) **Model identification:** carried out through literature review. It aimed at searching for the most important models already developed at state of art by taking into consideration information such as features, dimensions and scope.

This process led to the need of having a tool capable of filtering information about each model and identifying the largest amount of information possible. Thus, an evaluation procedure was established to these sustainability models; this analysis was conducted through an organization tool established in Excel spreadsheet. Fig. 4 depicts how such information was structured.

Aspects were correlated to the assessed models. Columns specified the models and lines addressed the evaluation aspects. Most models do not evaluate the same aspects, for example, model GRI can assess aspects of "power", whereas model ISO 14031 may not take this aspect as relevant when it comes to its application. Accordingly, models capable of evaluating the largest number of aspects were the ones taken into account.

This condition is specific to the performed research, which intends to assess the models mostly comprising the largest number of aspects based on such models by having in mind their application in manufacturing.

b) **Model evaluation:** A specific analysis can give different weight to different aspects and state that one aspect is more relevant than others. It can also define that all aspects have the same magnitude. These definitions depend on the analyzed conditions; each case can present its own particularities.

The model presenting the largest number of aspects gets the highest value for dark points observed for it in the sum, which points out that the model has great ability to evaluate the aspects.

The value resulting from the sum of these dark points quantifies

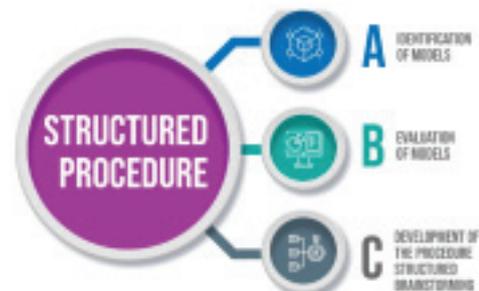


Figure 3. Research methodology.

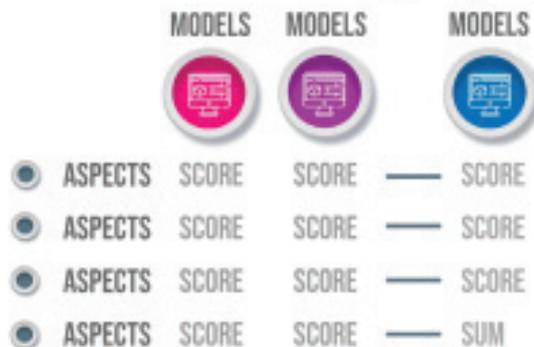


Figure 4. Excel models structure.

the ability to quantify the aspects of the assessed model. A punctual analysis was performed to assess the possibility of applying multi-criteria methodologies, such as the AHP method, to models and aspects in order to find a quantifiable value able to establish that one method is better than the other. However, as the model already has a quantified result (A) that evaluates more aspects than the others (B, C, D ...), the application of a multi-criteria methodology would not change the model-choice results. Therefore, the model-choice procedure that assesses the largest number of aspects possible remained the same: the initial parameter to define the specific model to evaluate sustainability in manufacturing.

This procedure was followed to determine the environmental, social and economic models. The identified aspects were assessed through a brainstorming dynamics applied to a group of stakeholders - experts in industrial engineering - in order to highlight, among the set of aspects in the assessed models, which ones could be monitored in the manufacturing sectors of companies.

Brainstorming is a tool used in companies' small meetings focused on solving great-magnitude issues. This process was developed with different stakeholders from the engineering and industrial engineering fields (Table 2).

A questionnaire was divided based on each of the sustainability dimensions and answered during the brainstorming meeting with the stakeholders. It was done in order to identify the aspects that can allow their quantification and measurement, so that they can compose the specific structured procedure to assess sustainability performance in conventional and flow drilling manufacturing processes.

These stakeholders are experts highly experienced in the Engineering field; they answered the questionnaire about the manufacturing process – their answers were used to gather initial information about the qualitative research. Weights resulted from the qualitative analysis; they were identified and stored in databases for further evaluation.

Fig. 5 presents excerpts from the research form, which were sent

to stakeholders from the Engineering field and who act in industrial engineering.

Identify in the Global Reporting Initiative - GRI model Which aspects do you consider important to be analyzed to assess sustainability in environmental manufacturing; Mark with an "X" in the box:

- Materials;
- Energy;
- Water;
- Emissions;
- Effluent;
- Waste;
- Suppliers;
- Products and services;
- Transport;
- Toxic materials;
- Earth;
- Environmental management system;
- Obedience to the laws;
- Environmental infrastructure;
- Local impact;
- Biodiversity;
- Ozone layer destruction;
- Greenhouse effect;

Fig. 5. Structure procedure flowchart.

to stakeholders from the Engineering field and who act in industrial engineering.

This condition is specific for the herein developed research, which intends to assess models that cover the largest number of aspects possible, to evaluate such aspects with the support from stakeholders in the Engineering field and to find the very basis of aspects to structure the framework established as the aim of the present study.

c) Development of the specific structured procedure: the expertise of the researcher in the manufacturing field was used in Such an information gathering allowed defining a specific structured procedure for aspects linked to environmental, social

Table 2
Professionals taking part at the brainstorming stage.

Expertise Professionals	30 years	25 years	10 years	7 years
Mechanical engineering professionals	1	1	1	1
Electric engineering professionals	1	1	–	–
Civil engineering professional	1	–	1	1
Environmental engineering professionals	–	1	1	1
Industrial Engineering professionals	1	1	1	1

Source: Authors (2020).

and economic dimensions capable of measuring sustainability in conventional and flow drilling manufacturing processes based on analysis and data collection.

It was possible identifying different applications, making comparisons and pointing out improvements applicable to many scenarios observed in companies on a daily basis, based on a structured procedure that covers the dimensions in sustainability and the main aspects evidenced for manufacturing.

3. Results

3.1. Bibliometric results

In total, 40 articles were selected throughout the theoretical study in the systematic review, they were relevant for the research. Of this total, 7 articles were chosen as the most referenced in scientific studies.

The systematic review also enabled the collection of bibliometric data in the assessed articles by extracting the following information: (a) publication year for the temporal analysis of publications; (b) geographic location to present the distribution of publications based on nationality; and (c) publication means for identification and analysis.

The first important articles about sustainability models were published from 2000 on; after 2012, the number of research in this field recorded significant increase (Fig. 6). The decrease in the number of publications observed in 2019 was justified by the fact that many publications in this particular year remain at non-official mode.

Among countries standing out in the geographic location of publications one finds the United States (USA), Germany and China, which account for the largest number of articles indexed in the databases. Fig. 7 depicts the broaden geographic distribution of publications, which covers 33 different countries in the five continents.

Energies and the Journal of Cleaner Production stood out among the publication means. The preference for them was clear, since they accounted for 25% of all reviewed articles (Fig. 8).

According to Klemes (2015), systematic reviews share knowledge provided by many authors in order to give a broad perspective of such environmental, social and economic matters through the practical application of models and structured procedures aimed at

assessing sustainability to quantify social, economic and environmental sustainability.

3.2. Results of the models

The main information about authors substantiating the present research was gathered and the sustainability evaluation models were defined. Data concerned each of these models and covered the three dimensions composing the triple bottom line view of sustainability.

According to Schrettle et al. (2014), companies struggling to be sustainable often develop the ability to provide strategies such as developing technological products capable of reducing consumption in manufacturing processes and, consequently, of reducing costs.

Chia-Wei et al. (2013) used sustainability and fail mode reports to identify aspects to fulfill users' needs.

Vinodh et al. (2013) used fuzzy logics to make manual calculation; he found an index seen as a concept for sustainable manufacturing processes or sustainable manufacturing.

Kildiene et al. (2014) states that a complex algorithm can assess sustainability, but it is necessary to have an integrated technology model to make users' decision-making process easier.

Martín-Galán et al. (2016) developed improvements to assess sustainability through "efficiency order". According to him, quantifying sustainability level reached by a system or model is a challenge, given the need of taking into consideration a broad scope of economic, environmental and social aspects, all at once.

According to Araújo (2010), aspects to validate manufacturing must comply with the industrial reality. A more industrialized region can implement more complex aspects, such as monitoring manufacturing heating through electronic devices, which differentiated it from a lesser industrialized one, which has less resources to automatize and instrument equipment to measure the aspects. The aim of the structured procedure was to fulfill the minimal needs with relatively simple aspects; this model must be added with complex aspects depending on further needs.

Gamarra et al. (2016) states that the great challenge faced by companies lies on developing a sustainable growth plan and 4.0 manufacturing technologies such as the internet of things and big data, which are innovative approaches for strategic planning.

Fig. 9 shows how the structured procedure was held based on the systematic review and on the brainstorming with stakeholders

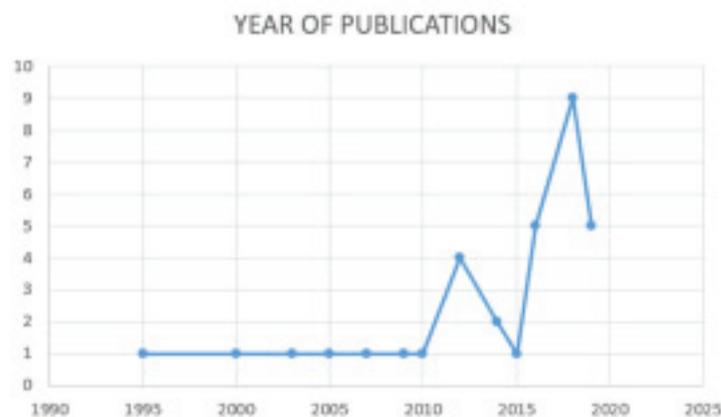


Fig. 6. Publications per year.

6

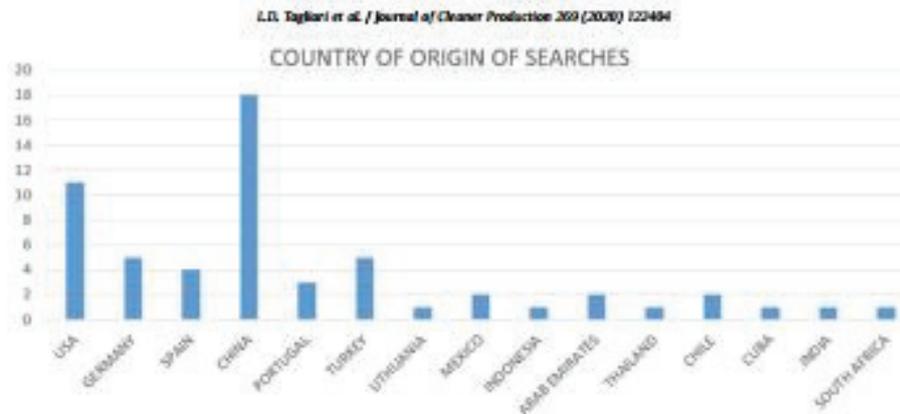


Fig. 7. Publications geographical distribution by countries.

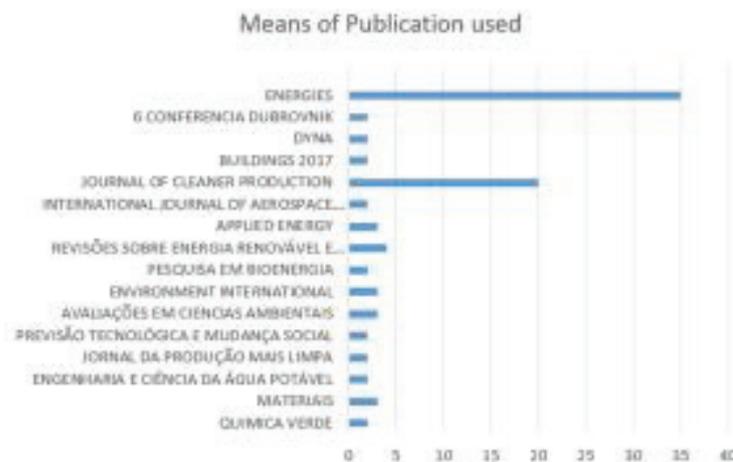


Fig. 8. Publication means used.

participating the research. It covered the sustainability dimensions (column on the left) and aspects presenting potential to evaluate performance in sustainability; they were compared to manufacturing processes on the lines (at the right).

3.3. Model evaluation, brainstorming

These are the respective aspect of each one of the sustainability dimensions based on the analysis of models: (a) environmental, (b) economic and (c) social evaluation. The following charts show results recorded for the assessed models, with emphasis on the models in the columns and on aspects on each line. The darkened cell highlight the model that assesses the respective aspect.

a) Environmental evaluation: Result in Table 3 is the Global Reporting Initiative – GRI model, which assesses environmental sustainability based on 18 items; 24 environmental aspects can be assessed.

The 18 addressed aspects of the GRI model were materials, power, water, emission and effluent, waste, suppliers, products and services, transportation, toxic materials, land, environmental management system, obedience to law enforcement, environmental infrastructure, local impact, biodiversity, ozone layer destruction and greenhouse emission gas effect. The 6 non-applicable aspects of the GRI model are packaging, impact to third parts, acidification, photochemical formation of ozone, energetic resources and minerals.

According to Phonphoton and Phario (2019), modeling is one of the most important provisions in a system and complex links are affected by the amount and quality of them. Therefore, it is quite important assessing aspects that make it possible minimizing their impacts.

Thus, aspects defined by the Global Reporting Initiative – GRI model will be used to assess environmental sustainability; this model was the parameter used to define the structure of the environmental procedure that will evaluate the conventional and flow drilling manufacturing processes.

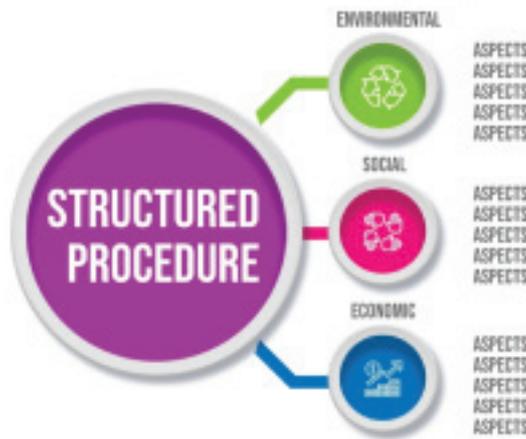


Fig. 9. Structured procedure organization chart.

b) Economic evaluation: Result in Table 4 is the model of the German Association of Engineers (VDI) used to evaluate the economic sustainability based on 13 items; in total, 32 economic aspects can be assessed.

The VDI model encompasses 13 aspects, namely: costs associated with warranties and obligations, value added to the product, operational results (sales), return to the social capital, return to the capital of third parts, return to investments, social capital, using capacities, failure and defects, expenses with research and development, current capital development, fixed capital development and view of external parts (stakeholders). The 19 non-applicable aspects of the VDI model are production costs, cost of capital, end-of-life costs (discharge), costs with staff absence, cost with the treatment of emissions, effluents and waste; costs equivalent to

environmental impacts, cost with mitigating environmental impacts, gains with income from good practices (recycling), stakeholders' intervention (business losses), liquid resources, investments (environmental), expenses with management and sales, expenses with training, liquidity and solvency, benefits from potential good practices (subsidies), participation in the market, contribution to GDP, total rates paid per region and country, and donations to community.

According to Bakchan and Faust (2019), results of model evaluations allow refining the accuracy of estimates. This methodology works as a guide to plan and coordinate management to reach economic gains.

Thus, aspects defined for the VDI model will be used to evaluate economic sustainability. This model was the parameter adopted to define the structure of the economic procedure that will evaluate the conventional and flow drilling manufacturing processes.

c) Social evaluation: Results of the sum in Table 5 show the highest scoring of the GRI model to assess social sustainability; it counts on 21 items; 29 social aspects can be assessed.

The 21 items held by the GRI aspects are labor legislation, health and safety, training and education, equity of opportunities (people with disabilities), fair labor practices and obedience to law enforcement, free association and collective bargain, number of employees, trainees and turnover; respect to children, respect to the rights of indigenous people, means to deal with human rights at work; offered culture, health and education; competition (accessible products and prices), development of policies for the generated impacts, means to fight bribing and corruption, products and services (claims and fees), health and safety (consumer), certifications of the obtained adequacies (labels), fulfillment of advertisement standards, actions focused on consumers' privacy, information sources (open audiences) and stakeholder empowerment. The 8 non-applicable aspects of the GRI model are the provided services (better infrastructure), respect to law enforcement and legislation, sensory stimuli (smell, noise), safety (impact on crime), economic and community prosperity, contribution to social

Table 3
Environmental dataset.

ASPECT	GRI	14031	LABU	ICHEME	VDI	FINCEL	THORES	OSTH	SCHWA	EPA	HAY	WBICSD	VEIEVA	AZAP	PMAIS	MASP
MATERIALS	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
ENERGY	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
WATER	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
EMISSIONS	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
EFFLUENT	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
RESIDUES	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
SUPPLIERS	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
PRODUCTS AND SERVICES	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
PACKAGING	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
TRANSPORTATION	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
TOXIC MATERIALS	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
RADIATION NOISE	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
EARTH OR SOIL	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
IMPACT ON THIRD PARTIES	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
A MANAGEMENT SYSTEMS	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
OBEDIENCE TO LAWS	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
INFRA ESTR. A.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
IMPACTO LOC.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
BIODIVERSITY	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
ACIDIFICATION	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
DESTRUCTION OF THE OZONE LAYER	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
GREENHOUSE EFFECT	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
PHOTOCHEMICAL OZONE FORMATION	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
REC. ENERG. M.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
SUM:	18	16	14	10	12	10	13	15	5	8	9	10	11	16	3	6

Source: Authors (2020).

Table 4
Economic dashboard.

ASPECT	GRI	1-4001	LABU	ICHEME	VDI	FIRSEL	THORES	QSTH	SCHWA	EPA	HAY	WBUSD	VEIEVA	AZAPACIC	PMAS	MASPI-III	
Production costs		•				•			•	•			•			•	
Capital Costs		•				•			•				•			•	
End-of-life costs (discard)						•			•				•			•	
Off Staff Costs						•			•				•			•	
Costs associated with guarantees and obligations						•			•				•			•	
Costs of emissions, effluents and waste treatment						•			•				•			•	
Equivalent costs of environmental impacts						•			•				•			•	
Costs to mitigate environmental impacts						•			•				•			•	
Good practice revenue gains (eg recycling)						•			•				•			•	
Stakeholder intervention (business loss)						•			•				•			•	
Value Added Product						•			•				•			•	
Operating income (sales)		•		•	•	•			•	•			•			•	
Net income				•	•	•			•	•			•			•	
Return on share capital		•		•	•	•			•	•			•			•	
Return on third-party capital		•		•	•	•			•	•			•			•	
Investments (eg environmental)				•	•	•			•	•			•			•	
Return on investments				•	•	•			•	•			•			•	
Adm. and sales expenditure						•			•				•			•	
Training expenses						•			•				•			•	
Liquidity and solvency				•	•	•			•	•			•			•	
Potential good practice benefits (Grants)		•		•	•	•			•	•			•			•	
Share capital						•			•				•			•	
Utilization capacity						•			•				•			•	
Rate of Faults and Defects						•			•				•			•	
Research and development expenses						•			•				•			•	
Current capital expenses						•			•				•			•	
Fixed capital expenses						•			•				•			•	
Vision before external parts				•	•	•			•	•			•			•	
Market share				•	•	•			•	•			•			•	
Contribution to GDP		•		•	•	•			•	•			•			•	
Total fees paid by region and country		•		•	•	•			•	•			•			•	
Community Donations				•	•	•			•	•			•			•	
SUM:		10	0	8	12	13	8	0	9	4	0	0	8	7	11	0	0

Source: Authors (2020).

cohesion, P&D actions to sustainable products and potential to influence the decision-making process.

According to Al-Salem et al. (2009), mitigating industrial solid waste means generating challenges and opportunities to society, regardless of its awareness of sustainability and technological development - it is necessary monitoring the relevant and applicable aspects. Aspects defined for the GRI model will be used to assess social sustainability; this model was the parameter adopted to define the structure of a social procedure that will evaluate the manufacturing process.

3.4. Specific structured procedure to evaluate manufacturing

After defining the aspects to measure sustainability based on the assessed models, the brainstorming was carried out by applying a questionnaire to mechanical, electric, civil and environmental engineering professionals in order to make an in-depth analysis and to identify aspects capable of measuring and quantifying the conventional and flow drilling manufacturing process, since they will compose the herein developed structured procedure. Thus, aspects defined in this stage set for each one of the dimension of sustainability are shown in Fig. 10.

The remaining non-selected aspects will not be part of the specific structured procedure to assess conventional and flow drilling manufacturing processes. An important detail of the economic aspect lies on their application to the conventional and flow drilling manufacturing process. The selected economic aspects could not be quantified in laboratory environment in order to check such a specific situation; therefore, it is necessary replacing it by the

following items:

- 1) Cost per hole conventional drilling ASTM A-36 (MQL and Dry);
- 2) Cost per hole conventional drilling STRENX 700 MCD (MQL and Dry);
- 3) Cost per hole drilling by flow ASTM A-36 (MQL and Dry);
- 4) Cost per hole drilling by flow STRENX 700 MCD (MQL and Dry).

Finally, the specific structured procedure to assess performance in sustainability used to compare the conventional and flow drilling manufacturing processes - resulting from the combination of environmental, social and economic dimensions of sustainability - to its respective aspects, which were identified in the models that were selected in the brainstorming stage (Fig. 11).

4. Discussions

4.1. Success factors of the specific structured procedure

The analysis about the contribution from studies resulting from the systematic literature review helped drawing some associations, namely: the specific structured procedure, which was developed to assess sustainability performance, brings beneficial consequences to processes in manufacture companies. According to Schrette et al. (2014), manufacture companies concern different economic sectors that can be classified into 15 subdivisions, such as food, machinery and equipment productions, as well as the production of chemicals, metallic products, among others. These sectors account for direct and indirect job positions; therefore, the structured

Table 5
Social dashboard.

ASPECT	GRI 14031	LABU	SCHEME	VDI	FKSEL	THORES	ORSTH	SCHWA	EPA	HAY	WBCSD	VEEVA	AZAPAGIC	PMAIS	MASP-HES	
Labor relations (eg, employee satisfaction)	●	●	●	●	●							●	●			
Health and safety (eg, accidents, illnesses)	●	●	●	●	●							●	●		●	
Training and education	●	●	●	●	●							●	●			
Equal opportunities	●	●	●	●	●							●	●			
Fair work practices and law enforcement	●	●	●	●	●							●	●			
Freedom of association and collective bargaining	●															
Number of employees, trainees and turnover	●		●	●								●				
Respect the child	●	●														
Respect for indigenous rights	●															
Means of dealing with human rights at work	●												●			
Culture, health and education offered	●	●										●				
Services offered (eg, better infrastructure)	●	●										●				
Compliance with laws and regulations	●	●														
Competition (eg, acceptable products and prices)	●				●											
Sensory stimuli (eg, odor, noise)	●	●														
Security (Impact on crimes)	●	●														
Prosperity Economy Community	●	●														
Contribution to social cohesion (eg equity)	●	●										●	●			
Policy development for impacts generated	●														●	
Means to combat corruption	●												●			
R & D actions for sustainable products	●	●											●			
Products and services (eg, claims, fines)	●				●											
Consumer health and safety	●				●											
Achievement certificates obtained, or labels	●															
Advertising standards and standards	●															
Consumer Privacy Actions	●															
Potential influence on decision	●	●										●	●			
Source of information (eg open hearings)	●	●														
Stakeholder empowerment	●	●														
SUM:	21	0	17	5	6	6	0	0	0	0	0	0	8	9	0	3

Source: Authors (2020).

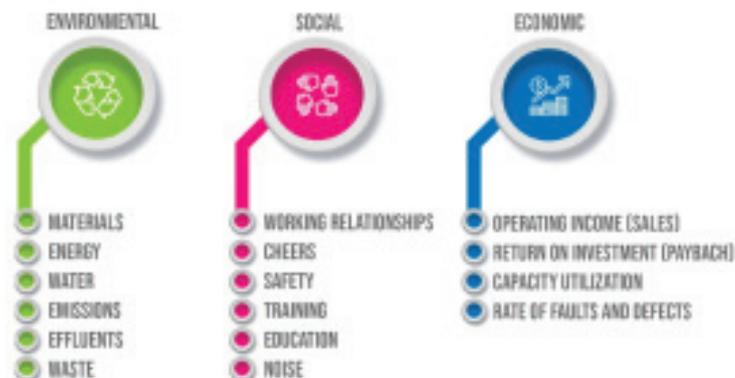


Fig. 10. Defined aspects for the Structure Procedure.

procedure was developed to allow industries to develop greener processes based on the three sustainability dimensions: social, economic and environmental.

The procedure can be adapted to any sector, and it points out the opportunity to deepen and detail the approach in the various areas of knowledge by featuring its different applications such as in products. According to De Medeiros et al. (2014), a sustainable environmental product must positively fulfil requirements from target-consumers. Based on Klemes (2015), manufacture is the very core of any industrialized nation; the manufacture level of a country is closely related to the quality of life of the population.

Saaty (1980) highlight the importance of production processes and technology applications as factors helping management practices. Filho et al. (2018) state that the awareness of services and commitment level affect environmental activities promoted by companies. Filho et al. (2018), Visseret et al. (2008), and De Medeiros et al. (2014) observed that the success of social research and of research conducted with stakeholders depends on the behavior analysis applied to users and experts, which can generate greater or lesser satisfaction. Jabbour (2008) and Jabbour et al. (2012) have evidenced companies' strategies essential for associations between organization sectors focused on reaching maturity levels and the

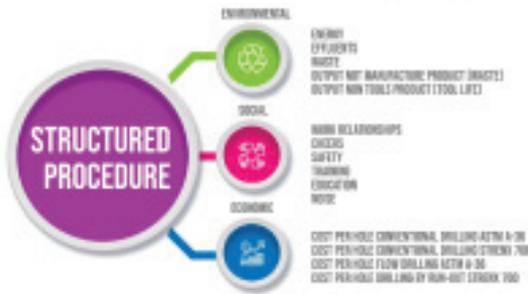


Fig. 11. Structured procedure.

possibility of overcoming challenges.

A test was run to assess the structured procedure; stakeholders were contacted by e-mail, they were professionals working in the manufacturing, industrial engineering and sustainability sectors. Interviewees were instructed to participate in the research and received the link to the software in order to weigh the criteria which are: environmental, social and economic and the thirteen subcriteria: Six sub-criteria for the Environmental dimension (Energy consumption, Solid waste production, Use of lubricating fluid in machining, Hydraulic fluid consumption, wear and tool life, Heating machining. Social Dimension five sub-criteria (Employee relationship at work, Employee health, Employee safety, Employee training, Employee exposure to sound pressure) Economic dimension two sub-criteria (Employee training cost, Cost R \$ per hole). The questionnaire was introduced in order to weigh the three criteria, and the 13 sub-criteria, based on the scale recommended by (SAATY, 1980).

The “Decisões + Simples” software, which was created by Salgado and collaborators (UNIFAL, 2019) was used to weigh the criteria. This web system facilitates and improves decision-making based on the AHP method.

The questionnaire was sent to 120 researchers in this field;

return rate reached 30% - weigh results are shown in Fig. 12:

Among the three dimensions of sustainability one can observe that the economic dimension was the highest one (37.72%), which was followed by the environmental (33.1%) and social ones (29.18%).

The outcomes observed in each previously assessed axis evidenced and validated the usefulness of the developed specific structured procedure.

Accordingly, it is possible observing that the specific structured procedure covers the dimensions of sustainability by assessing environmental, social and economic performances. This procedure can be applied in research based on the case study format, since it has the potential to relate benefits, challenges, critical aspects and factors of success to reality in a certain scenario. It helps identifying new factors that can be included in the environmental, social and economic dimensions of sustainability related to manufacturing processes, as well as highlights the evolution of the state of art and its contribution to bibliographic references by bringing technical and measurable contributions to companies, to the academia, research on the environmental field, and to sustainable process, product and service enhancement.

The development of the structured procedure would be another possibility for future studies related to “manufacture processes related to stakeholders’ sustainable behavior”. Products and processes managed by these professionals are developed to help companies achieve sustainability (Daae and Boks, 2015).

5. Conclusion

The aim of the present study was to develop a specific structured procedure to assess sustainability in conventional and flow drilling manufacturing processes by comparing them. The defined aspects were considered the most important ones based on the experiences of stakeholders; therefore, it is essential highlighting that the procedure was no longer fully implemented - a pilot project was developed in order to collect data about the monitored aspects based on the 3 dimensions of sustainability. The implementation and collection of information led to improvements in

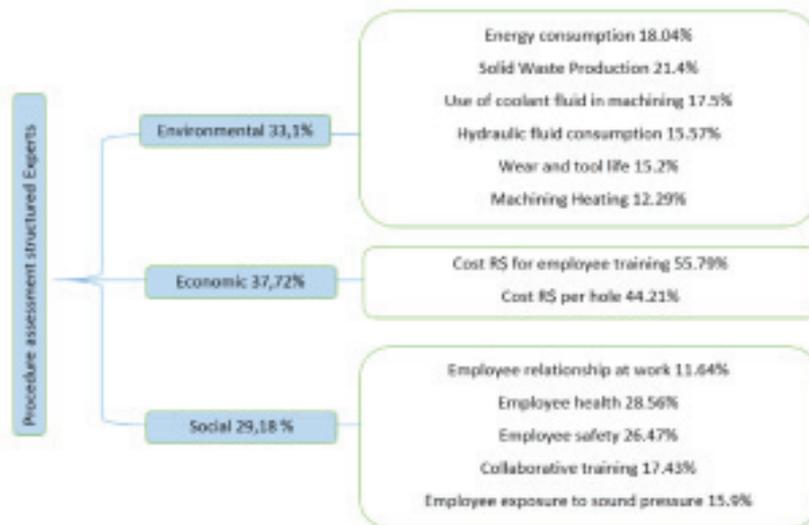


Fig. 12. Results of the application of the specific structured procedure applied in manufacturing processes of conventional drilling and flow drilling performed by stakeholders.

the way this procedure can be used in all industrial sectors, adapted to each situation and to its sustainability-assessment particularities. The experience in implementing the procedure aims at developing a framework that would make it possible for users to define the parameters and find results about what would be the most sustainable process. This finding would lead to faster responses; therefore, researchers account for installing input, development and validation experiments, as well as for results. Besides knowing about manufacturing processes, the methodology to develop the technique of multi-disciplinary actions has been developed through information exchange between researchers interested in the manufacturing field. They have been developing actions to improve sustainability, a fact that makes it possible finding good environmental, social and economic results, as well as adding technology to manufacturing processes.

Declaration of competing interest

Author declares no conflict of interest.

Acknowledgements

The authors thank the staff of the Mechanical Engineering Laboratory of UPF - University of Passo Fundo for their support during tests conduction in research development.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122404>.

References

- Al-saleem, S.M., Lettieri, P., Baeyens, J., 2009. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): a review. *Waste Manag.* 29, 2625–2643. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.06.004>.
- Araújo, J.B., 2010. Evaluation of Manufacturing Processes Considering Sustainability Parameters. USP, São Paulo.
- Balochan, A., Faan, M.K., 2019. Construction waste generation estimates of institutional building projects: leveraging waste handling tickets. *Waste Manag.* 87, 301–312. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.024>.
- Chia-Wei, H., Wen-H, L., Wei-C, C., 2013. Materiality analysis model in sustainability reporting: a case study at line-on technology corporation. *J. Clean. Prod.* 57, 142–151. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.040>.
- Duan, J., Boks, C., 2005. A classification of user research methods for design for sustainable behaviour. *J. Clean. Prod.* 106, 680–689. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.04.026>.
- De Medeiros, J.F., Ribeiro, J.L.D., Cortimiglia, M.N., 2014. Success factors for environmentally sustainable product innovation: a systematic literature review. *J. Clean. Prod.* 65, 76–86. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.08.035>.
- Filho, W.L., Raath, S., Lazzarini, B., Vargas, V.R., Souza, L., Anholon, R., Quehas, O.L.G., Hadaad, R., Klavira, M., Orlovic, L.V., 2018. The role of transformation in learning and education for sustainability. *J. Clean. Prod.* 199, 286–295. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.017>.
- Gamarrá, C., Guerrero, J.M., Monteiro, E., 2016. A Knowledge Discovery in Databases Approach for Industrial Microgrid Planning. Elsevier, Amsterdam.
- Ioannidis, I.N., Stefanos, I.M., 2016. A framework to measure eco-efficiency performance of firms through envas reports. *J. Sustainable. Prod. Consum.* 8, 32–44. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.06.003>.
- Jabbour, C.J.C., 2008. In the eye of the storm: exploring the introduction of environmental issues in the production function in Brazilian companies. *Int. J. Prod. Res.* 46 (1), 6215–6230. <https://doi.org/10.1080/002071707540802425401>.
- Jabbour, C.J.C., Santos, F.C.A., Fornsica, S.A., Nagano, M.S., 2012. Green teams: understanding their roles in the environmental management of companies located in Brazil. *J. Clean. Prod.* 46, 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.06.018>.
- Kildere, S., Zavadskas, E.K., Tamasiunas, J., 2014. Complex assessment model for advanced technology deployment. *J. Civ. Eng. Manag.* 20, 280–290. <https://doi.org/10.3846/13923730.2014.904833>.
- Klemes, J., 2015. Evaluating and Measuring Environmental Impact and Sustainability. Elsevier, Amsterdam.
- Magalhães, R.F., Danilevics, A.M.F., Palazzo, J., 2019. Managing trade-offs in complex scenarios: a decision-making tool for sustainability projects. *J. Clean. Prod.* 232, 447–460. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.12.023>.
- Martin-Gallén, A., González, G., Laurence, S.A., Adria, A., 2006. Enhanced data envelopment analysis for sustainability assessment: a novel methodology and application to electricity Technologies. *J. Comput. Chem. Eng.* 90, 198–200. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2016.04.022>.
- Mohr, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D.G., 2009. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis: the PRISMA statement. *PLoS Med.* 23. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>.
- Phosphatou, N., Pharis, C., 2019. A system dynamics modeling to evaluate flooding impacts on municipal solid waste management services. *Waste Manag.* 87, 525–536. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.036>.
- Rockwell Automation, 2019. Automation today. https://files.rockwellautomation.com/literature/5000/5000_datasheet/rockwellautomation/br/pdf/automation-today_30_pr.pdf. (Accessed 13 February 2020).
- Saaty, T.L., 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill International, New York, NY, USA.
- Schettini, S., Hinz, A., Rathje, M.S., Friedli, T., 2014. Turning sustainability into action: explaining firms' sustainability efforts and their impact on firm performance. *Int. J. Prod. Econ.* 147, 73–84. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.02.030>.
- Tranfield, D., Denyer, D., Smart, P., 2003. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *Int. J. Manag.* 14, 207–222. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>.
- Unifai, Federal University of Ailinas, 2019. Decisions + Simple. <https://www2.bcc.unifai-eg.edu.br/abp/registro.php?link=0dd4ab40fb2d925444d082b295b5c222>. (Accessed 6 December 2019).
- Vinodh, S., Jayakrishna, K., Kumar, V., Datta, R., 2013. Development of Decision Support System for Sustainability Evaluation: a Case Study. Springer.
- Zancopé, C.F., Enselin, L., Enselin, R.S., 2012. Construction of a model for evaluating corporate sustainability: a case study of the textile industry. *Geotêx Produção* 10, 303–321. <https://doi.org/10.1590/S0104-5302012000200006>.

Leandro Dóris Tagliari: Major degree in Mechanical Engineering at Passo Fundo University, Supervisor of the Mechanical technology Center of Passo Fundo University, Mechanical Engineering expert, with emphasis on manufacturing processes, expert in Production and Manufacturing Engineering, Master Degree in Infrastructure and Environment Engineering and Professor at Passo Fundo University in the Mechanical Engineering, Production Engineering Technology in Mechanical Manufacture.

Adalberto Pandolfic: Major Degree in Civil Engineering at Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul, Master's Degree in Production Engineering Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro and PhD in Production Engineering at Federal University of Santa Catarina, Full professor at Passo Fundo University, working at the Post-Graduation Program in Engineering as well as in the undergraduate courses in Civil Engineering and Environmental Engineering, Expert Production Engineering, with emphasis on Product Development, Nowadays developing research on the following topic: quality in civil construction, quality assurance systems, value analysis, project evaluation and process management.

Rodrigo Passoso Zellmanec: Major Degree in Mechanical e Engineering at Passo Fundo University, a Master's Degree in Mechanical Engineering at Federal University of Santa Catarina and PhD (sandwich-doctorate) in Mechanical Engineering Federal University of Santa Catarina and RWTH-Aachen, Research Professor at Casas do Sul University, Expert in Mechanical Engineering, with emphasis on Manufacturing Processes, currently working on the following topics: machining, drilling, milling, HSM milling, turning, machining with fluid reduction lubricants, dry machining, surface and subsurface quality, micro-geometry, cutting tools edge cutting, manufacturing cost reduction and quality machined components.

APÊNDICE B – Artigo em fase final de correção**EFFECTO DE DIFERENTES CONDICIONES DE TRABAJO Y PARÁMETROS
SOBRE LAS PROPIEDADES DEL ACERO STRENX 700 MCD Y EL ACERO ASTM
A-36 EN EL PROCESO DE PERFORACIÓN DE FLUJO**

Leandro Dóro Tagliari, Adalberto Pandolfo y Rodrigo Panosso Zeilmann

RESUMEN:

Los aceros de alta resistencia y bajo contenido de carbono, como el STRENX 700 MCD y ASTM A-36, combinan alta resistencia y alta ductilidad. Sin embargo, cuando se usa en el proceso de perforación de flujo donde hay una herramienta de trabajo de alta velocidad que se presiona contra la superficie del material a perforar, se genera fricción entre la herramienta y el material de la lámina, condiciones son desconocidos en el estado de la técnica y varían para cada material utilizado y dependen del estado inicial del material base y pueden producirse cambios en los parámetros de trabajo debido a la entrada térmica generada en el orificio de flujo. Esta variabilidad presenta pérdida de resistencia mecánica para la misma deformación en comparación con el trabajo en frío. Sin embargo, deben entenderse los efectos de la alimentación y la rotación sobre las propiedades mecánicas de los materiales. Por lo tanto, los parámetros definidos para los materiales fueron velocidades de alimentación de 200.250 y 300 mm / minutos, rotaciones de 1500, 2000 y 2500 rpm, con MQL y sin enfriamiento (Seco) y los análisis se realizaron mediante dureza en la sección transversal de la articulación y ZTMA. Cabe señalar que el refrigerante lubricante afectó los valores de dureza y el uso de la técnica MQL presentó valores de dureza más altos y para el material STRENX 700 MCD se obtuvo un ZTMA más alto en Seco. Esto se debe al mayor contenido de los elementos de aleación presentes en este material.

Introducción

El proceso de perforación de flujo está dirigido a perforar agujeros en láminas delgadas o partes delgadas y, aunque no es una tecnología reciente, ya que los intentos de perforar agujeros por la fuerza de fricción se remontan a 1923, todavía está en desarrollo. y este proceso se puede realizar tanto en máquinas convencionales de avance, máquinas CNC y robots. En ambos, se utiliza una herramienta de geometría especial con la función de resistir las condiciones adversas del proceso y poder conformar el plástico, o incluso fusionar superficialmente las placas. Obtener un agujero sin eliminar el material en forma de viruta, lo que lo convierte en un proceso más sostenible (LOPES, 1994).

Actualmente busca reducir el peso de las estructuras en proyectos de ingeniería. Por lo tanto, los materiales con alta resistencia y características mecánicas de baja aleación presentadas por los aceros HSLA son una alternativa muy atractiva porque presentan esta combinación de alta resistencia mecánica, buena ductilidad (KOO et al., 2003).

En este contexto, estos aceros estructurales que se producen por control de laminado termomecánico TMCR con ciclos de calentamiento y enfriamiento, tienen una alta resistencia mecánica junto con una excelente tenacidad del material junto con la microadición de refinadores de grano y formadores de precipitados. Debido a estas características, estos aceros se aplican ampliamente en la fabricación de maquinaria pesada como camiones, cucharones y quitanieves (CBCA, 2018).

Según Eckhardt (2003), las pruebas de resistencia en los casquillos fluidos han presentado mejores resultados en comparación con los agujeros hechos por el mecanizado. Esta diferencia puede atribuirse a los cambios en las microestructuras relacionadas con la transformación de fase, la recuperación, la recristalización y el refinado de granos en la perforación de flujo. Estas transformaciones microestructurales, como en otros procesos de formación, varían para cada material utilizado y dependen en gran medida del estado inicial del

material. -basificación, condiciones y parámetros de trabajo y espesor de la placa, que determinan los niveles de deformación y energía térmica aplicada durante el proceso. Una de las mayores innovaciones presentadas en los últimos años como una mejora en el proceso de fabricación de materiales es el concepto EcoUpgraded Material Replacement que tiene como objetivo identificar aplicaciones que prometen reducir las emisiones de CO₂ durante el uso. Si el peso y la capacidad son una característica del diseño, el diseño para la mayor capacidad también contribuye a la economía. La optimización del material es muy importante para mejorar el rendimiento. Además, el uso de un material con propiedades capaces de reducir el desgaste y garantizar la resistencia deseada contribuirá a una vida útil más larga del equipo (SSAB, 2017).

Sin embargo, para garantizar tales beneficios de material en el proceso de perforación de flujo depende de las condiciones y parámetros de trabajo y el grosor de la placa y la microestructura de estos materiales debido a la entrada térmica de la perforación de flujo. Este estudio investiga los efectos de dos condiciones de fabricación no lubricantes y MQL (lubricante mínimo) para los aceros STRENX 700 MCD y ASTM A-36. El objetivo principal y el objeto de estudio es analizar la variación de las propiedades mecánicas para diferentes condiciones de fabricación, evaluando y correlacionando los resultados del análisis de perfil de microdureza, micrografía y zona afectada térmica y mecánicamente (ZTMA), correlacionando los resultados mediante la aplicación de la prueba T estadísticamente. estudia y obtiene los mejores parámetros de fabricación para la perforación de flujo caracterizándolos como novedosos y puede aplicar los parámetros en diversos segmentos industriales.

PALABRAS CLAVE / Perforación de flujo, ASTM A-36, STRENX 700 MCD, Seco, MQL, Microdureza, ZTA - Zona afectada térmicamente por el calor.

Leandro Dóro Tagliari Magister en ingeniero mecánico de la Universidad del Passo Fundo, Brasil. E-mail: leandrotagliari@upf.br

Adalberto Pandolfo Doctor en ingeniero civil, trabajando en el Programa de Posgrado en Ingeniería, Actualmente es profesor titular en la Universidad del Passo Fundo, Brasil. E-mail: pandolfo@upf.br

Rodrigo Panosso Zeilmann Doctor en ingeniero mecánico de la Universidad de Caxias do Sul, Brasil. E-mail: rpzeilma@ucs.br

EFFECT OF DIFFERENT WORKING CONDITIONS AND PARAMETERS ON THE PROPERTIES OF STRENX 700 MCD STEEL AND ASTM A-36 STEEL IN THE FLOW DRILLING PROCESS

Leandro Dóro Tagliari, Adalberto Pandolfo and Rodrigo Panosso Zeilmann

SUMMARY:

High strength, low carbon steels such as the STRENX 700 MCD and ASTM A-36 combine high strength and high ductility. However, when used in the flow drilling process where there is a high speed working tool that is pressed against the surface of the material to be drilled, friction is generated between the tool and the sheet material, resulting in conditions are unknown in the state of the art and vary for each material used and depend on the initial state of the base material and the working parameters changes may occur due to the thermal input generated in the flow hole. This variability presents loss of mechanical strength for the same deformation when compared to cold work. However, the effects of feed and rotation on the mechanical properties of STRENX 700 MCD and ASTM A-36 materials need to be understood. Thus, the parameters defined for STRENX 700 MCD and ASTM A-36 materials were feed speeds of 200, 250 and 300mm / minutes, rotations of 1500, 2000 and 2500 rpm, with MQL (minimum amount of fluid) and no cooling (Seco) and analyzes were performed through

hardness in the cross section of the joint and ZTMA (Thermally and mechanically affected zone). It is noteworthy that the lubricant affected the hardness values and the use of the MQL technique presented higher hardness values and for the material STRENX 700 MCD a higher ZTMA was obtained Seco. This is due to the higher content of the alloying elements present in this material.

**EFEECTO DE DIFERENTES CONDICIONES DE TRABAJO Y PARÁMETROS
SOBRE LAS PROPIEDADES DEL ACERO STRENX 700 MCD Y EL ACERO ASTM
A-36 EN EL PROCESO DE PERFORACIÓN DE FLUJO**

Leandro Dóro Tagliari, Adalberto Pandolfo y Rodrigo Panosso Zeilmann

RESUMO:

Os aços de alta resistência e baixo carbono, como o STRENX 700 MCD e o ASTM A-36, combinam alta resistência e grande ductilidade. No entanto, quando utilizados no processo de furação por escoamento onde tem-se uma ferramenta que trabalha em alta rotação que é pressionada contra a superfície do material que será perfurado, gera-se atrito entre a ferramenta e o material da chapa, resultando em condições desconhecidas no estado da arte e que varia para cada material utilizado e dependem do estado inicial do material-base e dos parâmetros de trabalho pode ocorrer alterações devido ao aporte térmico gerado na furação por escoamento. Esta variabilidade apresenta perda de resistência mecânica para a mesma deformação quando comparado com o trabalho a frio. No entanto, os efeitos do avanço e da rotação nas propriedades mecânicas dos materiais STRENX 700 MCD e ASTM A-36 precisam ser entendidas. Assim, os parâmetros definidos para os materiais TRENX 700 MCD e ASTM A-36 foram velocidades de avanço de 200,250 e 300mm/minutos, rotações de 1500, 2000 e 2500 rpm, com MQL (mínima quantidade de fluido) e sem lubrificarrefrigerante (à Seco) e foram realizadas análises através de dureza na seção transversal da junta e ZTMA (Zona termicamente e mecanicamente

afetada). É possível destacar que o lubrificante afetou os valores de dureza e o uso da técnica MQL apresentou maiores valores de dureza e para o material STRENX 700 MCD obteve-se maior ZTMA à Seco. Isso é devido ao maior conteúdo dos elementos de liga presentes neste material.

Metodologia

El proceso metodológico para realizar la investigación sigue el diagrama de flujo que se puede ver en la Figura 1:

Parámetros de mecanizado

La selección de las condiciones de trabajo, como la rotación (n), las velocidades de alimentación (Vf) y el fluido lubricante se basó en los parámetros definidos en las tablas prácticas proporcionadas por el fabricante de la herramienta. La Tabla 1 presenta las condiciones y parámetros utilizados en este trabajo:

Con respecto a la aplicación de refrigerante lubricante durante el proceso, se decidió utilizar fluido compuesto de aceite semisintético y agua, con 80% de agua y 20% de aceite, aplicado por el método de atomización (MQL) en la pieza y la herramienta con un caudal controlado 0.0189 l/ min. El método de aplicación es notable porque es una tendencia global y una realidad en muchos lugares Del mundo, con el objetivo de reducir el desperdicio y los costos en la aplicación del fluido y lograr una fabricación más sostenible.

Cuerpos de prueba

Las muestras utilizadas para realizar las pruebas fueron hechas de placas de acero estructural, STRENX 700 MCD y ASTM A-36, con dimensiones predefinidas, 150 mm x 50 mm x 3,0 mm. La selección y el grosor del material se realizaron en función de su amplio uso por parte de la industria metalmeccánica en general.

Macrografía (ZTMA)

El propósito principal es conducir a una mejor comprensión del proceso midiendo la longitud de la zona afectada térmica y mecánicamente (ZTMA). La Figura 2 muestra en detalle la medición de la zona afectada térmica y mecánicamente por el proceso.

Microdureza

Para determinar la dureza en la región del casquillo formada por el proceso de perforación de flujo, fue necesario utilizar el microdurómetro Shimadzu HMV - G 205T, la Figura 3 (A) y la Figura 3 (B) presentan las muescas realizadas: Las muestras se colocaron en la mesa de microdurómetro, utilizando indentadores de 0,2 mm y una carga de 300 gramos durante 15 segundos. Las hendiduras se desarrollaron desde la zona afectada mecánica y térmicamente (ZMTA) hasta el metal base, como se muestra en la Figura 3 (B). Se realizaron tres líneas de mediciones para obtener la variación de dureza que sufre el material en función de la severidad del proceso, buscando relacionar los valores encontrados con los diferentes parámetros de trabajo evaluados.

ZTMA x correlación de microdureza

La correlación a través de comparaciones entre técnicas permite obtener los parámetros más favorables y menos favorables para su uso en escalas de producción. Este análisis representa la evaluación de los resultados.

Prueba T de comparación estadística

La comparación estadística usando la prueba "T" se usa para comparar poblaciones independientes y normalmente distribuidas. La investigación utilizó para obtener la información cuantificable de la dureza más alta y la ZTMA más alta (zona afectada térmica y mecánicamente), las dispersiones más grandes, lo que permite correlacionar y obtener los

mejores resultados para los parámetros estudiados.

Resultados

Macrografía (ZTMA)

Los resultados obtenidos de la medición de la longitud de la zona afectada térmica y mecánicamente (ZTMA) por el proceso de perforación de flujo para STRENX 700 MCD en Seco y MQL se muestran en la Figura 4 (A) y la Figura 4 (B):

En el análisis de la tabla de Pareto presentada en la Tabla 1, la Condición 1 en seco, 2500 RPM y 200 mm / min tiene la zona más afectada térmicamente y mecánicamente (ZTMA), aproximadamente 1.32 mm. La condición 1 MQL, 2500 RPM y 200 mm / min tiene una longitud más larga, aproximadamente 0,87 mm. Los resultados obtenidos de la medición de la longitud de la zona afectada térmica y mecánicamente (ZTMA) por el proceso de perforación de flujo para el material ASTM A-36 en Seco y MQL se presentan en la Figura 5 (A) y la Figura 5 (B):

La condición 1 para secar, 2500 RPM y 200 mm / min tiene la zona más afectada térmicamente y mecánicamente (ZTMA), aproximadamente 1.016 mm. La condición 3 MQL, 2500 RPM y 200 mm / min tiene una longitud mayor de 0,79 mm. Para comparar el ZTMA de STRENX 700 MCD con Seco con MQL en la condición 1, el análisis estadístico se realizó mediante la prueba “T”. La Figura 6 (A) y la Figura 6 (B) muestran el diagrama de dispersión ZTMA para el material STRENX 700 MCD en la condición 1 en comparación con Seco con MQL:

La figura 7 (A) condición 1 tiene la mayor dispersión de MQL. En la Figura 6 (B), la zona afectada térmica y mecánicamente (ZTMA) para la condición 1 es mayor en la condición Seca (1,320). Al comparar el ZTMA de STRENX 700 MCD con Seco con MQL en la condición 2, el análisis estadístico se realizó mediante la prueba “T”. El diagrama de dispersión ZTMA para el material STRENX 700 MCD en la condición 2 en comparación con Seco con MQL En la Figura 7 (A) y la Figura 7 (B),

La Figura 7 (A) Condición 2 tiene la mayor dispersión en seco. En la Figura 8 (B), la zona afectada térmica y mecánicamente (ZTMA) para la condición 2 es mayor en Seco (0.890). Al comparar el ZTMA de STRENX 700 MCD con Seco con MQL en la condición 3, el análisis estadístico se realizó mediante la prueba “T”. Muestran el diagrama de dispersión ZTMA para el material STRENX 700 MCD en la condición 3 en comparación con Seco con MQL La Figura 8 (A) y la Figura 8 (B)

Figura 8 (A) La condición 3 tiene la mayor dispersión de MQL. En la Figura 8 (B), la zona afectada térmica y mecánicamente (ZTMA) para la condición 3 es más grande en seco (0.7250). En la comparación de ASTM A-36 ZTMA a Seco con MQL en la condición 1, el análisis estadístico se realizó mediante la prueba “T”. Muestran el diagrama de dispersión ZTMA para el material ASTM A-36 en la condición 1 en comparación con Seco con MQL la Figura 9 (A) y la Figura 9 (B)

Figura 9 (A) La condición 1 tiene la mayor dispersión en seco. En la Figura 9 (B), la zona afectada térmica y mecánicamente (ZTMA) para la condición 1 es mayor en seco (1.0160). En la comparación de ASTM A-36 ZTMA a Seco con MQL en la condición 2, el análisis estadístico se realizó a través de la prueba “T”. Muestran el diagrama de dispersión ZTMA para el material ASTM A-36 en la condición 2 en comparación con Seco con MQL la Figura 10 (A) y la Figura 10 (B).

Figura 10 (A) La condición 2 tiene la mayor dispersión de MQL. En la Figura 10 (B), la zona afectada térmica y mecánicamente (ZTMA) para la condición 2 es un MQL más alto (0.7080). Al comparar ZTMA de ASTM A-36 a Seco con MQL en la condición 3, el análisis estadístico se realizó mediante la prueba “T”. Muestran el diagrama de dispersión ZTMA para el material ASTM A-36 en la condición 3 en comparación con Seco con MQL la Figura 11 (A) y la Figura 11 (B).

En la Figura 11 (B), la (ZTMA) para la condición 3 es un MQL más alto (0.7900).

Microdureza

Con respecto a la dureza, la prueba de dureza Vickers se realizó con el microdurómetro y los resultados para el material STRENX 700 MCD en Seco y MQL se presentan en la Figura 12 (A) y la Figura 12 (B):

Seco: Para la condición 1, las hendiduras realizadas cerca de la zona afectada térmica y mecánicamente tienen valores más bajos que las hendiduras más lejanas, que presentan los valores más altos. El material STRENX 700 MCD, en funcionamiento en seco y en condición 1, presenta la mayor variación de dureza. En la condición 2 tienen valores más bajos en comparación con las hendiduras más lejanas, pero la variabilidad entre ellas es menor que la condición 1. En la condición 3, nuevamente las sangrías cercanas a (ZTMA) muestran los valores más bajos, sin embargo, las sangrías más lejanas no tienen los valores más altos.

MQL: En la condición 3, la variación de la dureza es muy pequeña en las hendiduras hechas más lejos en la zona afectada térmica y mecánicamente (ZTMA). La sangría realizada cerca (ZTMA) presentó el valor más bajo. Para las condiciones 1 y 2, el valor más bajo encontrado también estaba en la sangría más cercana a (ZTMA), pero para estas condiciones los valores de dureza aumentan de manera más uniforme y no repentina como en la condición 3. En la comparación del material STRENX 700 MCD con Seco con MQL en la condición 1, para la microdureza, se realizó un análisis estadístico utilizando la prueba “T”. En la Figura 13 (A) y la Figura 13 (B), el gráfico de dispersión y dureza del material STRENX 700 MCD en la condición 1 en comparación con Seco con MQL. La condición 1 tiene la mayor dispersión en seco. En la Figura 13 (B) la dureza más alta para la condición 1 es un MQL más alto (288.7 HV).

Al comparar STRENX 700 MCD con material Seco con MQL en la condición 2, el análisis estadístico se realizó mediante la prueba “T”. Muestran el diagrama de dispersión de las pruebas para el material STRENX 700 MCD en la condición 2 en comparación con Seco con MQL la Figura 14 (A) Y la Figura 14 (B).

Figura 14 (A) La condición 2 tiene la mayor dispersión en seco. En la Figura 14 (B) la dureza más alta para la condición 2 es un MQL más alto (284.9 HV). Al comparar el material STRENX 700 MCD con el material Seco con MQL en la condición 3, el análisis estadístico se realizó mediante la prueba “T”. En la Figura 15 (A) y la Figura 15 (B), el diagrama de dispersión de las pruebas para el material STRENX 700 MCD en la condición 3 en comparación con Seco con MQL.

La Figura 15 (A) condición 3 tiene una mayor dispersión de MQL. En la Figura 15 (B) la dureza más alta para la condición 3 es mayor seco (287.8 HV). Con respecto a la dureza, se realizó la prueba de dureza Vickers y los resultados para el material ASTM-A36 Seco y MQL se presentan en la Figura 16 (A) y la Figura 16 (B):

Seco: La condición 1 tiene el mayor valor de dureza cerca de la zona afectada térmica y mecánicamente (ZTMA). Para la condición 2, el valor de dureza más alto se encuentra en el ZTMA, las hendiduras realizadas en regiones más alejadas del ZTMA no muestran una gran variabilidad. En la condición 3, el valor de microdureza más alto sigue siendo el más cercano a la ZTMA, en esta condición los valores de sangría más alejados de la ZTMA caen uniformemente desde la segunda sangría.

MQL: En las condiciones 1 y 2, se observan valores de dureza uniformes. La sangría 1 para las tres condiciones presenta valores de dureza más altos. Las otras hendiduras disminuyen de manera uniforme. Para la condición 3, donde se encuentran los valores más altos de microdureza, el comportamiento sigue siendo similar. En esta condición, el perfil de microdureza es más uniforme, con una simetría en la disminución de la magnitud desde la primera sangría, que se encuentra en el ZTMA. Se observa que cuando se compara el material ASTM A - 36 con Seco y MQL, en la operación Seco la mayor variación de dureza está en la condición 1. En la operación MQL, la mayor variación de dureza está en la condición 3 y se observa una mayor uniformidad de la dureza. dureza en la operación MQL. En la comparación

de ASTM A-36 con el material Seco con MQL en la condición 1, el análisis estadístico se realizó mediante la prueba “T”. La Figura 17 (A) y la Figura 17 (B) muestran el diagrama de dispersión de los ensayos para el material ASTM A-36 en la condición 1 en comparación con Seco con MQL. Figura 17 (A) La condición 1 tiene la mayor dispersión en seco. En la Figura 17 (B) la dureza más alta para la condición 1 es mayor en seco (179.1 HV). En la comparación del material ASTM A-36 con Seco con MQL en la condición 2, el análisis estadístico se realizó mediante la prueba “T”. La Figura 18 (A) y la Figura 18 (B) muestra el diagrama de dispersión de las pruebas para el material ASTM A-36 en la condición 2 que compara Seco con MQL. La Figura 18 (A) condición 2 tiene una mayor dispersión de MQL. En la Figura 18 (B) la dureza más alta para la condición 2 es mayor en seco (173.54 HV). Al comparar ASTM A-36 con material Seco con MQL en la condición 3, el análisis estadístico se realizó mediante la prueba “T”. La Figura 19 (A) Y la Figura 19 (B) muestran el diagrama de dispersión de los ensayos para el material ASTM A-36 en la condición 3 en comparación con Seco con MQL. La Figura 19 (A) condición 3 tiene una mayor dispersión de MQL. En la Figura 19 (B) la dureza más alta para la condición 3 es un MQL más alto (187.3 HV).

Dureza y correlación ZTMA:

La tabla 2 muestra la correlación entre la dureza y los resultados de ZTMA para los parámetros del proceso de perforación de flujo investigado. El análisis de la Tabla 2 muestra que para el material ASTM A-36, Seco en la condición 1 (2500 rpm x 200 mm / min) tenía la mayor dureza (179.1 HV) y la ZTMA más alta (1.016). El material ASTM A-36 MQL en la condición 3 (1500 rpm x 300 mm / min) tenía la mayor dureza (187.3 HV) y la ZTMA más alta (0.79). Para el material STRENX 700 MCD, Seco en la condición 1 (2500 rpm x 200 mm / min) tenía la dureza más baja (264.6 HV) y la ZTMA más alta (1.32). El material STRENX 700 MCD MQL en la condición 1 (2500 rpm x 200 mm / min) tuvo la mayor dureza (288.7 HV) y la ZTMA más alta (0.87).

Prueba T de comparación estadística

La Tabla 3 a continuación presenta la comparación estadística entre los materiales ASTM A-36 y STRENX 700 MCD, analizando la condición seca y MQL para ZTA:

Analizando la Tabla 3, para el material STRENX 700 MCD a Seco presenta mayor ZTMA (condición 1), considerado más severo por presentar mayor rotación y avance. El ZTMA es directamente proporcional a la rotación en condición seca para el acero STRENX 700 MCD, es decir, aumenta la rotación aumenta el ZTMA (debido a la entrada térmica). El ZTMA es directamente proporcional a la rotación en condición MQL para el acero STRENX 700 MCD, es decir, al aumentar la rotación aumenta el ZTMA (debido a la entrada térmica). Para el material ASTM A-36 MQL, el parámetro 2500 RPM y 200 mm / min (condiciones 2 MQL) y el parámetro 1500 RPM y 300 mm / min (condición 3 MQL) tienen un ZTMA más alto (debido a la entrada térmica). La Tabla 4 a continuación presenta la comparación estadística entre los materiales ASTM A-36 y STRENX 700 MCD, analizando las condiciones Dry y MQL para la dureza:

En la Tabla 3, los parámetros de rotación más altos (condición 1 y 2) para el material STRENX 700 MCD MQL tienen mayor dureza. La condición 3 (1500 rpm y Vf 300 mm / mm) para el material STRENX 700 SECO tenía una mayor dureza (287.8 HV).

Las condiciones 1 y 2 para el material ASTM A-36 Seco presentaron mayor dureza (179.1 HV y 173.54 HV). La condición 3 (1500 rpm y Vf 300 mm / mm) para el material ASTM A-36 MQL tuvo la mayor dureza (187.3 HV).

Discusión

Al estudiar los efectos de diferentes condiciones de trabajo y parámetros sobre las propiedades del acero STRENX 700 MCD y el acero ASTM A-36 en el proceso de perforación, se puede verificar que: - La aplicación de refrigerante lubricante a través de la técnica MQL permitió una mayor dureza para el material STRENX 700 MCD y una mayor ZTMA para el

material ASTM A-36; - Usando la misma condición de rotación (rpm) y velocidad de alimentación (Vf) para el material STRENX 700 MCD, se obtuvo una ZTMA más alta en Seco. Esto se debe al mayor contenido de elementos de aleación presentes en STRENX 700 MCD (contenido de Si, Mn, Cr, Cu, Nb, Ti, W) y una mayor dureza con enfriamiento por lubricación MQL debido a la entrada térmica; - Los valores de dureza en los diferentes parámetros (condiciones 1, 2 y 3) para los materiales STRENX 700 MCD y ASTM A-36 están influenciados por la forma de enfriamiento más abrupto o suave a través de las técnicas Seco y MQL. Para el material STRENX 700 MQL en el parámetro rpm2500 y vf 200 (condición 1) se obtuvieron los valores de dureza más altos (288.7 HV); - El enfriamiento del lubricante afectó los valores de dureza y el uso de la técnica MQL presentó valores de dureza más altos. - Hubo un mejor acabado superficial para los materiales STRENX 700 MCD y ASTM A-36 a Seco en comparación con la técnica de lubricación-enfriamiento MQL;

6 REFERÊNCIAS

Cbca (2014) Centro Brasileño de Construcción de Acero. www.cbca-acobrasil.org.br, Disponible en: <http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construction-in-aco-acos-structural.php> >. Acceso en: 26-de agosto de 2018. Res 1: 1-2

Eckhardt M (2003) Relación entre proceso, microestructura y propiedades mecánicas en la perforación por flujo de acero con bajo contenido de carbono. *Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Res 1: 1-208*

Industria ssab (2017) Actualice y ahorre en emisiones de CO2 con el concepto Ssab Eco Upgraded Disponible en: <https://www.ssab.com/products/brands/strenx/customer-cases/#StrenxEcoCases>. Acceso en: 26-de junio 2017. Res 1: 1-2

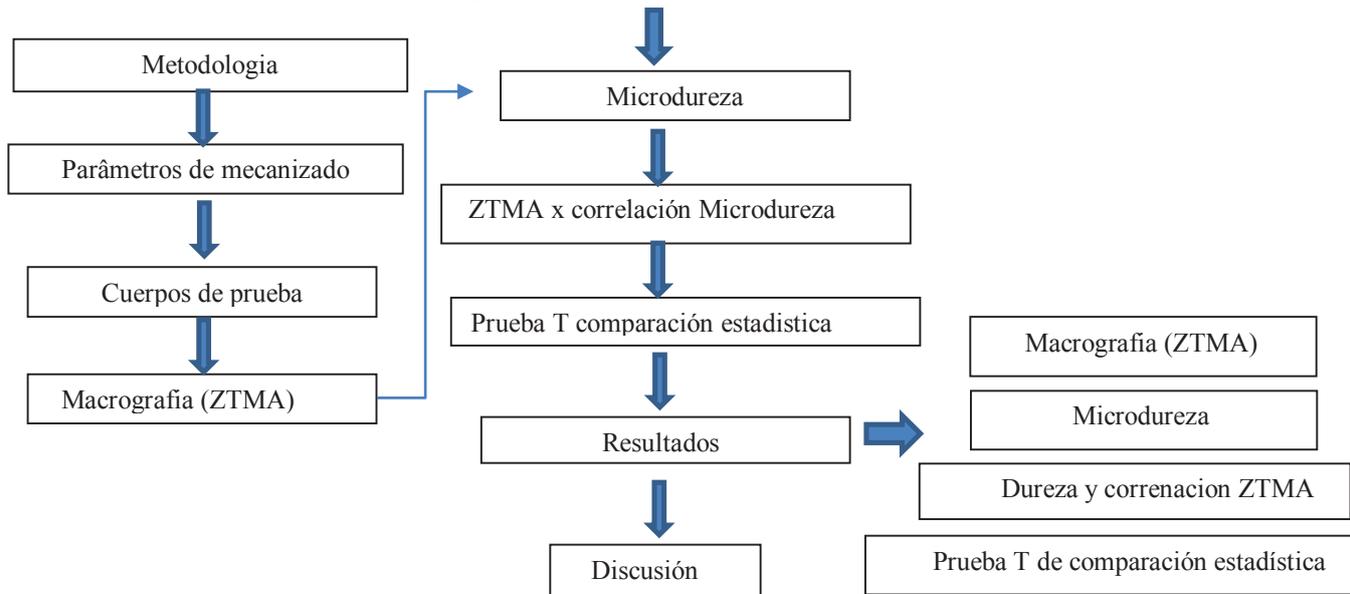
Koo JY, Luton MJ, Bangaru NV, Petkovic RA (2003) Diseño metalúrgico de aceros de ultra alta resistencia para gasoductos. *Conferencia internacional de ingeniería offshore y polar. ISBN*

1-880653-60-5 (septiembre); ISSN 1098-6189 (septiembre), Honolulu, Hawái. Res 14: 1-9

Lopes JCO (1994) Tapping y Tapping. *Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis.*

Res 1: 1-193

Figura 1: Diagrama de flujo de actividades desarrolladas.



Fuente: Autores, (2019).

Figura 2: Macrografia (ZTMA).



Fuente: Autores, (2019).

Figura 3: Prueba de microdureza.

(a): Microdurómetro utilizado.

(b): Hendiduras realizadas.

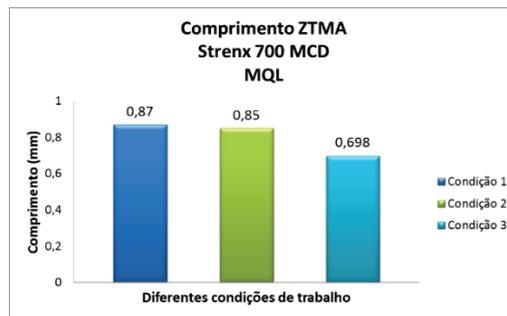
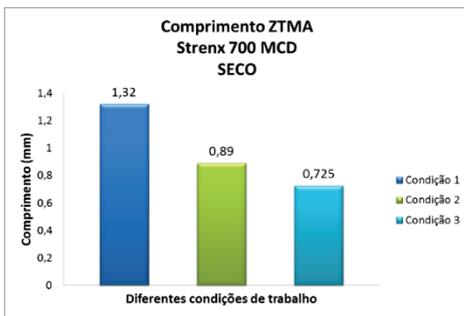


Fuente: Autores, (2019).

Figura 4: Proceso de perforación en seco de longitud ZTMA y MQL STRENX 700 MCD:

(A) Dry Strenx 700 MCD

(B) MQL Strenx 700 MCD

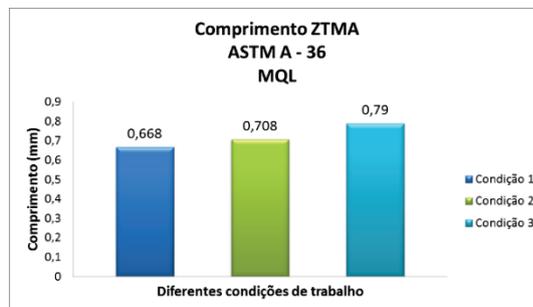
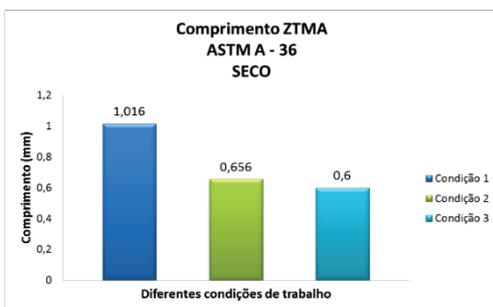


Fuente: Autores, (2019).

Figura 5: Perforación en seco de longitud ZTMA y proceso MQL ASTM A-36:

(A) Seco ASTM A-36

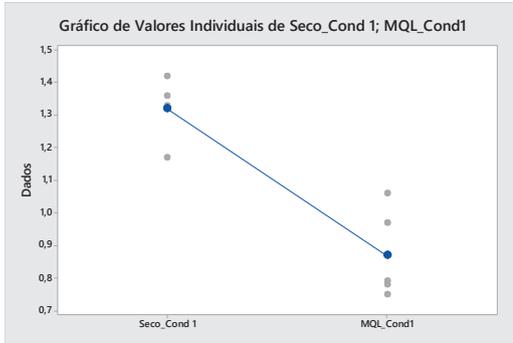
(B) MQL ASTM A-36



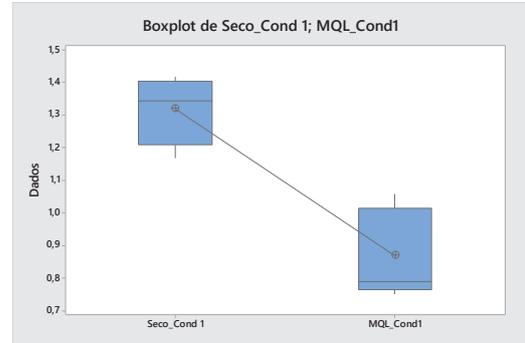
Fuente: Autores, (2019).

Figura 6: Condición 1 diagrama de dispersión

(A) Secar con MQL Strenx 700 MCD



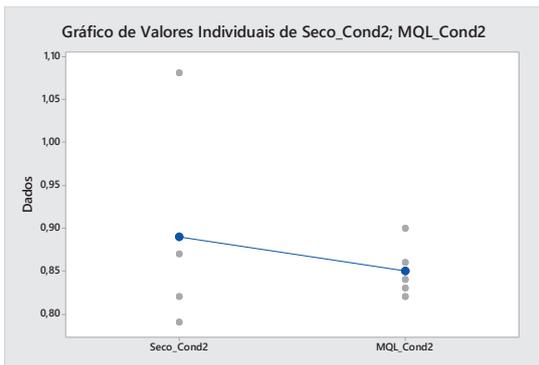
(B) Secar con MQL Strenx 700 MCD



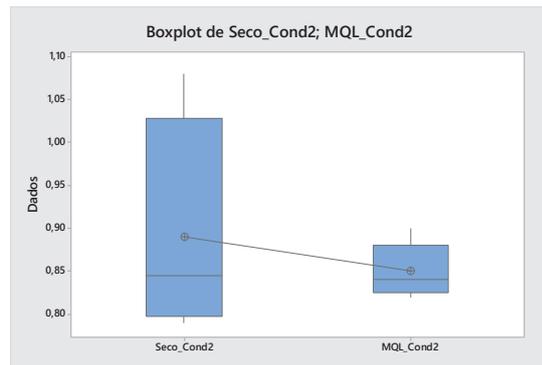
Fuente: Autores, (2019).

Figura 7: Condición de diagrama de dispersión 2:

(A) Secar con MQL Strenx 700 MCD



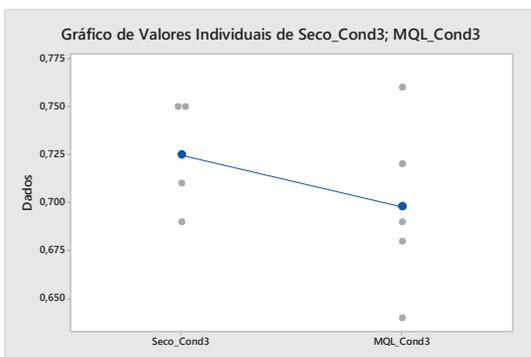
(B) Secar con MQL Strenx 700 MCD



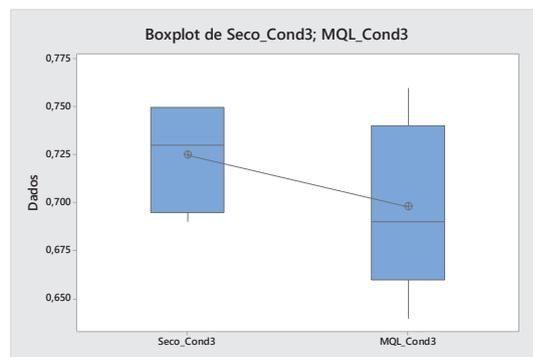
Fuente: Autores, (2019).

Figura 8: Condición del diagrama de dispersión 3:

(A) Secar con MQL Strenx 700 MCD



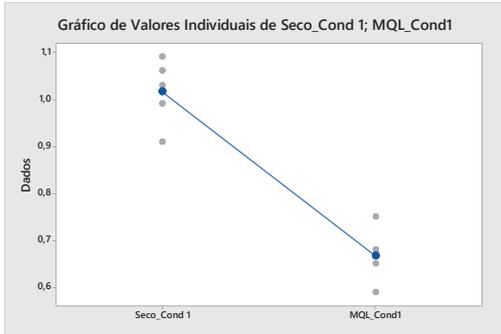
(B) Secar con MQL Strenx 700 MCD



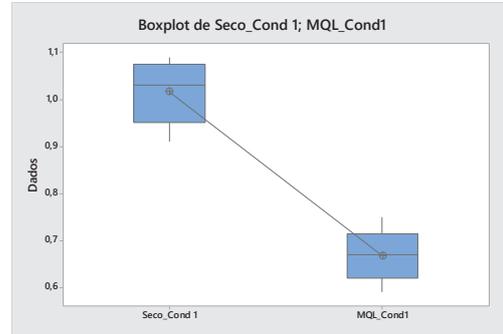
Fuente: Autores, (2019).

Figura 9: Condición de diagrama de dispersión 1:

(A) Secar con MQL ASTM A-36



(B) Secar con MQL ASTM A-36

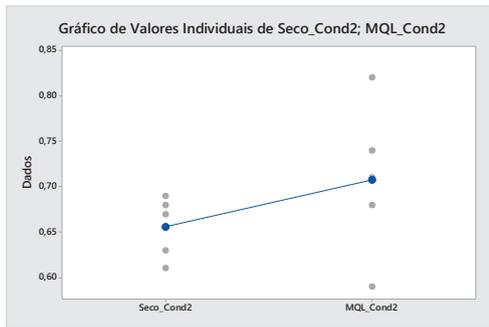


Fuente:

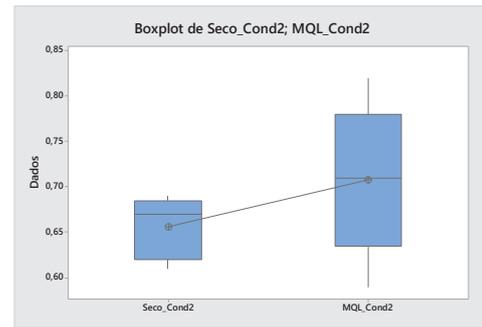
Autores, (2019).

Figura 10: Condición de diagrama de dispersión 2:

(A) Secar con MQL ASTM A-36



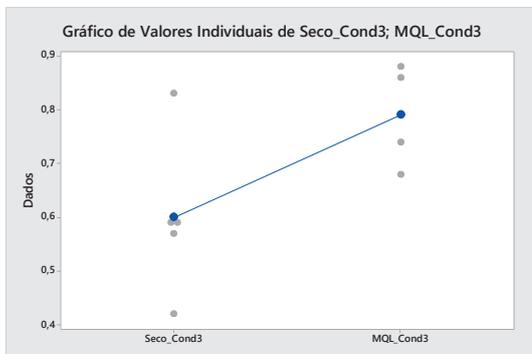
(B) Secar con MQL ASTM A-36



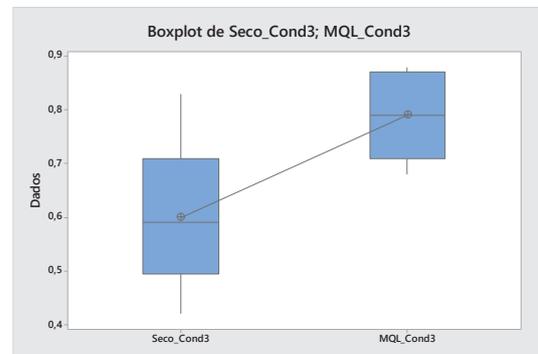
Fuente: Autores, (2019).

Figura 11: Condición de diagrama de dispersión 3:

(A) Secar con MQL ASTM A-36

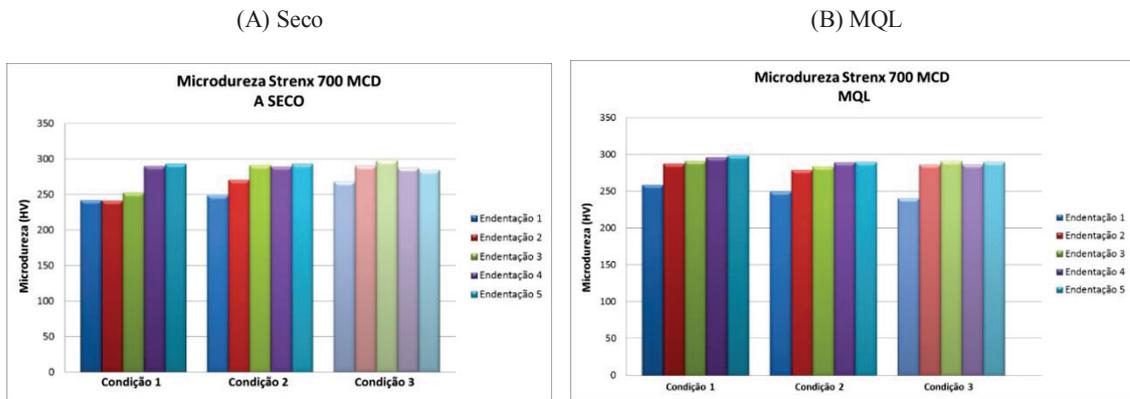


(B) Secar con MQL ASTM A-36



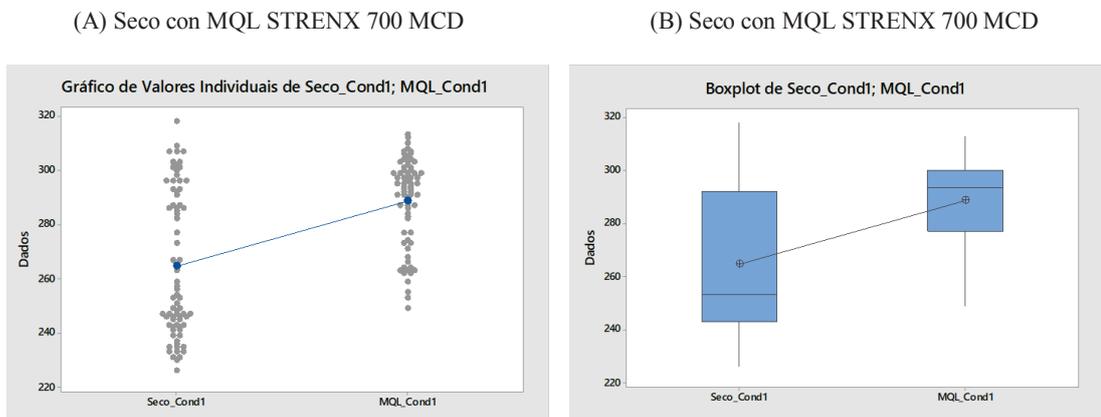
Fuente: Autores, (2019).

Figura 12: Dureza del material STRENX 700 MCD:



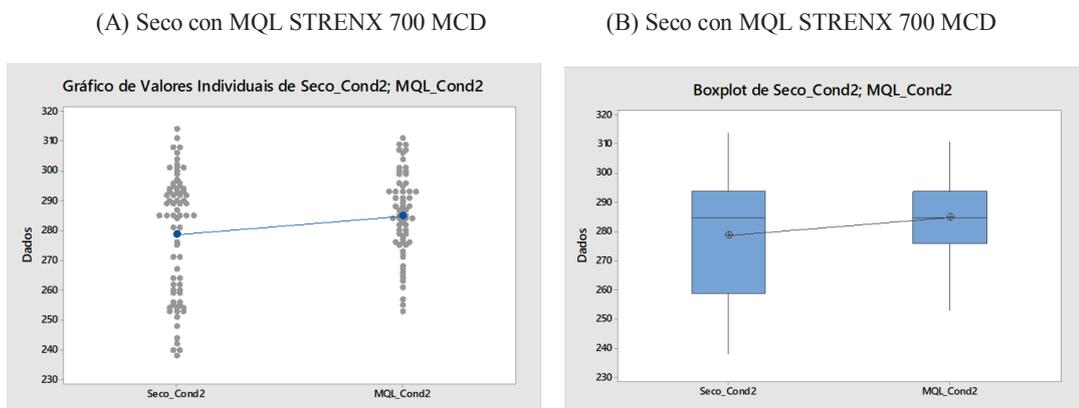
Fuente: Autores, (2019).

Figura 13: Diagrama de dispersión y condición 1 dureza



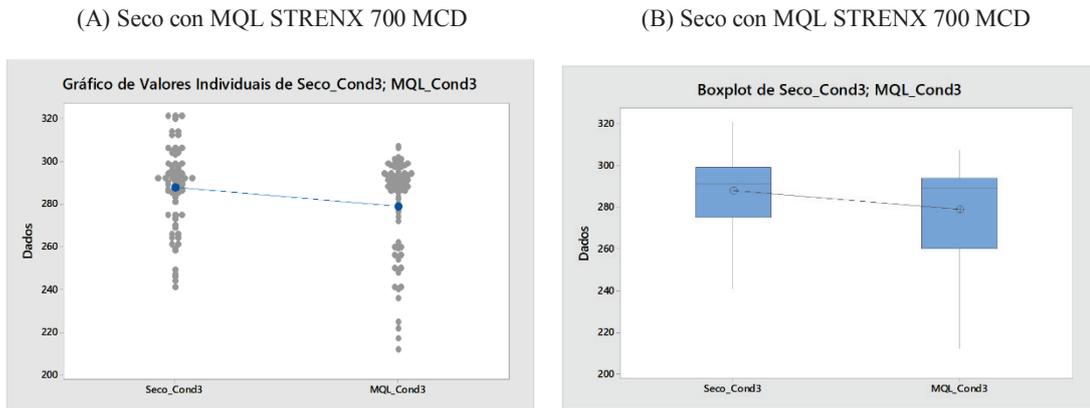
Fuente: Autores, (2019).

Figura 14: condición de gráfico de dispersión de microdureza 2



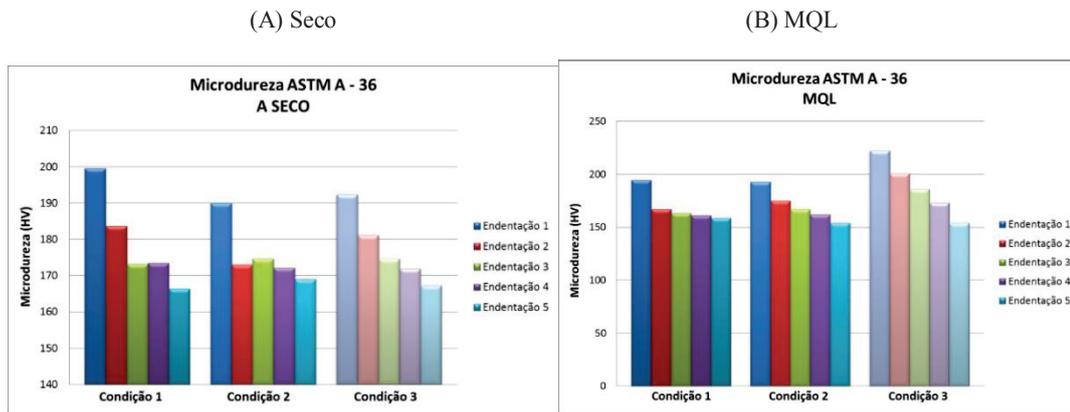
Fuente: Autores, (2019).

Figura 15: condición de gráfico de dispersión de microdureza 3



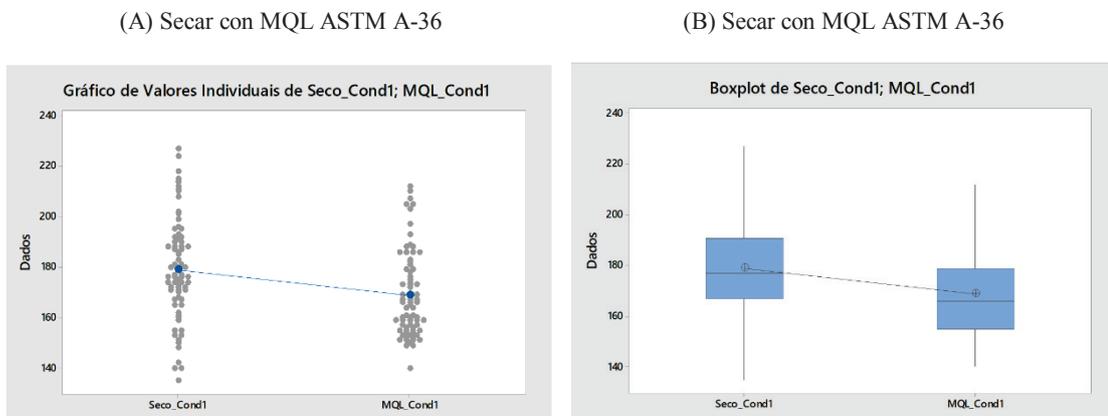
Fuente: Autores, (2019).

Figura 16: Dureza del material ASTM A-36:



Fuente: Autores, (2019).

Figura 17: Condición de diagrama de dispersión ASTM A-36 1

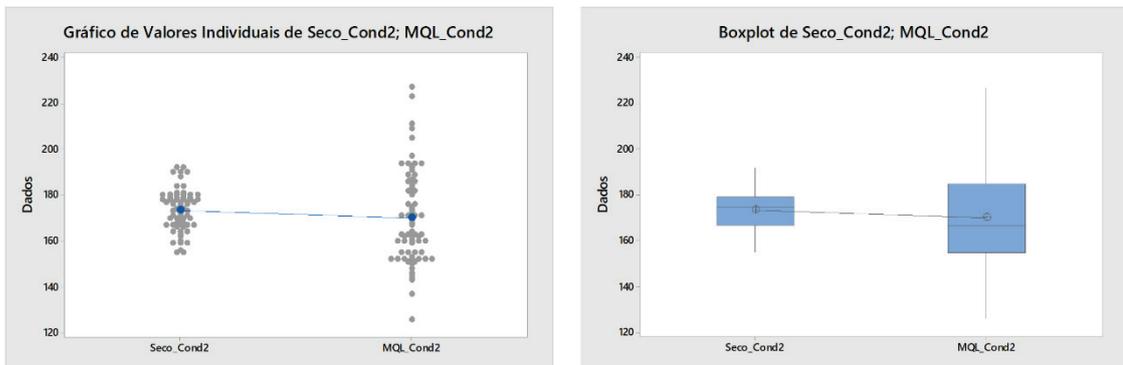


Fuente: Autores, (2019).

Figura 18: Condición de diagrama de dispersión ASTM A-36 2

(A) Secar con MQL ASTM A-36

(B) Secar con MQL ASTM A-36

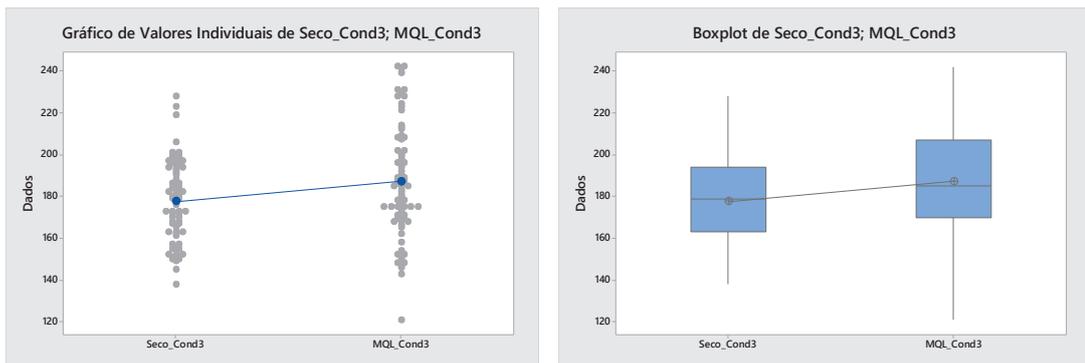


Fuente: Autores, (2019).

Figura 19: Condición de diagrama de dispersión ASTM A-36 3

(A) Secar con MQL ASTM A-36

(B) Secar con MQL ASTM A-36



Fuente: Autores, (2019).

Tabla 1: Condiciones y parámetros utilizados en el proceso.

Acero STRENX 700 MCD			
Condición	Avanço [mm/min]	Rotación [RPM]	Fluido Lubrificante
1	200	2500	Sem
2	250	2000	Sem
3	300	1500	Sem
1	200	2500	Com
2	250	2000	Com
3	300	1500	Com
Acero ASTM A-36			
Condición	Avanço [mm/min]	Rotación [RPM]	Fluido Lubrificante
1	200	2500	Sem
2	250	2000	Sem
3	300	1500	Sem
1	200	2500	Com
2	250	2000	Com
3	300	1500	Com

Fuente: Autores, (2019).

Tabla 2 - Dureza x correlación ZTMA:

Material	Parámetro(rpm/Vf)	Condición	Dureza(HV)	ZTMA
ASTM A-36	2500x200	à Seco	179,1	1,016
	2000x250		-----	-----
	1500x300		-----	-----
	2500x200	MQL	-----	-----
	2000x250		-----	-----
	1500x300		187,3	0,79
STRENX 700 MCD	2500x200	à Seco	264,6	1,32
	2000x250		-----	-----
	1500x300		-----	-----
	2500x200	MQL	288,7	0,87
	2000x250		-----	-----
	1500x300		-----	-----

Fuente:

Autores, (2019).

Tabla 3 - Comparación estadística T-test seco x MQL para ZTA:

n.	ZTMA	Seco	(rpm/Vf)	ZTMA	MQL	Dureza	Material	Dureza	Material	(rpm/Vf)
1	1,320	STRENX 700	2500x200	0,870	STRENX 700	264,6	STRENX 700 SECO	288,7	STRENX 700 MQL	2500x200
2	0,890	STRENX 700	2000x250	0,850	STRENX 700	278,8	STRENX 700 SECO	284,8	STRENX 700 MQL	2000x250
3	0,7250	STRENX 700	1500x300	0,6980	STRENX 700	287,8	STRENX 700 SECO	278,9	STRENX 700 MQL	1500x300
1	1,016	ASTM A-36	2500x200	0,6680	ASTM A-36	179,1	ASTM A-36 SECO	168,9	ASTM A-36 MQL	2500x200
2	0,6560	ASTM A-36	2000x250	0,7080	ASTM A-36	173,54	ASTM A-36 SECO	170,3	ASTM A-36 MQL	2000x250
3	0,6000	ASTM A-36	1500x300	0,7900	ASTM A-36	177,5	ASTM A-36 SECO	187,3	ASTM A-36 MQL	1500x300

Fuente: Autores, (2019).

APÊNDICE C – TCLE



UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
(FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA)
(ENGENHARIA MECÂNICA)

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

a) "Você está sendo convidado (a) participar da pesquisa sobre Avaliação de desempenho em sustentabilidade utilizado em processos de manufatura, de responsabilidade do pesquisador Leandro Dócio Tagliari e as ponderações dos critérios a ser realizada, constitui parte da tese de doutorado deste pesquisador do Programa de Pós graduação em Engenharia Civil e Ambiental - PPGENG da Universidade de Passo Fundo - UPF.

b) Esta pesquisa justifica-se devido as dificuldades encontradas pelas indústrias e pelos gestores com relação ao desenvolvimento de processos de fabricação mais sustentáveis ambiental, social e econômico.

c) Objetivos da pesquisa é avaliar o desempenho em sustentabilidade dos processos de manufatura de furação convencional e furação por escoamento para que se obtenha informações de qual processo é mais sustentável.

d) A pesquisa será realizada no formato virtual, onde será fornecido via e-mail o formulário e se estiver acordado você responde aos questionários. Com duração de aproximadamente 15 minutos.

e) Ao participar da pesquisa, você terá os seguintes benefícios:

e.1) Para quem está respondendo a pesquisa: conhecimento e garantia de receber esclarecimentos sobre qualquer dúvida relacionada a pesquisa sobre os processos de furação convencional e furação por escoamento, vantagens, desvantagem e aplicações e poderá ter acesso aos seus dados em qualquer etapa do estudo.

e.2) Para o usuário final que é o gestor da indústria: possibilita uma ferramenta capaz de definir qual o processo mais sustentável. Unificando as três dimensões da sustentabilidade social, ambiental e econômico.

e.3) Esclarecimentos: "Você terá a garantia de receber esclarecimentos sobre qualquer dúvida relacionada a pesquisa e poderá ter acesso aos seus dados em qualquer etapa do estudo."

e.4) Liberdade: "Sua participação nessa pesquisa não é obrigatória e você pode desistir a qualquer momento, retirando seu consentimento."

f) Você não receberá pagamento pela sua participação no estudo e não terá nenhuma despesa para participar da presente pesquisa.

g) As suas informações serão gravadas e posteriormente ao final da pesquisa destruídas. Os dados relacionados à sua identificação não serão divulgados.

h) "Os resultados da pesquisa serão divulgados na apresentação final da pesquisa e em artigos publicados em revistas, mas você terá a garantia do sigilo e da confidencialidade dos dados."

i) Os principais riscos que os participantes estarão submetidos são de cansaço, desconforto pelo tempo exigido no preenchimento do formulário. É importante que fique claro ao participante da pesquisa que ele poderá desistir a qualquer momento e a qualquer tempo através de interrupção imediata do preenchimento do questionário.

j) Caso você tenha dúvidas sobre o comportamento dos pesquisadores ou sobre as mudanças ocorridas na pesquisa que não constam no TCLE, e caso se considera prejudicado(a) na sua dignidade e autonomia, você pode entrar em contato com o pesquisador Leandro Dócio Tagliari pelo fone: (54) 99907-5600, ou com o curso | PPGENG - Programa de Pós graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Passo Fundo - UPF). Ou também pode consultar o Comitê de Ética em pesquisa da UPF, pelo telefone (54) 3316-8157, no horário das 08h às 12h e das 13h 30min às 17h30min, de segunda a sexta-feira.

Dessa forma, se você concorda em participar da pesquisa como consta nas explicações e orientações acima, marque um (x) no quadrículo indicado abaixo.

- Aceito
 Não aceito

Alertamos ao respondente da pesquisa que deve realizar uma cópia deste documento designado (TCLE) para fins de registro ou pode solicitá-lo via e-mail (leandrotagliari@upf.br).

Desde já, agradecemos a sua colaboração.

Passo Fundo, 04 de dezembro de 2019.

Nome do (a) pesquisador (a): Leandro Dócio Tagliari

APÊNDICE D – *Benchmark*

Identifique no modelo *Global Reporting Initiative – GRI* Quais aspectos você considera importantes de serem analisados para avaliar a sustentabilidade na manufatura Social:

Marque com um "X" no quadrículo:

<input type="checkbox"/>	Trabalho;
<input type="checkbox"/>	Relações trabalhistas;
<input type="checkbox"/>	Saúde e segurança;
<input type="checkbox"/>	Treinamento e educação;
<input type="checkbox"/>	Comunidade;
<input type="checkbox"/>	Corrupção;
<input type="checkbox"/>	Contribuição política;
<input type="checkbox"/>	Competição e preço;
<input type="checkbox"/>	Responsabilidade do produto;
<input type="checkbox"/>	Saúde e segurança do consumidor;
<input type="checkbox"/>	Produtos e serviços;
<input type="checkbox"/>	Propaganda;
<input type="checkbox"/>	Respeito por privacidade;
<input type="checkbox"/>	Estratégia e gerenciamento;
<input type="checkbox"/>	Não discriminação;
<input type="checkbox"/>	Liberdade de associação e reivindicação;
<input type="checkbox"/>	Trabalho infantil;
<input type="checkbox"/>	Trabalho forçado e compulsório;
<input type="checkbox"/>	Práticas discriminatórias;
<input type="checkbox"/>	Práticas de segurança;
<input type="checkbox"/>	Direitos indígenas;

Identifique no modelo da Associação dos Engenheiros Alemães - VDI Quais aspectos você considera importantes de serem analisados para avaliar a sustentabilidade na manufatura econômica:

Marque com um "X" no quadrículo:

<input type="checkbox"/>	Resultado operacional;
<input type="checkbox"/>	Capital social;
<input type="checkbox"/>	Retorno sobre o investimento;
<input type="checkbox"/>	Utilização da capacidade;
<input type="checkbox"/>	Taxa de rejeição;
<input type="checkbox"/>	Custos da não conformidade;
<input type="checkbox"/>	Percentual de fornecedores certificados;
<input type="checkbox"/>	Desenvolvimento do capital corrente;
<input type="checkbox"/>	Lucro líquido;
<input type="checkbox"/>	Retorno sobre o capital social;
<input type="checkbox"/>	Retorno sobre o capital de terceiros;
<input type="checkbox"/>	Valor adicionado;
<input type="checkbox"/>	Crescimento das vendas;
<input type="checkbox"/>	Participação no mercado;
<input type="checkbox"/>	Gastos em P & D;
<input type="checkbox"/>	Desenvolvimento do capital fixo;
<input type="checkbox"/>	Produtividade;

Identifique no modelo *Global Reporting Initiative – GRI* Quais aspectos você considera importantes de serem analisados para avaliar a sustentabilidade na manufatura ambiental:

Marque com um "X" no quadrículo:

<input type="checkbox"/>	Materiais;
<input type="checkbox"/>	Energia;
<input type="checkbox"/>	Água;
<input type="checkbox"/>	Biodiversidade;
<input type="checkbox"/>	Emissões, Efluentes e Resíduos;
<input type="checkbox"/>	Fornecedores;
<input type="checkbox"/>	Produtos e serviços;
<input type="checkbox"/>	Obediência a leis e normas;
<input type="checkbox"/>	Transporte;
<input type="checkbox"/>	Aspectos amplos.

APÊNDICE E – Pesquisa realizada com colaboradores

1) IDENTIFICAÇÃO

Nome: _____ Idade: _____ Sexo: () F () M

Escolaridade:

- () Sem Escolaridade
 () Ensino fundamental completo
 () Ensino fundamental incompleto
 () Ensino médio completo
 () Ensino médio incompleto
 () Ensino superior completo
 () Ensino superior incompleto

Realizou algum curso técnico? Não () Sim () Qual ? _____.

Cargo Exercido: _____ Tempo de atuação: _____.

Qual a sua carga horária diária de trabalho? _____.

2) SEGURANÇA NO TRABALHO

Já sofreu algum acidente no trabalho? Não () Sim ()

Já ficou afastado do trabalho por causa de acidentes? Não () Sim ()

Recebeu algum treinamento sobre segurança no trabalho? Não () Sim ()

Utiliza Equipamento de Proteção Individual – EPI? Não () Sim ()

Recebeu alguma orientação sobre o uso de EPI? Não () Sim ()

Você acha importante treinamentos sobre o uso de EPI's? Não () Sim ()

Você acha importante respeitar as normas de segurança? Não () Sim ()

3) RUÍDO (PRESSÃO SONORA)

Você fica exposto a Ruído (Pressão sonora) no ambiente de trabalho? Não () Sim ()

Por quantas horas? _____.

Já trabalhou em outra empresa que ficasse exposto ao Ruído? Não () Sim ()

Possui algum dos sintomas:

Zumbido Não () Sim ()

Sensação de perda auditiva Não () Sim ()

Dificuldade de entender o que as pessoas lhe falam? Não () Sim ()

Sente-se incomodado quando exposto a sons elevados? Não () Sim ()

Estresse ou irritação ao final da jornada de trabalho? Não () Sim ()

4) SAÚDE

Realiza exames periódicos? Não () Sim () Quais? _____.

Já teve alguma doença do trabalho? Não () Sim () Quais? _____.

5) RELAÇÕES DO TRABALHO

Você recebeu algum treinamento sobre as máquinas/equipamentos que utiliza no ambiente de trabalho? Não () Sim ()

Você recebe treinamentos anualmente? Não () Sim ()

O que você acha do espaço físico do seu ambiente de trabalho: Amplo () Pequeno () Adequado ()

Há problemas do espaço físico do seu ambiente de trabalho? Não () Sim () Quais?

Quanto a acústica (Ruído) do seu ambiente de trabalho? Boa () Ruim ()

Quanto as horas de preparação de atividades, você tem tempo disponível para realizá-las?

Não () Sim ()

Existe integração entre os professores e os técnicos? Não () Sim ()

Existe um bom relacionamento entre a gestão e os técnicos? Não () Sim ()

Existe motivação para as atividades exercidas? Não () Sim ()

Você está satisfeito com a remuneração que recebe? Não () Sim () Por quê? _____.

APÊNDICE F – Pesquisa realizada com *stakeholders*

Te convidado para participar de um questionário online para ponderação de critérios, que constitui parte da minha tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental – PPGEngda Universidade de Passo Fundo – UPF.
A pesquisa está inserida no eixo de infraestrutura e objetiva desenvolver um modelo de apoio à tomada de decisão para o gerenciamento da Manufatura por meio da Avaliação da Sustentabilidade dos processos de Furação Convencional e de Furação por escoamento.
Dentro deste viés, será aplicada uma análise multicritérios, conhecida como Analytic Hierarchy Process – AHP para a ponderação dos indicadores de sustentabilidade desenvolvidos no estudo, com o intuito de elencá-los hierarquicamente na escolha de cenários.

O tempo estimado para resposta é de aproximadamente 8 minutos

Aceitar

Rejeitar

Analytic Hierarchy Process - AHP

Introdução

Desenvolvido por Thomas Saaty na década de 70, o AHP é um método de tomada de decisão usando múltiplos critérios em uma hierarquia. Essa hierarquia é uma abstração de um problema para estudar as relações entre seus componentes e seus impactos no problema geral (SAATY, 1980, 1991). O método se baseia na decomposição e síntese das relações. A ideia central da teoria da análise hierárquica introduzida por Saaty é a redução do estudo de sistemas a uma sequência de comparações aos pares. Através de comparações em pares em cada nível da hierarquia baseada na escala de prioridades do AHP, os participantes desenvolvem pesos relativos, chamados de prioridades, para diferenciar a importância dos critérios. Segundo Saaty (1994) o benefício deste método é que, como os valores dos julgamentos das comparações paritárias são baseadas em intuição, experiência e também em dados físicos, o AHP pode lidar com os aspectos qualitativos e quantitativos de um problema de decisão.

Julgamento

Um julgamento ou comparação é a representação numérica de uma relação de dois elementos que possuem o mesmo pai, representando a dominância de um elemento sobre o outro (Saaty, 1994). O julgamento reflete as respostas de duas perguntas: qual dos dois elementos é mais importante considerando um critério de nível superior, e com que intensidade. A escala de intensidade recomendada por Saaty (1991) é mostrada na Tabela 1, vai de 1 a 9, com 1 significando a indiferença de importância de um critério em relação ao outro, e 9 significando a extrema importância de um critério sobre outro.

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima de zero	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	Uma designação razoável.
Racionais	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz.

Tabela 1 – Comparações do AHP. Fonte: Saaty (1991)

Exemplo de Julgamento

Seja Vida útil da bateria e Memória interna dois dos fatores de uma hierarquia que tem por objetivo facilitar a decisão da compra de um tablet então para realizar o julgamento temos que responder as seguintes perguntas: qual fator é mais importante e o quanto é essa preferência em relação ao outro critério? Considerando que o fator Memória interna é mais importante e que este seja um fator moderadamente forte em relação a Vida útil então de acordo com a escala fundamental Saaty selecionamos o valor 5 ao fator correspondente como podemos ver na imagem abaixo:



A cada etapa de julgamentos é apresentada um taxa de inconsistência que representa o quão coerente está os seus julgamentos. Saaty considera a taxa de inconsistência de até 10% como satisfatório, caso os julgamentos podem ser revistos.

Após iniciar os julgamentos você pode utilizar o menu superior para ver a página de ajuda.

[Iniciar os Julgamentos](#)

Analise os critérios

Qual você prefere e o quanto prefere?

<p>Ambiental?</p> <p style="text-align: center;"> <input type="radio"/> 9 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9 </p>	<p>Social?</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Escala Fundamental</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Intensidade de um fator sobre outro</td> </tr> <tr> <td>1: Igual</td> </tr> <tr> <td>2: Fraca</td> </tr> <tr> <td>3: Moderadamente fraca</td> </tr> <tr> <td>4: Moderada</td> </tr> <tr> <td>5: Moderadamente forte</td> </tr> <tr> <td>6: Forte</td> </tr> <tr> <td>7: Mais forte</td> </tr> <tr> <td>8: Muito forte</td> </tr> <tr> <td>9: Absolutamente forte</td> </tr> </tbody> </table>	Escala Fundamental	Intensidade de um fator sobre outro	1: Igual	2: Fraca	3: Moderadamente fraca	4: Moderada	5: Moderadamente forte	6: Forte	7: Mais forte	8: Muito forte	9: Absolutamente forte
Escala Fundamental													
Intensidade de um fator sobre outro													
1: Igual													
2: Fraca													
3: Moderadamente fraca													
4: Moderada													
5: Moderadamente forte													
6: Forte													
7: Mais forte													
8: Muito forte													
9: Absolutamente forte													
<p>Ambiental?</p> <p style="text-align: center;"> <input type="radio"/> 9 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9 </p>	<p>Econômico?</p>												
<p>Social?</p> <p style="text-align: center;"> <input type="radio"/> 9 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9 </p>	<p>Econômico?</p>												

Etapa 1 de 4

Analise os subcritérios segundo o critério Ambiental

Qual você prefere e o quanto prefere?

<p>Consumo de Energia?</p> <p style="text-align: center;"> <input type="radio"/> 9 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9 </p>	<p>Produção de Resíduos Sólidos?</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Escala Fundamental</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Intensidade de um fator sobre outro</td> </tr> <tr> <td>1: Igual</td> </tr> <tr> <td>2: Fraca</td> </tr> <tr> <td>3: Moderadamente fraca</td> </tr> <tr> <td>4: Moderada</td> </tr> <tr> <td>5: Moderadamente forte</td> </tr> <tr> <td>6: Forte</td> </tr> <tr> <td>7: Mais forte</td> </tr> <tr> <td>8: Muito forte</td> </tr> <tr> <td>9: Absolutamente forte</td> </tr> </tbody> </table>	Escala Fundamental	Intensidade de um fator sobre outro	1: Igual	2: Fraca	3: Moderadamente fraca	4: Moderada	5: Moderadamente forte	6: Forte	7: Mais forte	8: Muito forte	9: Absolutamente forte
Escala Fundamental													
Intensidade de um fator sobre outro													
1: Igual													
2: Fraca													
3: Moderadamente fraca													
4: Moderada													
5: Moderadamente forte													
6: Forte													
7: Mais forte													
8: Muito forte													
9: Absolutamente forte													
<p>Consumo de Energia?</p> <p style="text-align: center;"> <input type="radio"/> 9 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9 </p>	<p>Utilização de fluido lubrificante na usinagem?</p>												
<p>Consumo de Energia?</p> <p style="text-align: center;"> <input type="radio"/> 9 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9 </p>	<p>Consumo de fluido hidráulico?</p>												
<p>Consumo de Energia?</p> <p style="text-align: center;"> <input type="radio"/> 9 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9 </p>	<p>Desgaste e vida ferramenta?</p>												
<p>Consumo de Energia?</p> <p style="text-align: center;"> <input type="radio"/> 9 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9 </p>	<p>Aquecimento na usinagem?</p>												

Produção de Resíduos Sólidos? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	Utilização de fluido lubrificante na usinagem? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	
Produção de Resíduos Sólidos? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	Consumo de fluido hidráulico? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	Escala Fundamental Intensidade de um fator sobre outro 1: Igual 2: Fraca 3: Moderadamente fraca 4: Moderada 5: Moderadamente forte 6: Forte 7: Mais forte 8: Muito forte 9: Absolutamente forte
Produção de Resíduos Sólidos? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	Desgaste e vida ferramenta? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	
Produção de Resíduos Sólidos? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	Aquecimento na usinagem? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	
Utilização de fluido lubrificante na usinagem? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	Consumo de fluido hidráulico? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	
Utilização de fluido lubrificante na usinagem? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	Desgaste e vida ferramenta? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	
Utilização de fluido lubrificante na usinagem? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	Aquecimento na usinagem? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	Escala Fundamental Intensidade de um fator sobre outro 1: Igual 2: Fraca 3: Moderadamente fraca 4: Moderada 5: Moderadamente forte 6: Forte 7: Mais forte 8: Muito forte 9: Absolutamente forte
Consumo de fluido hidráulico? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	Desgaste e vida ferramenta? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	
Consumo de fluido hidráulico? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	Aquecimento na usinagem? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	
Desgaste e vida ferramenta? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	Aquecimento na usinagem? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	

Etapa 2 de 4

Analise os subcritérios segundo o critério Social

Qual você prefere e o quanto prefere?

Relacionamento do colaborador no trabalho? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	Saúde colaborador? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	Escala Fundamental Intensidade de um fator sobre outro 1: Igual 2: Fraca 3: Moderadamente fraca 4: Moderada 5: Moderadamente forte 6: Forte 7: Mais forte 8: Muito forte 9: Absolutamente forte
Relacionamento do colaborador no trabalho? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	Segurança colaborador? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	
Relacionamento do colaborador no trabalho? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	Treinamento colaborador? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	
Relacionamento do colaborador no trabalho? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	Exposição do colaborador a pressão sonora (Ruído)? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	
Saúde colaborador? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	Segurança colaborador? <input type="radio"/> 09 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 02 <input checked="" type="radio"/> 01 <input type="radio"/> 02 <input type="radio"/> 03 <input type="radio"/> 04 <input type="radio"/> 05 <input type="radio"/> 06 <input type="radio"/> 07 <input type="radio"/> 08 <input type="radio"/> 09	

Saúde colaborador? Treinamento colaborador?

O9 O8 O7 O6 O5 O4 O3 O2 1 O2 O3 O4 O5 O6 O7 O8 O9

Saúde colaborador? Exposição do colaborador a pressão sonora (Ruído)?

O9 O8 O7 O6 O5 O4 O3 O2 1 O2 O3 O4 O5 O6 O7 O8 O9

Segurança colaborador? Treinamento colaborador?

O9 O8 O7 O6 O5 O4 O3 O2 1 O2 O3 O4 O5 O6 O7 O8 O9

Segurança colaborador? Exposição do colaborador a pressão sonora (Ruído)?

O9 O8 O7 O6 O5 O4 O3 O2 1 O2 O3 O4 O5 O6 O7 O8 O9

Treinamento colaborador? Exposição do colaborador a pressão sonora (Ruído)?

O9 O8 O7 O6 O5 O4 O3 O2 1 O2 O3 O4 O5 O6 O7 O8 O9

Escala Fundamental

Intensidade de um fator sobre outro

1: Igual

2: Fraca

3: Moderadamente fraca

4: Moderada

5: Moderadamente forte

6: Forte

7: Mais forte

8: Muito forte

9: Absolutamente forte

Etapa 3 de 4

Análise os subcritérios segundo o critério Econômico

Qual você prefere e o quanto prefere?

Custo (R\$) por furo? Custo (R\$) para treinamento do colaborador?

O9 O8 O7 O6 O5 O4 O3 O2 1 O2 O3 O4 O5 O6 O7 O8 O9

Escala Fundamental

Intensidade de um fator sobre outro

1: Igual

2: Fraca

3: Moderadamente fraca

4: Moderada

5: Moderadamente forte

6: Forte

7: Mais forte

8: Muito forte

9: Absolutamente forte

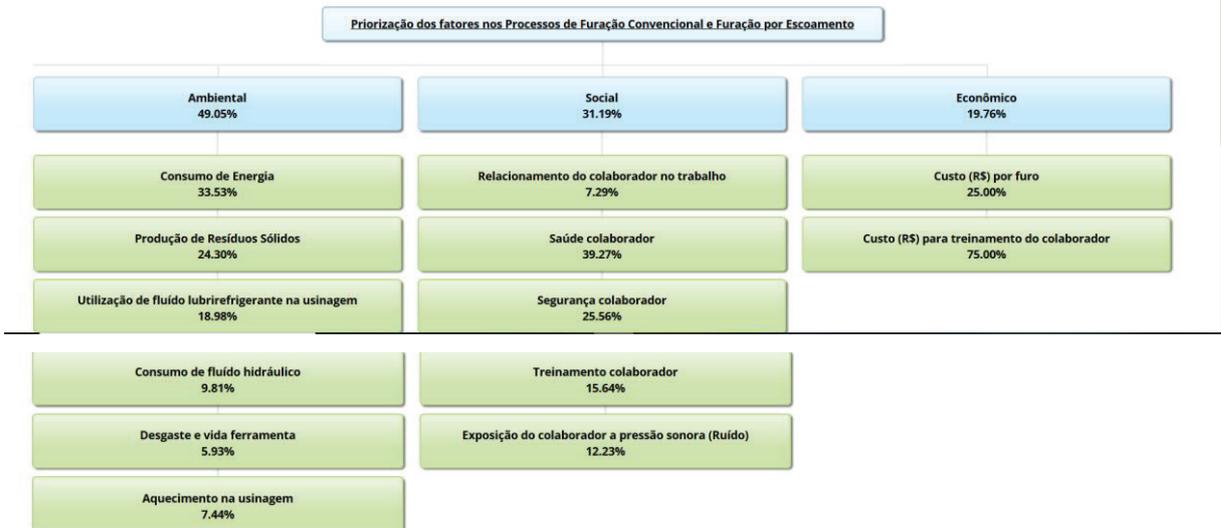
Etapa 4 de 4

Ajuda Sair

Todos os julgamentos foram concluídos.
Obrigado pela sua contribuição

Analytic Hierarchy Process

PRIORIZAÇÃO DOS FATORES NOS PROCESSOS DE FURAÇÃO CONVENCIONAL E FURAÇÃO POR ESCOAMENTO



APÊNDICE G - Resultados bibliométricos modelos de avaliação sustentabilidade

a) Resultados Bibliométricos Modelos de avaliação sustentabilidade

Durante o estudo teórico da revisão sistêmica foram selecionados 40 artigos considerados relevantes para a pesquisa, e destes, 7 foram escolhidos como norteadores por serem os mais citados em trabalhos científicos (Quadro 18):

Quadro 18 - Artigos relevantes para a pesquisa sobre Modelos de avaliação sustentabilidade.

NOME DO AUTOR	RESUMO DO ARTIGO	ANO PUBLICAÇÃO	NÚMERO DE CITAÇÕES
Stefan Schrettle	Trata dos esforços das empresas com relação as questões da sustentabilidade, o desempenho empresarial e os impactos gerados.	2013	Citado por 162 autores
Chia-Wei Hsu	Avalia a análise de falha em relatórios de sustentabilidade, Análise da materialidade e trata da responsabilidade social e corporativa.	2013	Citado por 48 autores
S. Vonodh	Modelo para ajudar várias empresas para analisar vários aspectos da sustentabilidade dentro de uma organização e trabalhar para a melhoria da mesma.	2013	Citado por 37 autores
Simona Kildiene	Desenvolve um algoritmo complexo para avaliar o potencial de implantação e distribuição de uma nova tecnologia com características de sustentabilidade.	2014	Citado por 24 autores
Alexander Brodsky	Permite a modelagem formal e modular, em componentes de processo e reutilizáveis através da simulação e otimização, Modelos de programação matemática formal e ilustra o uso do modelo SPAF por meio de um processo de fabricação.	2014	Citado por 23 autores
Ángel Galán-Martín	Desenvolve melhoria da análise envoltória de dados para avaliação de sustentabilidade: metodologia Anovel e aplicação às tecnologias de eletricidade.	2016	Citado por 23 autores
Carlos Gamarra	Explora a minimização dos impactos ambientais gerados pela manufatura. Desenvolvimento de um plano de crescimento sustentável.	2016	Citado por 17 autores

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A partir da revisão sistemática, também foi feita a aquisição dos dados bibliométricos dos artigos pesquisados, mediante a extração das seguintes informações: (a) ano de publicação, para a análise temporal de publicações; (b) localização geográfica, para apresentação da distribuição de publicações por nacionalidade; e (c) meios de publicação, para identificação e análise.

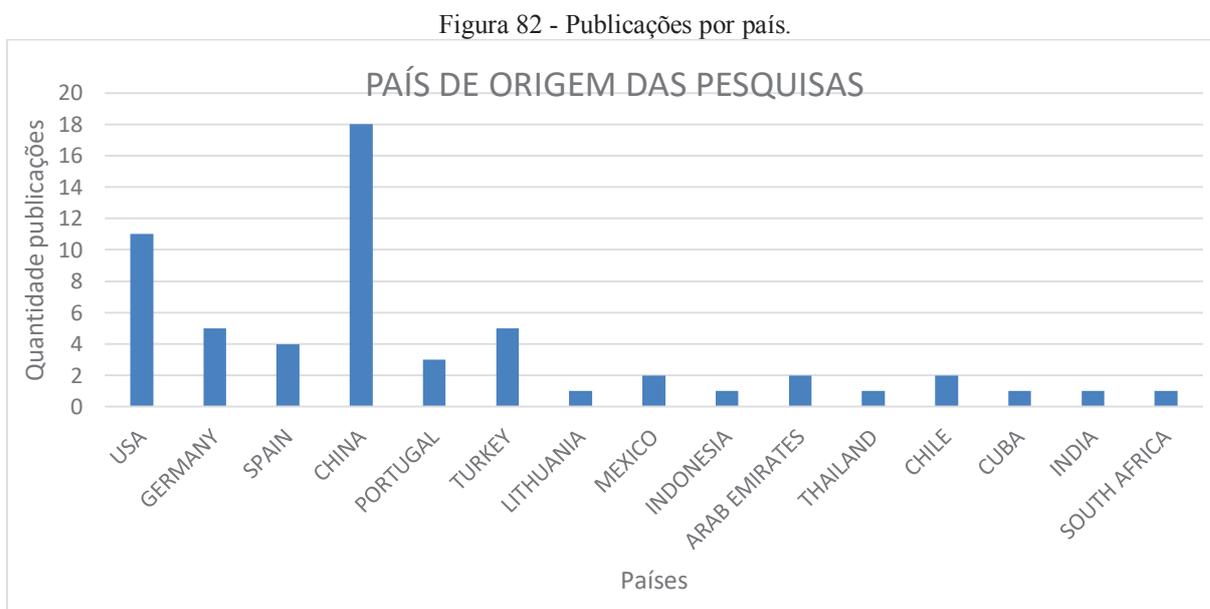
Com relação ao número de publicações por ano, nota-se que os primeiros artigos importantes publicados sobre modelos de sustentabilidade apresentaram-se a partir do ano 2000, e a partir de 2012 ocorreu um aumento significativo de pesquisas e publicações sobre o

tema (Figura 81). O declínio no número de publicações observado para o ano de 2019 se dá em virtude de que muitas publicações do ano de 2019 ainda estão em modo não oficial:



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

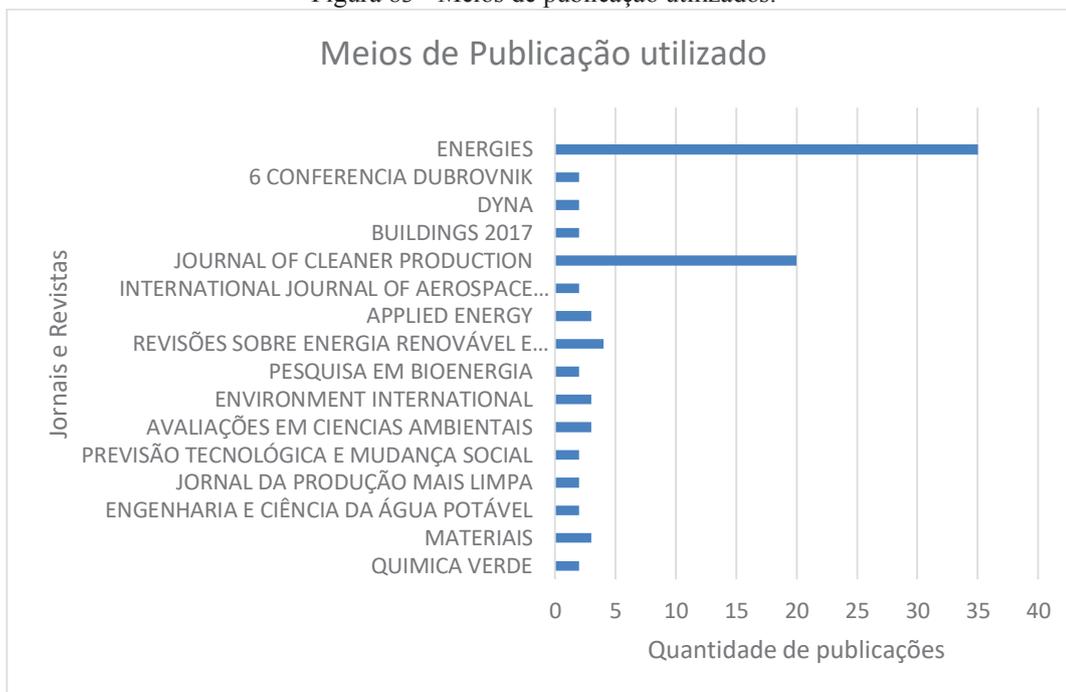
Para a localização geográfica das publicações, entre os países observados, se destacam os Estados Unidos (EUA), a Alemanha e a China, com maior número de artigos publicados nas bases de dados. Salienta-se que muitos outros países realizaram publicações e a pesquisa abrangeu apenas os países que representam a maior quantidade de publicações. A Figura 82 demonstra que a distribuição geográfica das publicações é ampla, abrangendo 33 diferentes países, em todos os cinco continentes:



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Entre os meios de publicação destaca-se, o *Energies* e o *Journal of cleaner production*. A clara preferência por estes dois meios, contabiliza mais de 25 % de todos os artigos revisados como pode ser observado na Figura 83:

Figura 83 - Meios de publicação utilizados.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

De acordo com Klemes (2015), a revisão sistemática compartilha o conhecimento de vários autores para dar uma perspectiva ampla destas questões ambientais, sociais e econômicas através da aplicação prática de modelos e procedimentos estruturados para avaliar a sustentabilidade, a fim de obter-se de forma quantificável a sustentabilidade social, econômica e ambiental.

APÊNDICE H - Resultados bibliométricos método AHP

a) Resultados Bibliométricos Método AHP

Durante o estudo teórico da revisão sistêmica obteve-se o número de 40 artigos para embasar a pesquisa e destes 40 artigos refinou-se em 25 artigos.

A partir da revisão sistemática, também foi feita a aquisição dos dados bibliométricos dos artigos pesquisados, mediante a extração das seguintes informações: (a) Ano de publicação, para a análise temporal de publicações; (b) Localização geográfica: para apresentação da distribuição de publicações por nacionalidade; (c) Meios de publicação: para identificação e análise.

Com relação ao número de publicações por ano, nota-se que os primeiros artigos importantes publicados sobre métodos multiatributos apresentaram-se a partir do ano de 2003. E, que a partir de 2012 ocorre um aumento significativo de pesquisas e publicações sobre o tema. Além disso, pode-se observar que existe maior número de publicações relacionadas ao tema nos anos de 2015 e 2017 (Figura 84):

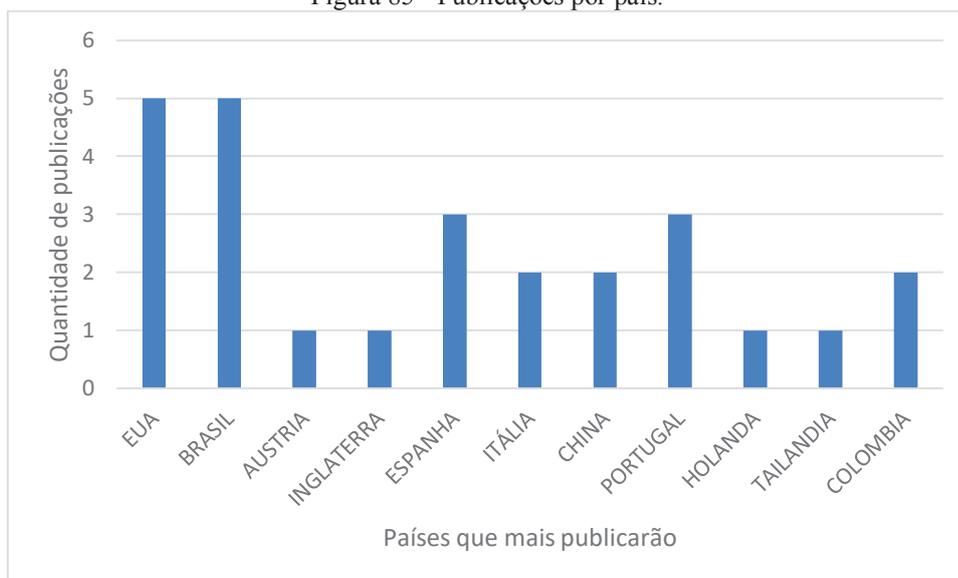
Figura 84 - Publicações por ano.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para a localização geográfica das publicações, entre os países observados, se destacam os Estados Unidos (EUA), o Brasil, a Espanha e Portugal, com maior número de artigos publicados nas bases de dados. Salienta-se que muitos outros países realizaram publicações e a pesquisa abrangeu apenas os países que representam a maior quantidade de publicações. A Figura 85 demonstra a distribuição geográfica dessas publicações é ampla, abrangendo 11 diferentes países, em todos os cinco continentes:

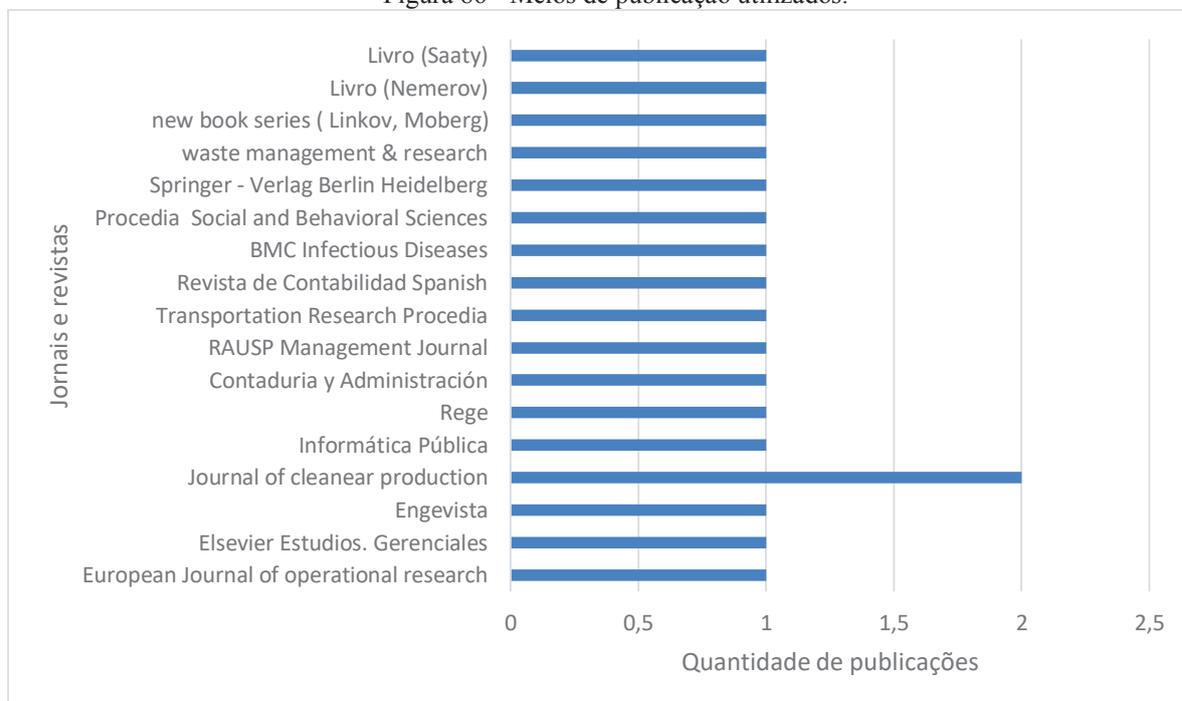
Figura 85 - Publicações por país.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Entre os meios de publicação destaca-se, o *Journal of Cleanear Production*. A clara preferência por este meio, contabiliza mais de 25 % de todos os artigos revisados como pode ser observado no gráfico da Figura 86:

Figura 86 - Meios de publicação utilizados.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

De acordo com Klemes (2015), a revisão bibliométrica compartilha o conhecimento de vários autores para dar uma perspectiva ampla destas questões ambientais, sociais e econômicas

através da aplicação prática de modelos e procedimentos estruturados para avaliar a sustentabilidade, a fim de obter-se de forma quantificável a sustentabilidade social, econômica e ambiental (Quadro 19):

Quadro 19 - Artigos relevantes para a pesquisa AHP.

Nome do autor:	Resumo do artigo:	Ano publicação:	Número de citações:
B. G. Hermann; C. Kroeze; W. Jawit	Apresentamos uma nova ferramenta analítica, chamada COMPLIMENT, que pode ser usada para fornecer informações detalhadas sobre o impacto ambiental geral de uma empresa. O COMPLIMENT Integra partes de ferramentas, como avaliação do ciclo de vida, análise multicritério e indicadores de desempenho ambiental.	2006	Citado por 316 autores
Xiaojun Wang, Hing Kai Chan, Dong Li	Trata do desenvolvimento de produtos ecológicos considerando-se uma estratégia fundamental para muitas empresas, devido aos requisitos regulamentares e à conscientização pública da proteção ambiental.	2014	Citado por 49 autores
P. M. Jannuzzi, W. L. de Miranda, D. S. G. da Silva	Trata de aspectos metodológicos, operacionalização e aplicação de análise multicritério para tomada de decisão.	2009	Citado por 60 autores
M. Herva, E. Roca	Analisa as vantagens de combinar ferramentas complementares de avaliação ambiental - pegada ecológica, avaliação do ciclo de vida e avaliação de riscos ambientais - que foram identificadas como abrangendo as características mais significativas que devem ser consideradas em avaliações corporativas.	2012	Citado por 138 autores
A.Kroenke, N. Hein	Utiliza AHP, por meio de indicadores de atividade e realiza um ranking dos resultados para avaliar empresas do setor metal mecânico.	2011	Citado por 4 autores
G. Campeol, S. Carollo, N. Masotto	Utiliza ferramentas válidas para a avaliação ambiental no que se refere a planejamento e programas, como a Avaliação Ambiental Estratégica (AAE), mas também projetos, como a	2016	Citado por 2 autores

	Avaliação de Impacto Ambiental (AIA).		
John Willmer Escobar	Apresenta metodologia para tomada de decisão no mercado de ações utiliza AHP.	2014	Citado por 9 autores
L. C. U. Guerrero, Luz S. M. M. y J. C. O. Gómez	Apresenta um modelo para selecionar operações de transporte terrestre.	2015	Ninguém citou
P. V. Matos; E. Cardadeiro; J. A. da Silva; C. F. de Muyllder	Desenvolve um modelo que permitisse escolher quais as minas que seriam objeto de intervenção, tendo em consideração os diferentes fatores de avaliação de seus efeitos externos (no ambiente, na saúde pública, na paisagem e no seu aproveitamento para a arqueologia industrial). A partir de uma análise multicritério (utilizando o <i>Analytical Hierarchy Process - AHP</i>),	2017	Ninguém citou
B. Muñoz; M. G. R.; J. Ordóñez	Trata os métodos de tomada de decisões multicritério que são uma ferramenta que reduzem a subjetividade na tomada de decisões, criando uma série de seleção de filtros e ajudam na escolha entre alternativas complexas. Eles fornecem designers estruturar as informações de forma racional e expor claramente, ao mesmo tempo, permitir identificar com precisão e ordem todos os elementos que determinam se um design é o ideal.	2016	Ninguém citou
X. Wang; F. Garcia; F. Guijarro; I. Moya	Utiliza método AHP para avaliação de ativos intangíveis.	2010	Citado por 2 autores
Y. Long; G. Xu; C. Ma; L. Chen	Trata do processo de hierarquia analítica (AHP) integrado ao modelo de grau de desenvolvimento coordenado (CDDM) foi usado para desenvolver o ECS. Este ECS foi desenvolvido em duas partes, incluindo a avaliação de risco de emergência e o controle de emergência.	2016	Citado por 8 autores

X. Li; T. Liu; T. Song; X. Du; H. Lin; J. Xião; H=J. He; L. Liu; G. Zhu; W. Zeng; L. Guo; Z. Cao; W. Ma; and Y. Zhang	Um método de processo de hierarquia analítica (AHP) foi usado para desenvolver um modelo de avaliação de risco semi-quantitativo do Zica Vírus. Após a seleção dos indicadores, convidamos especialistas em profissões relacionadas para identificar o peso do índice e com base em que uma estrutura hierárquica foi gerada. Em seguida, uma série de comparações entre pares foi usada para determinar a importância relativa dos critérios. Finalmente, o modelo ótimo foi estabelecido para estimar o risco de transmissão espacial e sazonal do Zica Vírus.	2017	Citado por 5 autores
J. Clímaco; L. Dias; L. A. Almeida	Descreve-se e faz-se recensão crítica de três pacotes de software interativos, conotados com um paradigma de aprendizagem, dedicados a modelos multiatributos e baseados em trabalhos de pesquisa.	2015	Citado por 1 autor.
Finkbeiner, M.; Schau, E. M.; Lehmann, A.; Traverso, M.	Trata Sustentabilidade e Ciclo de vida de produtos e processos	2010	Citado por 432 autores
Chiavenato, I.	Trata de da teoria geral da administração	2003	Citado por 11.669 autores
Allesch, a.; Brunner, p. h.	Trata dos métodos de avaliação e gerenciamento dos resíduos sólidos	2014	Citado por 100 autores
Linkov, I.; Moberg, E.	Métodos multiatributos e estudos de caso	2012	Citado por 207 autores
Wang, X., Chan, H.K., Li, D.	Estuda metodologias para produtos verdes.	2015	Citado por 49 autores

Melaré, Ag. V. de S.; González, S. M.; Faceli, K.; Casadei, V.	Estuda Tecnologias e Sistemas de Suporte a Decisão como apoio na Gestão de Resíduos Sólidos: uma Revisão Sistemática.	2014	Citado por nenhum autor
Nemerow, N.L.	Trata da Engenharia ambiental e novas tecnologias	2009	Citado por 70 autores
Ruy, M.; Alliprandini, D. H.	Métodos para avaliação ambiental no projeto de conceitual	2010	Citado por 4 autores
Marins C.; Souza D.; Barros M.	Trata do uso do método de análise hierárquica AHP na tomada de decisões gerenciais.	2009	Citado por 58 autores
Salvia, A.	Eficiência energética em iluminação pública na gestão sustentável de cidades:	2016	Citado por nenhum autor
Saaty, T. L.	Resumo abrangente, principalmente do pensamento e pesquisa do autor, sobre o Processo de Hierarquia Analítica e a tomada de decisão. Inclui teoria matemática avançada e diversas aplicações.	1980	Citado por 38.004 autores

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

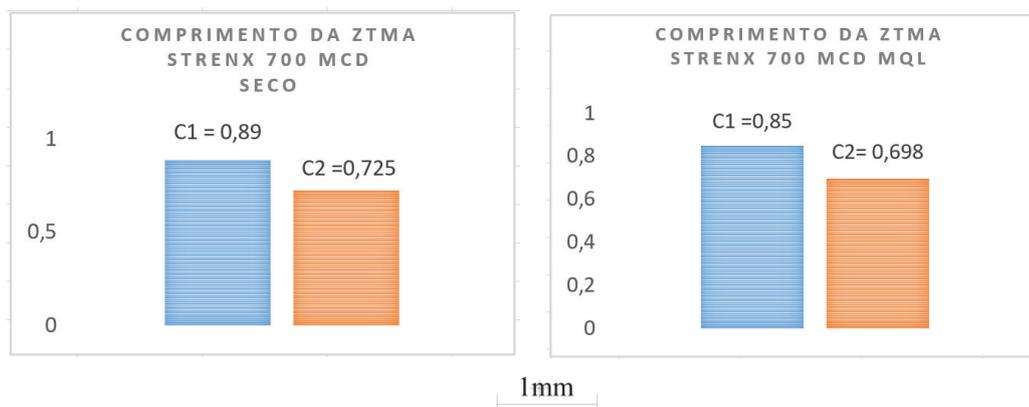
APÊNDICE I – Ensaios, Análises Metalográficos (Macrografia e Micrografia) e Microdureza

1) Macrografia da zona afetada pelo calor (ZTMA)

Devido ao aporte térmico do processo de furação por escoamento, pode existir uma camada de material afetado (alterado) pela energia (calor) proveniente do processo, a qual é denominada de zona termicamente afetada (ZTMA). Esta região, apesar de não ter sofrido fusão, pode apresentar modificações de composição química e de microestrutura (SHACKELFORD, 2014).

As avaliações do comprimento da ZTMA no processo de furação no material STRENX 700 MCD na condição à Seco e na condição MQL é apresentada na Figura 87 em (A) e (B), onde foi realizado em duas condições de fabricação: condição 1 (RPM 2000 F250) e condição 2 (RPM 1500 F300).

Figura 87 - Comprimento ZTMA processo furação por escoamento à Seco e MQL STRENX 700 MCD.
(A) À Seco Strenx 700 MCD (B) MQL Strenx 700 MCD



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Conforme Schackelford, (2014) nos aços estruturais a ZTMA ocorre e forma uma camada temperada e abaixo desta, uma camada revenida, a qual é seguida pelo material base da liga analisada.

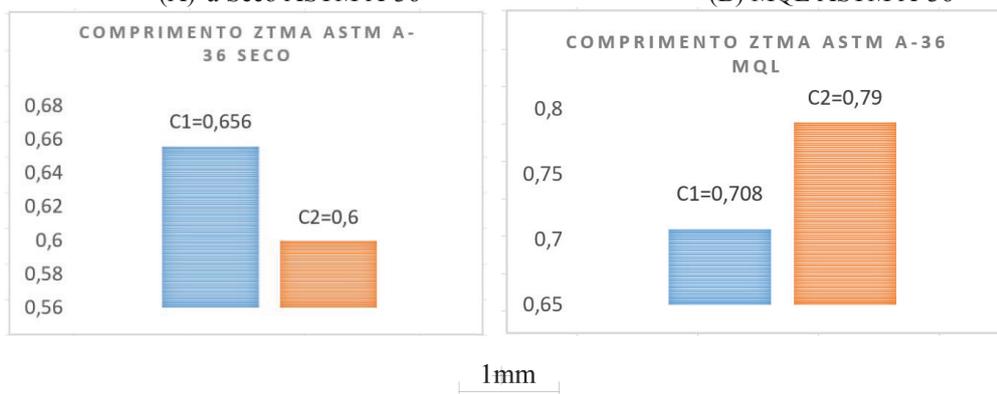
Foram realizadas cinco amostras e os resultados médios destes resultados apresentam-se na Figura 87 (A) e (B) e estatisticamente não há uma variação significativa no comprimento da ZTMA das duas condições avaliadas (1 e 2), conforme pode ser visualizado na Figura 87.

A condição 1 à Seco, (2000 RPM e 250 mm/min) apresenta o maior comprimento de (ZTMA) de 0,89 mm quando comparado a mesma condição no MQL comprimento de 0,85 mm.

A condição 2 à Seco, (1500 RPM e 300 mm/min) apresenta maior comprimento de (ZTMA) de 0,725 mm quando comparado a mesma condição no MQL comprimento de 0,698 mm.

Agora, avaliando o comprimento da ZTMA do aço estrutural ASTM A-36 na condição à Seco e na condição MQL é apresentado na Figura 88 (A) e (B), onde a usinagem foi realizada em duas condições: condição 1 (RPM 2000 F250) e condição 2 (RPM 1500 F300):

Figura 88 - Comprimento ZTMA processo furação por escoamento à Seco e MQL ASTM A-36.
(A) à Seco ASTM A-36 (B) MQL ASTM A-36



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A condição 1 MQL, (2000 RPM e 250 mm/min) apresenta o maior comprimento da zona térmica e mecanicamente afetada (ZTMA) de 0,708 mm quando comparado a mesma condição à Seco comprimento de 0,656 mm.

A condição 2 MQL, (1500 RPM e 300 mm/min) apresenta maior comprimento de (ZTMA) de 0,79 mm quando comparado a mesma condição à Seco comprimento de 0,6 mm.

Foram realizadas cinco amostras e os resultados médios destes resultados apresentam-se na Figura 88 (A) e (B) e estatisticamente não há uma variação significativa no comprimento da ZTMA das duas condições avaliadas (1 e 2), conforme pode ser visualizado na Figura 88.

2) Ensaio de Microdureza em escala Vickers (HV)

Alterações de microdureza podem influenciar nas propriedades mecânicas do material. Para identificar possíveis alterações, avaliou-se as amostras através do ensaio de microdureza.

A partir do trabalho de Fripp, (2017) seguimos a mesma metodologia de análise, partindo da borda do furo em direção ao material base, as endentações foram realizadas e posicionadas na mesa do microdurômetro, sendo utilizado endentador 0,2 mm de distância entre si, com carga de (300 gramas por 15 segundos), utilizando um microdurômetro da marca (Shimadzu HMV) modelo (G 205T).

Foram realizadas endentações a partir da zona mecânica e termicamente afetada (ZMTA), até o metal-base, conforme Figura 89.

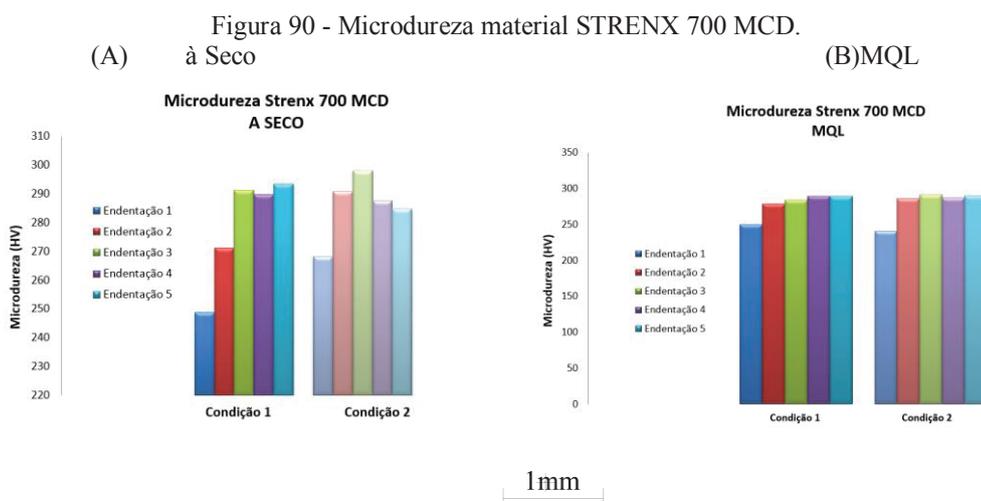
Figura 89 -: Endentações ZTMA até Metal-base



Fonte: Próprio autor, (2020).

Foram feitas três linhas de medições. Realizou-se as medições desta forma para obter a perspectiva da variação de dureza sofrida pelo material em função da severidade do processo de furação por escoamento, buscando relacionar os valores encontrados com os diferentes parâmetros de trabalho avaliados.

Os ensaios de microdureza foram divididos por material, a Figura 90 apresenta os ensaios do aço STRENX MCD na condição à seco em (A) e na condição com MQL em (B), conforme Figura abaixo:



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

As endentações enumeradas (1) e (2) representadas na Figura 89 e especificada na Figura 96 para as condições de fabricação avaliadas representam a borda do furo (1) e as endentações enumeradas (2) estão mais distantes e representam o material base.

À Seco:

Na condição 1 apresenta valores menores quando comparadas as endentações mais afastadas, porém a variabilidade entre elas é menor.

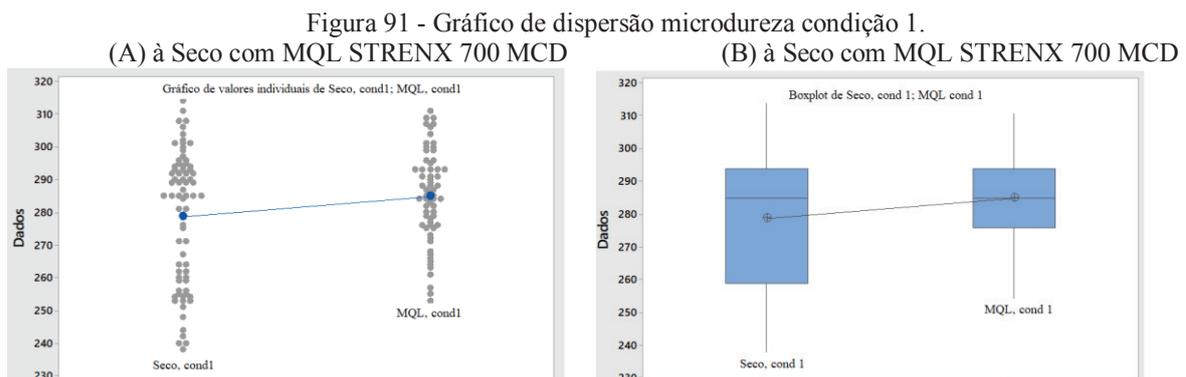
Na condição 2, as endentações próximas a (ZTMA) mostram os menores valores, entretanto as endentações mais afastadas não apresentam os maiores valores.

MQL:

Na condição 2, a variação de dureza é muito pequena nas endentações realizadas mais afastadas na zona térmica e mecanicamente afetada (ZTMA). A endentação realizada próxima a (ZTMA) apresentou o menor valor.

Para as condições 1, o menor valor encontrado foi também na endentação mais próxima a (ZTMA), porém para essas condições os valores de dureza aumentam mais uniformemente e não de forma repentina como na condição 2.

Na comparação do material STRENX 700 MCD à Seco com MQL na condição 1, realizou-se análise estatística através do teste “T” conforme Montgomery, (2012) e observa-se na Figura 91 (A) e (B) o gráfico de dispersão na condição comparando à Seco com MQL:



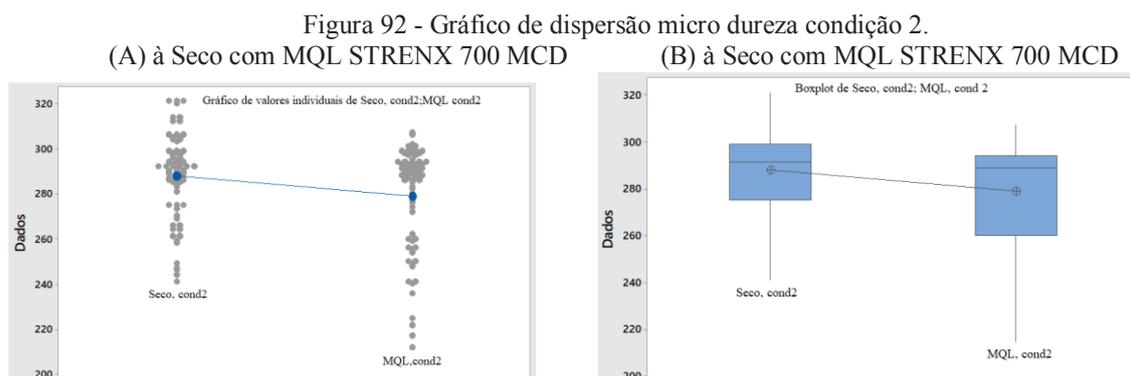
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A Figura 91 (A) condição 1 (2000RPM $V_f = 250$ mm/min) à Seco apresenta maior dispersão, ocorrendo maior variação de resultados.

Para Shackelford (2014), o ensaio de dureza é muito utilizado para mensurar a resistência do material à penetração (indentação) e na pesquisa realizada a Figura 91 (B) a maior dureza para a condição 1 (2000RPM $V_f = 250$ mm/min) é MQL (284,9 HV) e isso ocorre devido ao

choque térmico devido a técnica de lubrificação MQL e observa-se na pesquisa este endurecimento superficial caracterizando um tratamento superficial.

Na comparação do material STRENX 700 MCD à Seco com MQL na condição 2, realizou-se análise estatística através do teste “T” conforme Montgomery, (2012) e observa-se na Figura 92 (A) e (B) o gráfico de dispersão dos ensaios para o material STRENX 700 MCD na condição 2 comparando à Seco com MQL:



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

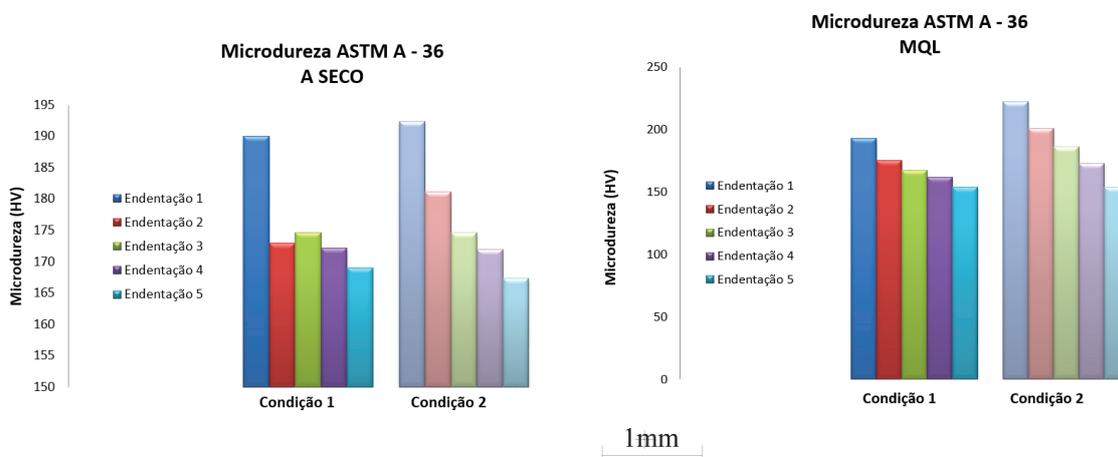
A Figura 92 (A) condição 2 (RPM1500 Vf = 300 mm/min) apresenta maior dispersão MQL, ocorrendo maior variação de resultados.

Shackelford (2014), afirma que a dureza do material está relacionada com a profundidade de penetração e a condição de fabricação pode influenciar na maior ou menor dureza do material. A Figura 92 (B) apresenta para a condição 2 (RPM1500 Vf = 300 mm/min) à Seco a maior dureza (287,8 HV) e evidencia-se na pesquisa pela condição de menor rotação e maior avanço, gerando maior atrito, maior aquecimento e alterações na resistência do material devido ao aquecimento e resfriamento ao ar livre, caracterizando uma maior resistência à penetração do material.

3) Microdureza ASTM A-36

Alterações na microestrutura podem influenciar nas propriedades mecânicas do material. Para identificar possíveis alterações, avaliou-se as amostras através do ensaio de microdureza. Partindo da borda do furo em direção ao material-base, as endentações foram realizadas e, com relação à dureza realizou-se o teste de dureza vickers utilizando o microdurômetro e os resultados para o material ASTM- A36 à Seco e MQL apresenta-se na Figura 93 (A) e (B):

Figura 93 - Microdureza material ASTM A-36.
(A) à Seco (B) MQL



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

À Seco:

Para a condição 1, o maior valor de dureza se encontra na ZTMA, as endentações realizadas em regiões mais afastadas da ZTMA não apresentam grande variabilidade.

Na condição 2, o maior valor de microdureza continua sendo a mais próxima da ZTMA, nessa condição os valores das endentações realizadas mais afastadas da ZTMA caem de forma uniforme a partir da segunda endentação.

MQL:

Na condição 1, observa-se valores de dureza uniformes. A endentação 1, para as condições apresenta maiores valores de dureza. As demais endentações diminuem de forma uniforme.

Para a condição 2, onde se encontram os maiores valores de microdureza, o comportamento continua semelhante. Nessa condição o perfil de microdureza é mais uniforme, havendo simetria na diminuição da magnitude a partir da primeira endentação, que está localizada na ZTMA.

Na operação MQL a maior variação de dureza está na condição 2 e observa-se uma maior uniformidade da dureza na operação MQL.

Na comparação do material ASTM A-36 à Seco com MQL na condição 1 realizou-se análise estatística através do teste “T” conforme Montgomery, (2012) e observa-se na Figura 94 (A) e (B) o gráfico de dispersão dos ensaios para o material ASTM A-36:

g) Correlação ZTMA x Microdureza

A correlação entre os resultados de dureza e ZTMA para os parâmetros do processo de furação por escoamento pesquisados observa-se na Tabela 28:

Tabela 28 - Correlação Dureza x ZTMA.

Material	Parâmetro(rpm/Vf)	Condição	Dureza(HV)	ZTMA
ASTM A-36	2000x250	à Seco	-----	-----
	1500x300		-----	-----
	2000x250	MQL	-----	-----
	1500x300		187,3	0,79
STRENX 700 MCD	2000x250	à Seco	-----	-----
	1500x300		-----	-----
	2000x250	MQL	288,7	0,87
	1500x300		-----	-----

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O material ASTM A-36 MQL na condição 2 (1500rpmx300mm/min) obteve-se a maior dureza (187,3 HV) e maior ZTMA (0,79).

h) Resumo de resultados ZTMA x Seco x MQL x Materiais x Condições

A Tabela 29 abaixo apresenta o resumo dos resultados entre os materiais ASTM A-36 e STRENX 700 MCD, analisando a condição à Seco e MQL para ZTMA:

Tabela 29 - Resumo de resultados ZTMA x Seco x MQL x Materiais x Condições.

n.	ZTMA	Seco	(rpm/Vf)	ZTMA	MQL	(rpm/Vf)
1	0,890	STRENX 700	2000x250	0,850	STRENX 700	2000x250
2	0,7250	STRENX 700	1500x300	0,6980	STRENX 700	1500x300
1	0,6560	ASTM A-36	2000x250	0,7080	ASTM A-36	2000x250
2	0,6000	ASTM A-36	1500x300	0,7900	ASTM A-36	1500x300

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A ZTMA é diretamente proporcional a rotação na condição à Seco para o aço STRENX 700 MCD, ou seja, aumenta a rotação aumenta a ZTMA (devido ao Aporte térmico).

A ZTMA é diretamente proporcional a rotação na condição MQL para o aço STRENX 700 MCD, ou seja, aumenta a rotação aumenta a ZTMA (devido ao Aporte térmico).

Para o material ASTM A-36 MQL o parâmetro 2000 RPM e 250 mm/min (condições 1 MQL) e o parâmetro 1500 RPM e 300 mm/min (condição 2 MQL) apresentam maior ZTMA (devido ao Aporte térmico e recristalização).

A Tabela 30 abaixo apresenta o resumo dos resultados entre os materiais ASTM A-36 e STRENX 700 MCD, analisando a condição à Seco e MQL para dureza:

Tabela 30 - Resumo de resultados Dureza x Seco x MQL x Materiais x Condições.

n.	Dureza	Material	(rpm/Vf)	Dureza	Material	(rpm/Vf)
2	278,8	STRENX 700 SECO	2000x250	284,8	STRENX 700 MQL	2000x250
3	287,8	STRENX 700 SECO	1500x300	278,9	STRENX 700 MQL	1500x300
2	173,54	ASTM A-36 SECO	2000x250	170,3	ASTM A-36 MQL	2000x250
3	177,5	ASTM A-36 SECO	1500x300	187,3	ASTM A-36 MQL	1500x300

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Na Tabela 30, o parâmetro com maior rotação (condição 1) para o material STRENX 700 MCD MQL apresentam maior dureza.

A condição 2 (1500 rpm e Vf 300 mm/mm) para o material STRENX 700 SECO apresentou maior dureza (287,8 HV).

Na condição 1 para o material ASTM A-36 à Seco apresentou maior dureza (173,54 HV).

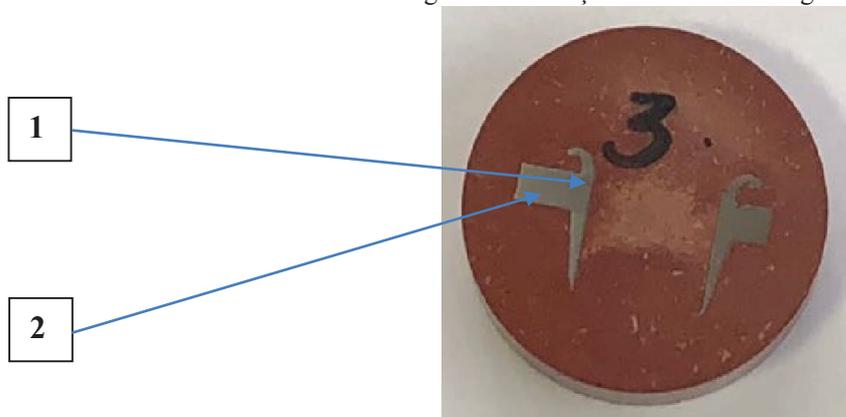
A condição 2 (1500 rpm e Vf 300 mm/mm) para o material ASTM A-36 MQL apresentou maior dureza (187,3 HV).

i) Micrografia dos aços estruturais

A análise da microestrutura tem como principal objetivo levar ao melhor entendimento do processo, através da comparação da microestrutura da zona afetada e a do material base. Entende-se por material base a região da peça conformada que não foi afetada térmica ou mecanicamente.

Com isso, foram realizadas imagens da região considerada de maior interesse da amostra a região 1 (da borda do furo) e da região 2 (metal base), tais imagens foram realizadas em 100x (metal base) e 100 e 500x (borda do furo). A Figura 96 ilustra a posição de análise.

Figura 96 – Posição de análise Micrografia.

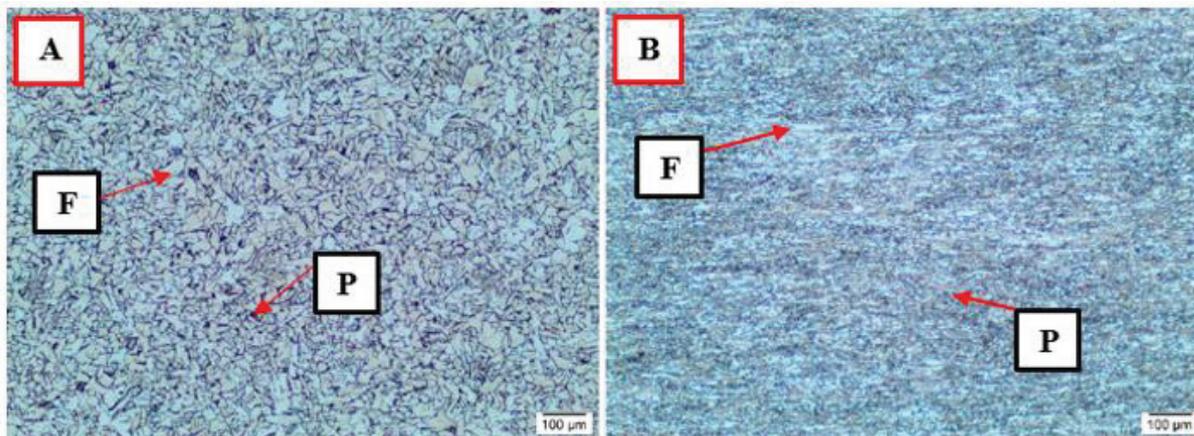


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para a avaliação da microestrutura dos dois materiais, foram realizadas imagens do material base em ambos os aços. A Figura 97 apresenta os dois materiais em estado de

fornecimento, ambos com 10x de ampliação, em “A” aço estrutural ASTM A-36 e em “B” aço estrutural STRENX 700 MCD respectivamente:

Figura 977 – Aços estruturais ASTM A-36 e STRENX 700 MCD, em microscópio ótico com 100x de ampliação



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Avaliando a Figura 97 (aço ASTM A 36) EM “A” é possível identificar uma estrutura de matriz ferrítica com grãos dispersos de perlita, em uma distribuição homogênea ao longo da matriz e contornos de grão bem definidos. Essa estrutura policristalina é condizente com um aço de baixo carbono, conforme caracterizado por (SCHACKELFORD, 2014).

Já na Figura 97 em “B” (aço estrutural Strenx 700 MD) é possível identificar uma distribuição de grãos bastante refinada, com grãos alongados de ferrita, no mesmo sentido do processo de laminação da chapa, observa-se grãos de perlita distribuídos na matriz.

O trabalho de Fripp, (2017) cita, para este material, uma estrutura ferrita com grãos de bainita distribuída na matriz, porem com microscópio ótico não foi possível fazer essa distinção, pela resolução desta técnica de caracterização.

Para caracterização da região próxima ao furo, foram realizadas imagens com 2 ampliações 100x e 500x, para caracterizar sua microestrutura, nesta região que podemos considerar, como sendo de grande relevância para a resistência mecânica da peça.

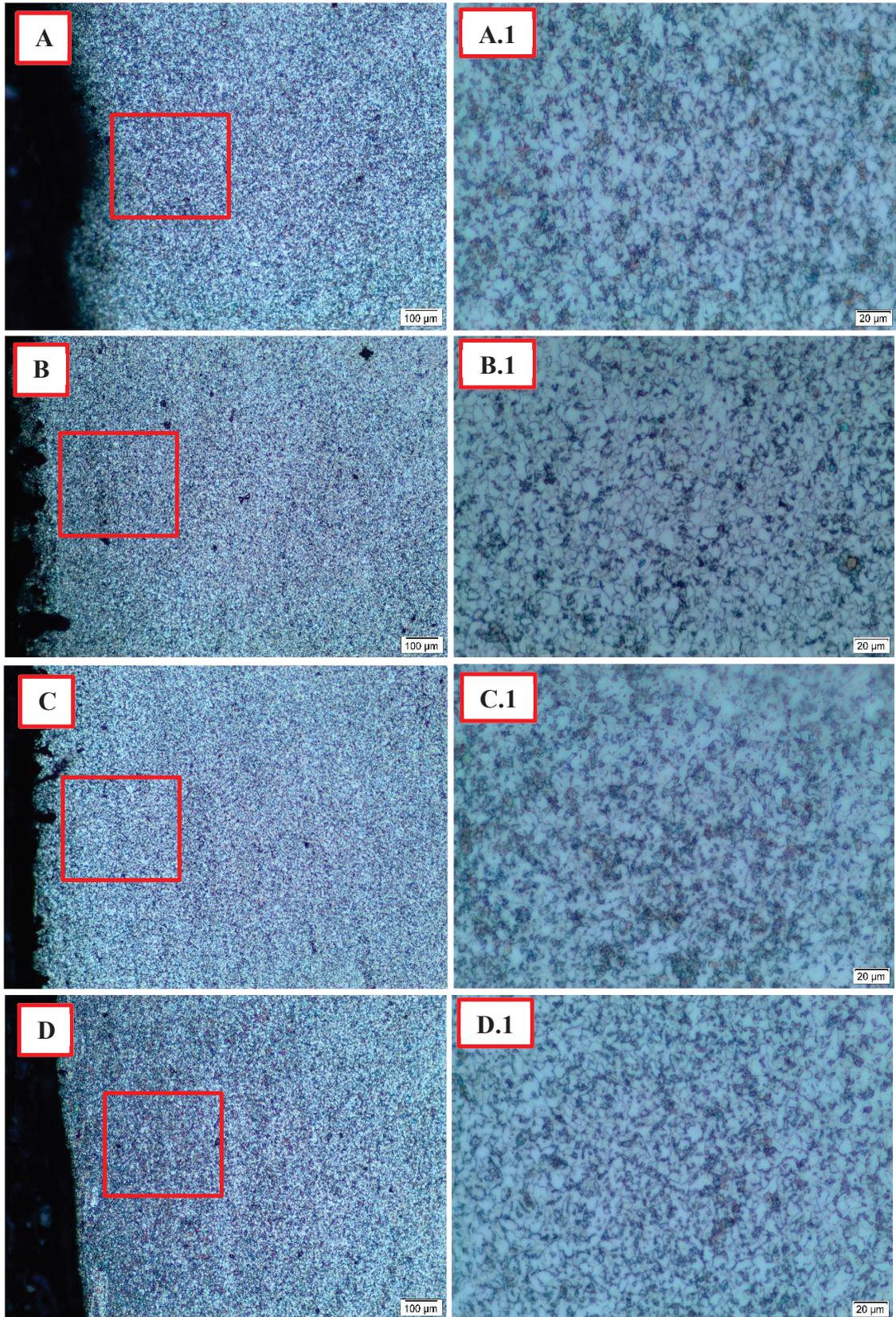
A Figura 98, apresenta a microestrutura encontrada no material STRENX 700 MCD, com manufatura por escoamento utilizando condições de fabricação distintas; condição 1 (RPM 2000 e F 250 mm/min) e condição 2 (RPM 1500 e F 300 mm/min) e técnicas de refrigeração diferentes (fabricação a seco e com MQL). O Quadro 20 apresenta as condições de manufatura e as ampliações definidas para o aço STRENX 700 MCD:

Quadro 20 - Condições de manufatura e as ampliações definidas para STRENX 700

Imagem	Material	Fluido	Condição	Parâmetros	Ampliação
A	Strenx 700	Seco	Condição 1	RPM2000 e F200	100 x
A.1	Strenx 700	Seco	Condição 1	RPM2000 e F200	500 x
B	Strenx 700	MQL	Condição 1	RPM2000 e F200	100 x
B.1	Strenx 700	MQL	Condição 1	RPM2000 e F200	500 x
C	Strenx 700	Seco	Condição 2	RPM1500 e F300	100 x
C.1	Strenx 700	Seco	Condição 2	RPM1500 e F300	500 x
D	Strenx 700	MQL	Condição 2	RPM1500 e F300	100 x
D.1	Strenx 700	MQL	Condição 2	RPM1500 e F300	500 x

Fonte: Próprio autor, (2020).

Figura 98 - Metalografia das condições analisadas do aço estrutural Strenx 700



Fonte: Próprio autor, (2020).

Observando as micrografias da borda do furo, região onde espera-se uma variação microestrutural, seja de tamanho de grão ou de modificação de constituintes, devido ao atrito (aquecimento) provocado pela ferramenta de corte e a peça, região na qual, há uma grande deformação plástica devido a força de corte aplicada e um resfriamento mais lento devido a característica dos fluidos aplicados nesta pesquisa (sem fluido e MQL).

Com isso, observa-se em todas as amostras (A, B, C e D) um certo refinamento dos grãos, provavelmente devido a recristalização provada pelas altas temperaturas do processo de furação.

Percebe uma modificação microestrutural da ferrita (α), que na metalografia do metal base acrescenta-se alongada no sentido da laminação da chapa, conforme Figura 95 em “B”, já nas condições avaliadas, em todas as metalógrafias percebe-se grãos de ferrita equiaxiais distribuídos ao longo de toda a matriz, nota-se também o constituinte perlita nos contornos de grão, também é possível identificar poucos pontos de coloração próximo ao marrom (escuro) os quais, possivelmente são de carbonetos de titânio, porém só poderão ser identificados pela avaliação de carbonetos em microscópio eletrônico de varredura por caracterização via sonda de espectroscopia de energia de raio X.

Não há indicativos de grandes alterações microestruturais entre as condições de fabricação analisadas, exceto pela recristalização e refinamento dos grãos e modificações da ferrita equiaxial, mudança está, perceptível em todas as condições para este material.

Fripp, (2017) também observou em sua análise da microestrutura em furação por escoamento as mesmas características observadas nesta pesquisa, sendo possível perceber uma matriz ferrítica de grãos equiaxiais.

Shackelford, (2014) comenta que o resultado microestrutural da exposição a alta temperatura é chamado de recristalização, o que evidencia a característica do encruamento gerado durante a fabricação da usinagem, tal processo de recristalização ocorre espontaneamente, sendo estável em comparação com a estrutura original, porém contém uma grande concentração nos contornos de grão e nas interfaces, o que utilizado para da estabilidade ao sistema e melhor sua estrutura.

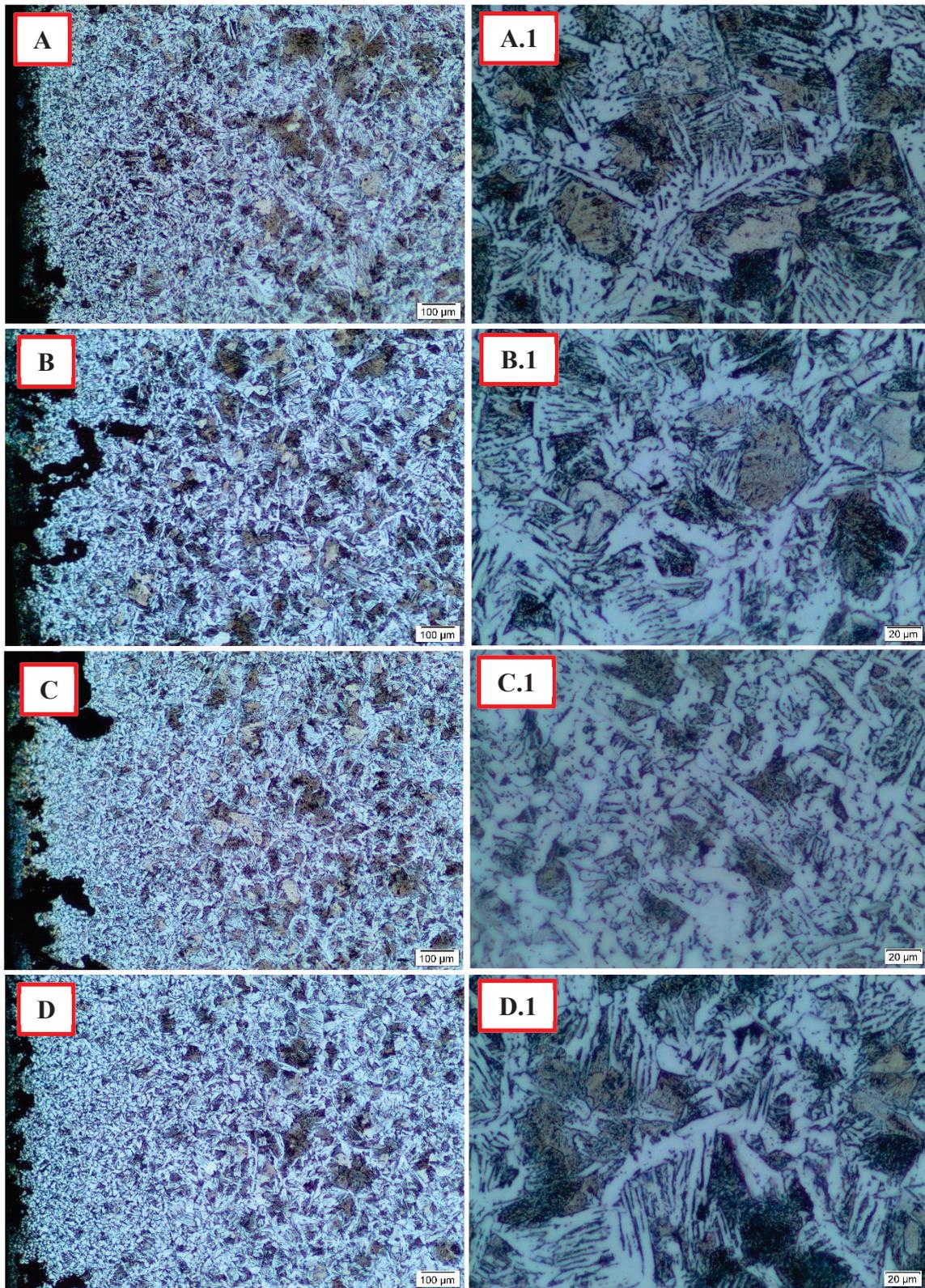
A Figura 99, apresenta a microestrutura encontrada no material ASTM A 36, também com fabricação por escoamento utilizando condições de usinagem distintas; condição 1 (RPM 2000 e F 250 mm/min) e condição 2 (RPM 1500 e F 300 mm/min) e técnicas de refrigeração diferentes (fabricação a seco e com MQL). O Quadro 21 apresenta as condições de manufatura e as ampliações definidas para o aço ASTM A-36:

Quadro 21 - Condições de manufatura e as ampliações definidas para o aço ASTM A-36

Imagem	Material	Fluido	Condição	Parâmetros	Ampliação
A	A 36	Seco	Condição 1	RPM2000 e F200	100 x
A.1	A 36	Seco	Condição 1	RPM2000 e F200	500 x
B	A 36	MQL	Condição 1	RPM2000 e F200	100 x
B.1	A 36	MQL	Condição 1	RPM2000 e F200	500 x
C	A 36	Seco	Condição 2	RPM1500 e F300	100 x
C.1	A 36	Seco	Condição 2	RPM1500 e F300	500 x
D	A 36	MQL	Condição 2	RPM1500 e F300	100 x
D.1	A 36	MQL	Condição 2	RPM1500 e F300	500 x

Fonte: Próprio autor, (2020).

Figura 999 - Metalografia das condições analisadas do aço ASTM A 36



Fonte: Próprio autor, (2020).

Nas micrografias da borda do furo, podemos identificar uma mudança microestrutural em todas condições avaliadas. Percebe-se um aumento relevante no tamanho de grão da borda do furo, com relação ao material base (Figura 99).

Observa-se uma alteração da ferrita (α) equiaxial identificada no metal base que se transformou em grãos de ferrita alongada e ferrita de Widmanstätten. Esta mudança pode ser atribuída possivelmente a alta temperatura durante o processo de furação, provocado pelo atrito da ferramenta e a peça a ser usinada, a deformação plástica provocada pela ferramenta e o resfriamento mais lento da peça, podem justificar tal modificação.

Não há indicativos de grandes alterações microestruturais entre as condições de fabricação analisadas, exceto pela recristalização e refinamento dos grãos e modificações da ferrita equiaxial, mudança está, perceptível em todas as condições para este material.

Na condição 1, o material apresenta como produtos metalúrgicos ferrita e perlita (grãos escuros), com agregados de carbonetos nos contornos de grão. O grão tem tamanho uniforme, aparentando na ZTMA mesmo tamanho que no material base.

Já para a condição 2, além da matriz ferrítica com grãos perlíticos, há o refinamento do grão devido ao encruamento sofrido pelo trabalho a frio. Pode ser assim colocado pois essa condição apresenta baixa rotação, o que provoca menos calor proveniente do atrito peça/ferramenta e alta pressão da ferramenta contra a peça, devido ao avanço elevado.

Conforme Stoeterau, (2019) é muito importante avaliar a microestrutura dos materiais que estão expostos a estes fatores e suscetíveis ao aparecimento de falhas que podem comprometer a funcionalidade dos componentes.

APÊNDICE J – Resultados do desgaste das ferramentas

Para Araújo, Mougo, Campos (2020), os principais mecanismos de desgaste e falha são:

- a) **Abrasão:** na usinagem, as partículas que causam abrasão são do material da peça;
- b) **Adesão:** perda de material da ferramenta como consequência do contato em alta pressão e temperatura na região de agarramento na superfície de saída;
- c) **Difusão atômica:** é caracterizado pela transferência difusional de massa da ferramenta para o cavaco ou da ferramenta para a superfície usinada;
- d) **Reação química:** Ocorre quando a ferramenta e a peça são usadas em um ambiente com produtos químicos ativos;
- e) **Deformação plástica:** É a deformação permanente da geometria da ferramenta durante o processo de usinagem;
- f) **Trincas por fadiga:** ocorrem pelas fadigas mecânicas e térmicas que a ferramenta é submetida durante o corte;
- g) **Lascamento:** são causadas pela variação de temperatura durante o corte.

1) Desgaste Condição 1: RPM1274 e Vf446 mm/min ASTM A-36 Processo de furação convencional

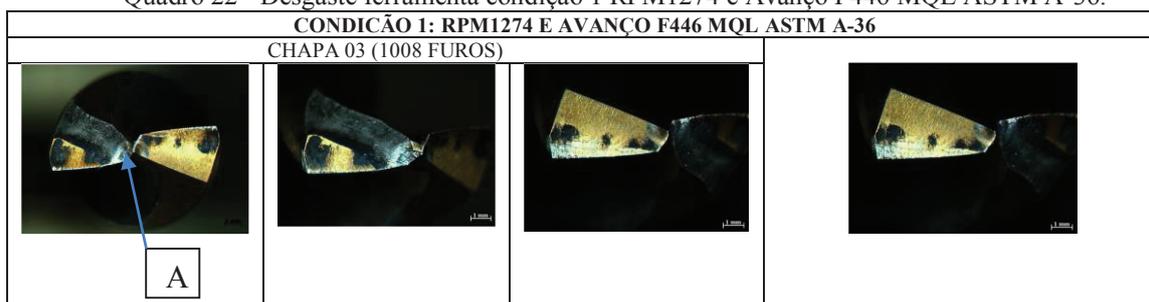
Na perfuração do material ASTM A-36, para o processo de furação convencional os parâmetros definidos Condição 1 à Seco (1274 rpm e $f = 446\text{mm/min}$) perfurou 4000 furos, condição 1 MQL 1008 furos.

Na perfuração do material ASTM A-36, para os parâmetros definidos condição 2 à Seco (500 rpm e $f = 100\text{ mm/min}$) 4942 furos, na condição 2 MQL perfurou 478 furos.

A análise das perfurações realizadas representa uma variação de produtividade na condição 1 de 23,5% melhor que a condição 2 (à Seco) e no MQL a condição 1 é 47,4% melhor que a condição 2. Durante todas as perfurações, para cada condição realizada foi colocada uma broca nova e foram repetidas três vezes o ensaio para cada condição e registrou-se as imagens da evolução do desgaste para todas as repetições no processo de furação convencional.

Na condição 1 (1274 rpm e Avanço F 446 mm/min), MQL para o material ASTM A-36 o Quadro 22 ilustra esta evolução do desgaste:

Quadro 22 - Desgaste ferramenta condição 1 RPM1274 e Avanço F446 MQL ASTM A-36.



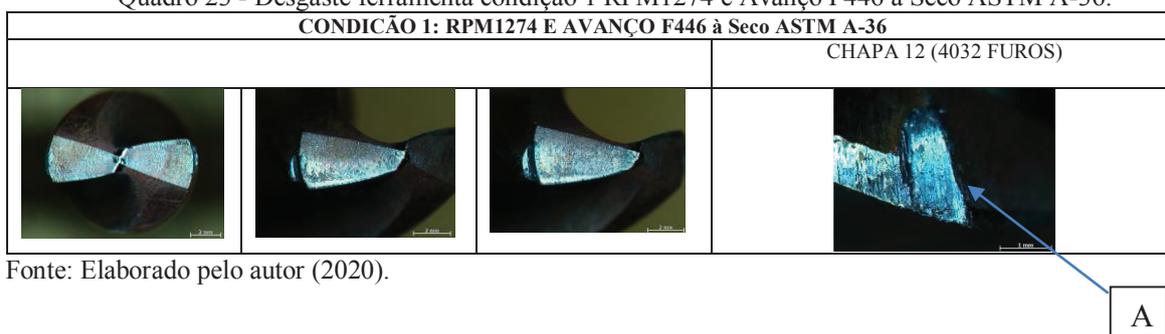
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Esta ferramenta realizou **1008 furos** e chegou ao final da vida útil para o material ASTM A-36 na condição MQL. Houve lascamento da aresta principal de corte (A) e da superfície principal de folga caracterizando o fim da vida útil da broca. Machado (2012), considera a vida da ferramenta muito importante nos dias atuais e a análise com materiais e condições diferenciadas retrata experiência para as indústrias.

Para Araújo, Mougo, Campos (2020), uma ferramenta de corte sofre consequências de ações extremas como grandes tensões, deformações plásticas, atrito e geração de calor e é importante que as arestas de corte tenham um tempo de vida útil cuja utilização técnica e economicamente viável.

A evolução do desgaste da ferramenta utilizadas para o processo de furação convencional na condição 1 (1274 rpm e Avanço F 446 mm/min), à Seco para o material ASTM A-36 conforme o Quadro 23:

Quadro 23 - Desgaste ferramenta condição 1 RPM1274 e Avanço F446 à Seco ASTM A-36.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

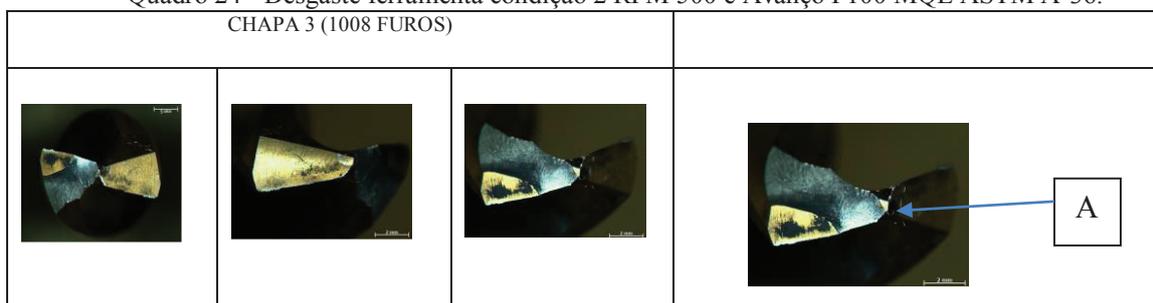
A ferramenta realizou **4032 furos** e chegou ao final da vida útil para o material ASTM A-36 na condição à Seco. Observa-se no Quadro 22, que ao final das perfurações a broca apresenta desgaste e perda do fio na aresta principal de corte (A). Machado (2012), afirma que em algumas condições se pode fazer afiações na ferramenta antes desta chegar ao final da sua vida útil e proporcionar a partir das afiações um prolongamento da vida útil e redução do desgaste. Na pesquisa pretendia-se avaliar o desgaste e quantas perfurações

seriam possíveis de serem realizadas, neste sentido buscou-se ir ao extremo em todas as condições de contorno avaliadas.

2) Desgaste Condição 2: RPM500 e Vf100 mm/min ASTM A-36 Processo de furação convencional

A evolução do desgaste da ferramenta utilizadas para o processo de furação convencional na condição 2 (500 rpm e avanço F100 mm/min) MQL, para o material ASTM A-36 apresenta-se conforme o Quadro 24:

Quadro 24 - Desgaste ferramenta condição 2 RPM 500 e Avanço F100 MQL ASTM A-36.

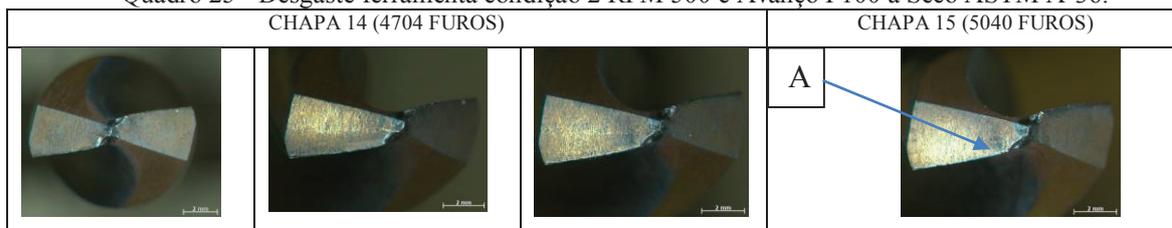


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A ferramenta realizou **1008 furos** e chegou ao final da vida útil para o material ASTM A-36 na condição MQL. No final da vida da ferramenta observa-se desgaste, e lascamento da aresta principal de corte (A). Machado (2012), afirma que avaliar o desgaste é importante para verificar a qualidade da ferramenta, bem como a capacidade de rendimento da mesma. E na pesquisa, a partir dos resultados obtidos foi possível avaliar as melhores condições de fabricação.

A evolução do desgaste da ferramenta utilizadas para o processo de furação convencional na condição 2 (500 rpm e avanço F100 mm/min), à Seco para o material ASTM A-36 visualiza-se conforme o Quadro 25:

Quadro 25 - Desgaste ferramenta condição 2 RPM 500 e Avanço F100 à Seco ASTM A-36.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A ferramenta realizou **5040 furos** para condição 2 (500 rpm e avanço F100 mm/min), à Seco para o material ASTM A-36 e ainda apresenta condições de usinagem, na imagem (A)

observa-se esta integridade da aresta de corte. Com relação a dimensão da perfuração está apresentando variações desqualificando a integridade da perfuração devido ao desgaste. Machado (2012), salienta que a análise dimensional é importante para avaliar a qualidade da usinagem e a partir desta análise da qualidade da usinagem, na pesquisa, Se pode afirmar que esta broca chegou ao final da sua vida útil para o material ASTM A-36 na condição à Seco.

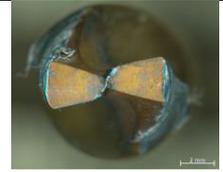
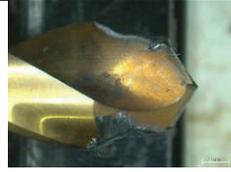
3) Desgaste Condição 1: RPM1274 e Vf446 mm/min STRENX 700 MCD Processo de furação convencional

Para o material STRENX 700 MCD, para os parâmetros definidos Condição 1 à Seco (1274 rpm e Vf = 446 mm/min) perfurou uma média de 58 furos MQL e à Seco 14 furos.

Durante todas as perfurações, para cada condição realizada foi colocada uma broca nova e foram repetidas três vezes o ensaio para cada condição e registrou-se as imagens da evolução do desgaste para todas as repetições no processo de furação convencional.

A condição de desgaste da ferramenta para o processo de furação convencional na condição 1, MQL para o material STRENX 700 MCD conforme o Quadro 26:

Quadro 26 - Condição 1: RPM1274 e veloc. avanço Vf446mm/min MQL STRENX 700 MCD.

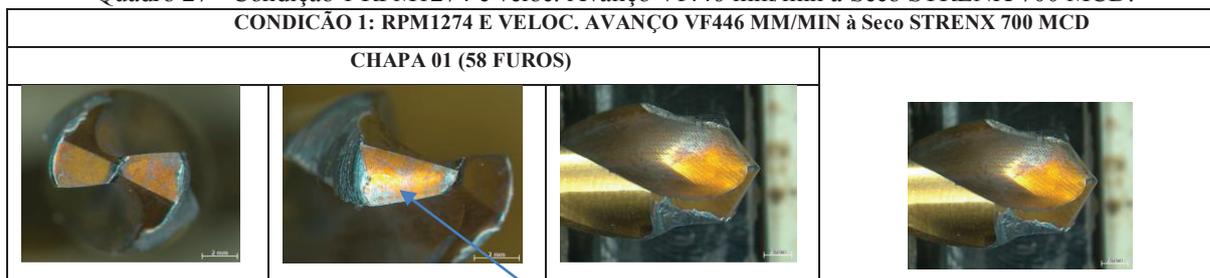
CONDICÃO 1: RPM1274 E VELOC. AVANÇO VF446 MM/MIN MQL STRENX 700 MCD			
CHAPA 01 (58 FUROS)			
			

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A ferramenta chega ao final da vida útil apresentando a condição de desgaste para o material STRENX 700 MCD com lubrificação MQL. Observa-se que houve arrancamento da aresta secundária de corte e da aresta principal de corte e desgaste na ponta de corte. Esta condição de produtividade apresenta-se inviável para o processo de furação convencional porque a ferramenta não consegue desempenhar e executar a atividade e Machado (2012), afirma que nestas condições os parâmetros de fabricação devem ser reavaliados.

No Quadro 27, visualiza-se à condição de desgaste da ferramenta utilizadas para o processo de furação convencional na condição 1, à Seco para o material STRENX 700 MCD:

Quadro 27 - Condição 1 RPM1274 e veloc. Avanço Vf446 mm/min à Seco STRENX 700 MCD.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A

A ferramenta realizou 14 furos e chegou ao final da vida útil e apresenta a condição de desgaste para o material STRENX 700 MCD na condição à Seco. Houve Arrancamento da aresta secundária de corte e da aresta principal de corte e desgaste na ponta de corte.

O desgaste frontal (ou de flanco), é causado pelo contato entre ferramenta e peça (A). É o mais comum dos tipos de desgaste. É incentivado pelo aumento da velocidade de corte.

Segundo Klocke (2011), o desgaste frontal origina danos na superfície devido ao atrito e tensões geradas devido a geometria tribológica da ferramenta de corte.

Para Araújo, Mougo, Campos (2020), tem-se deformação plástica ocorrendo a deformação permanente da geometria da ferramenta durante o processo de usinagem.

Conclui-se que esta condição de produtividade se apresenta inviável para o processo de furação convencional porque a ferramenta não consegue desempenhar e executar a atividade.

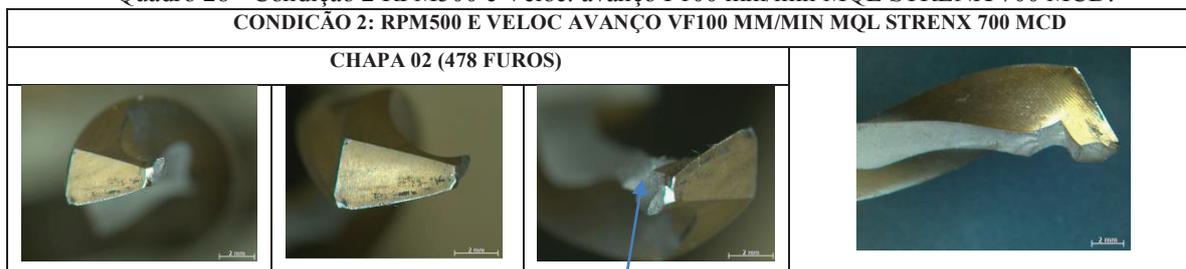
4) Desgaste Condição 2: RPM500 e Vf100 mm/min STRENX 700 MCD Processo furação convencional

Os parâmetros definidos na condição 2 (500 rpm e Vf=100mm/min), material STRENX 700 MCD à Seco perfurou uma média de 74 furos e MQL 478 furos.

Durante todas as perfurações, para cada condição realizada foi colocada uma broca nova e foram repetidas três vezes o ensaio para cada condição e registrou-se as imagens da evolução do desgaste para todas as repetições no processo de furação convencional.

A Evolução do desgaste da ferramenta utilizada para o processo de furação convencional na condição 2, MQL para o material STRENX 700 MCD conforme o Quadro 28:

Quadro 28 - Condição 2 RPM500 e Veloc. avanço F100 mm/min MQL STRENX 700 MCD.
CONDICÃO 2: RPM500 E VELOC AVANÇO VF100 MM/MIN MQL STRENX 700 MCD



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

B

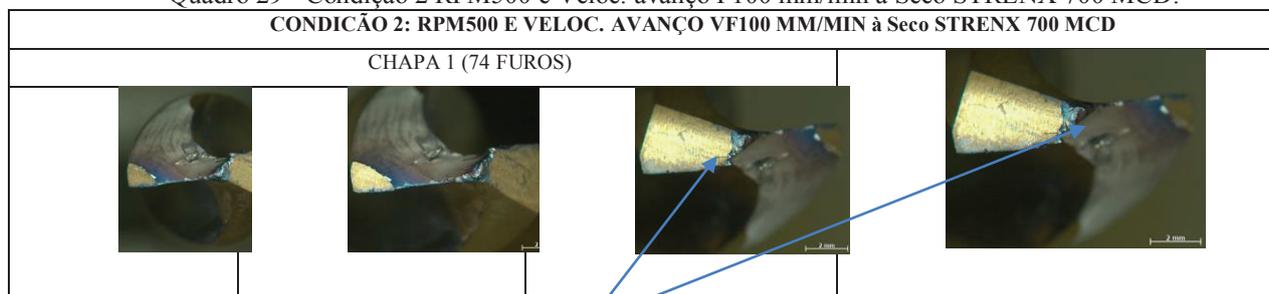
A ferramenta realizou 478 furos e chegou ao final da vida útil e apresenta a condição de desgaste para o material STRENX 700 MCD com lubrificação MQL. Houve arrancamento da superfície secundária de folga, aresta principal de corte e da ponta de corte.

Na imagem (B), visualiza-se um dano na superfície da ferramenta, para Klocke (2011) danos na superfície da ferramenta ocorrem como resultado de tensões tribológicas alternadas. Nas áreas de superfície de tensões, tensões mecânicas alternadas levam a alterações estruturais, fadiga, trincas, crescimento de trincas e até a separação de partículas de desgaste.

Para Araújo, Mouro, Campos (2020), tem-se lascamento causado pela variação da temperatura durante o corte.

A Evolução do desgaste da ferramenta utilizada para o processo de furação convencional na condição 2, à Seco para o material STRENX 700 MCD conforme o Quadro 29:

Quadro 29 - Condição 2 RPM500 e Veloc. avanço F100 mm/min à Seco STRENX 700 MCD.
CONDICÃO 2: RPM500 E VELOC. AVANÇO VF100 MM/MIN à Seco STRENX 700 MCD



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

C

A ferramenta realizou 74 furos e chegou ao final da vida útil para o material STRENX 700 MCD sem lubrificação à Seco. Houve arrancamento da superfície principal de folga,

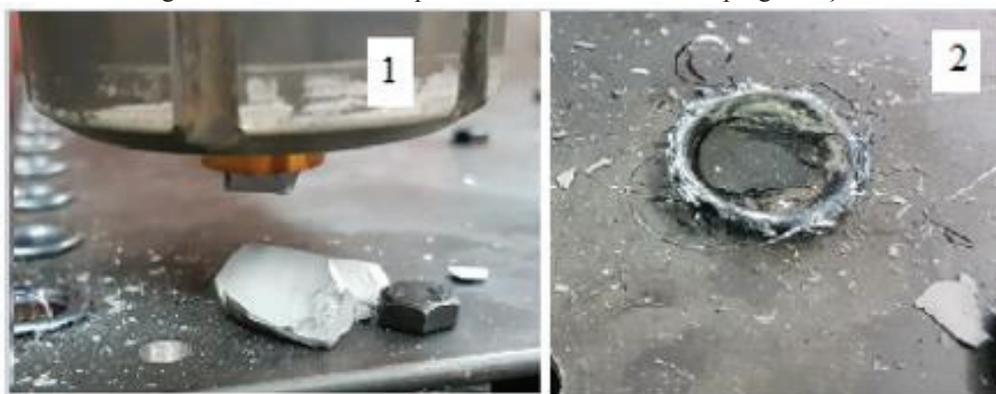
aresta principal de corte e da ponta de corte. Em (C), observa-se a avaria mecânica em desenvolvimento e deformação plástica ocorrem por cisalhamento devido as altas tensões atuantes na interface ferramenta-peça (MACHADO, 2012).

Para Araújo, Mougo, Campos (2020), a deformação plástica é a deformação permanente da geometria da ferramenta durante o processo de usinagem.

5) Desgaste Condição 1: RPM2000 e Vf250 mm/min ASTM A-36 Processo de furação por escoamento

Percebe-se na Figura 100, Na imagem 1 e 2, uma broca que quebrou durante a perfuração devido a um erro de programação:

Figura 100 - Ferramenta quebrou devido a um erro de programação.

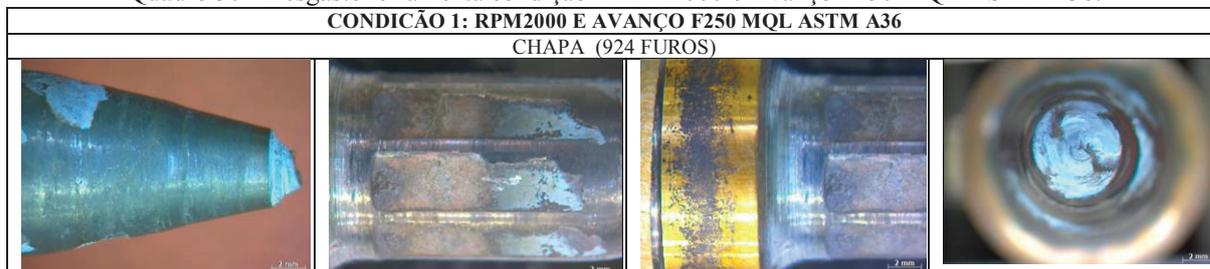


Fonte: Próprio autor (2020).

A Figura 100, ilustra o erro de programação, A broca não iniciou a perfuração em alta rotação, o que ocasionou a quebra.

Na condição 1 (rpm 2000 e veloc. avanço Vf250 mm/min), MQL para o material ASTM A-36 o Quadro 30 ilustra esta evolução do desgaste:

Quadro 30 - Desgaste ferramenta condição 1 RPM2000 e Avanço F250 MQL ASTM A36.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Visualiza-se na condição 1 RPM2000 e Veloc. avanço Vf250 mm/min para o material ASTM A-36 MQL que a broca perfurou 924 furos e apresenta aderência, desgaste e quebra da ponta da broca.

O desgaste por abrasão caracteriza-se pela aparência de sulcos na região desgastada em ferramentas de corte. Segundo Klocke (2011), o desgaste mecânico ou abrasivo ocorre em velocidades de corte baixas e altas e forma ranhuras na ferramenta.

Para Araújo, Mougo, Campos (2020), a abrasão é causada por partículas do material da peça que está em processo de fabricação.

Na condição 1 (rpm 2000 e Avanço F 250 mm/min), à Seco para o material ASTM A36 o Quadro 31 ilustra esta evolução do desgaste:



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Visualiza-se na condição 1 RPM2000 e avanço F250 para o material ASTM A36 à Seco que a broca perfurou 1352 furos e apresenta maior lascamento, aderência e desgaste por abrasão.

O desgaste por abrasão caracteriza-se pela aparência de sulcos na região desgastada em ferramentas de corte. Segundo Klocke (2011), o desgaste mecânico ou abrasivo ocorre em velocidades de corte baixas e altas e forma ranhuras na ferramenta.

Para Araújo, Mougo, Campos (2020), a abrasão é causada por partículas do material da peça que está em processo de fabricação.

6) Desgaste Condição 1: RPM1500 e Vf300 mm/min ASTM A-36 Processo de furação por escoamento

Na condição 2 (rpm 1500 e veloc. avanço Vf 300 mm/min), MQL para o material ASTM A-36 o Quadro 32 ilustra esta evolução do desgaste:

Quadro 32 - Desgaste ferramenta condição 1 RPM1500 e Veloc. avanço Vf 300 mm/min ASTM A-36 MQL.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Observa-se que esta condição na média das três repetições conseguiu perfurar 134 furos e a broca não suportou aos esforços e se quebrou. Para Lopes (1994), a ferramenta de escoamento trabalha em condições extremas e condições de contorno combinando altas rotações e avanços proporcionam condições inadequadas para a fabricação e este parâmetro torna-se inviável para o material ASTM A-36 porque inviabiliza a relação custo-benefício.

Para Araújo, Mougo, Campos (2020), o lascamento é causado pela variação de temperatura durante o corte.

Na condição 2 (rpm 1500 e veloc. avanço Vf 300 mm/min), à Seco para o material ASTM A-36 o Quadro 33 ilustra esta evolução do desgaste:

Quadro 33 - Desgaste ferramenta condição 2 RPM1500 e Veloc. avanço Vf 300 mm/min ASTM A-36 à Seco.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Observa-se que esta condição na média das três repetições conseguiu perfurar 148 furos e a broca não suportou aos esforços e se quebrou. Caracterizando este parâmetro inviável para o material ASTM A-36 porque inviabiliza a relação custo-benefício.

Observa-se também na ponta da broca quebrada fundida junto ao corpo de prova lascamento, aderência e desgaste por abrasão e difusivo.

O desgaste por abrasão caracteriza-se pela aparência de sulcos na região desgastada em ferramentas de corte. Segundo Klocke (2011), o desgaste mecânico ou abrasivo ocorre em velocidades de corte baixas e altas e forma ranhuras na ferramenta. Também apresenta o desgaste difusivo é a mudança de posição ativada termicamente de átomos individuais. Isso envolve um processo físico-químico dependente da temperatura, no qual a resistência ao desgaste do material da ferramenta de corte pode ser reduzida por substâncias estranhas difundidas.

Para Araújo, Mougo, Campos (2020), a abrasão é causada por partículas do material da peça que está em processo de fabricação e o lascamento é causado pela variação de temperatura durante o corte.

7) Desgaste Condição 1: RPM2000 e Vf250 mm/min STRENX 700 MCD Processo de furação por escoamento

Visualiza-se nos Quadros abaixo a quantidade de perfurações executadas para o material STRENX 700 MCD, para o processo de furação por escoamento. Durante todas as perfurações, para cada condição realizada foi colocada uma broca nova e foram repetidas três vezes o ensaio para cada condição e registrou-se as imagens da evolução do desgaste para todas as repetições no processo de furação por escoamento:

Na condição 1 (rpm 2000 e Veloc. avanço Vf 250 mm/min), MQL para o material STRENX 700 MCD o Quadro 34 ilustra esta evolução do desgaste:

Quadro 34 - Desgaste ferramenta condição 1 RPM2000 e Veloc. avanço Vf 250 mm/min MQL STRENX 700.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

B

A

Visualiza-se na condição 1 RPM2000 e Veloc. avanço Vf 250 mm/min para o material STRENX 700 MCD MQL que a broca perfurou 462 furos e apresenta aderência e desgaste por abrasão.

O desgaste por abrasão caracteriza-se pela aparência de sulcos na região desgastada em ferramentas de corte. (Regiões A). Segundo Klocke (2011), o desgaste mecânico ou abrasivo ocorre em velocidades de corte baixas e altas e forma ranhuras na ferramenta.

Nesta condição apresenta também o desgaste de entalhe (B) não é propriamente um mecanismo, mas sim uma forma de desgaste, envolve Abrasão, *Attrition* e possivelmente difusão em altas velocidades de corte e eles são bastante influenciados pelas interações com a atmosfera.

Machado (2012), afirma que evidências que óxidos se formam continuamente e se aderem na ferramenta e a quebra das junções de aderência entre os óxidos e a ferramenta pode ocasionar a remoção do material da superfície desta.

Para Araújo, Mougo, Campos (2020), a aderência ou adesão é a perda de material da ferramenta como consequência do contato em alta pressão e temperatura na região de agarramento da superfície de saída.

Na condição 1 (rpm 2000 e veloc. avanço Vf 250 mm/min), à Seco para o material STRENX 700 MCD o Quadro 35 ilustra esta evolução do desgaste:

Quadro 35 - Desgaste ferramenta condição 1 RPM2000 e Veloc. avanço Vf250 mm/min à Seco STRENX 700 .



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

C

Visualiza-se na condição 1 RPM2000 e avanço F250 para o material STRENX 700 MCD à Seco que a broca perfurou 462 furos e apresenta aderência, desgaste e quebra da ponta da broca e Trincas conforma (C).

As trincas promovem a abertura de uma fenda no corpo da ferramenta de corte, sem perda de material, geralmente de origem térmica, mas ela pode se transformar em sulco, lasca ou quebra (MACHADO 2012).

Para Araújo Araújo, Mougo, Campos (2020), a trinca por fadiga ocorre pelas fadigas mecânicas e térmicas que a ferramenta é submetida durante o corte.

A análise de (C) caracteriza além da trinca o desgaste de cratera é o que ocorre na superfície de saída da ferramenta, causado pelo atrito entre a ferramenta e o cavaco.

8) Desgaste Condição 2: RPM1500 e Vf300 mm/min STRENX 700 MCD Processo de furação por escoamento

As quantidades de perfurações atingidas na condição RPM 1500 F300 MQL uma média de 462 furos e à Seco uma média de 616 furos para o material STRENX 700 MCD. Durante todas as perfurações, para cada condição realizada foi colocada uma broca nova e foram repetidas três vezes o ensaio para cada condição e registrou-se as imagens da evolução do desgaste para todas as repetições no processo de furação por escoamento:

Na condição 2 (rpm 1500 e Veloc. Avanço Vf 300 mm/min), MQL para o material STRENX 700 MCD o Quadro 36 ilustra esta evolução do desgaste:

Quadro 36 - Desgaste ferramenta condição 2 RPM1500 e Veloc. avanço Vf 300mm/min MQL STRENX 700.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Visualiza-se na condição 2 RPM1500 e Veloc. avanço F300 mm/min para o material STRENX 700 MCD MQL que a broca perfurou 462 furos e apresenta desgaste difusivo, conforme (D).

Segundo Klocke (2011), o desgaste difusivo é a mudança de posição ativada termicamente de átomos individuais. Isso envolve um processo físico-químico dependente da temperatura, no qual a resistência ao desgaste do material da ferramenta de corte pode ser reduzida por substâncias estranhas difundidas.

Para Araújo, Mougo, Campos (2020), a difusão atômica é caracterizado pela transferência difusional de massa da ferramenta para o cavaco ou da ferramenta para a superfície usinada.

Na condição 2 (rpm 1500 e Veloc. avanço Vf 300 mm/min), à Seco para o material STRENX 700 MCD o Quadro 37 ilustra esta evolução do desgaste:

Quadro 37 - Desgaste ferramenta condição 2 RPM1500 e Veloc. avanço F300 mm/min à Seco STRENX 700.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

E

Visualiza-se na condição 2 RPM1500 e Veloc. avanço Vf 300 mm/min para o material STRENX 700 MCD à Seco que a broca perfurou 616 furos e apresenta o desgaste por aderência e arrastamento *Attrition* Conforme (E). O desgaste por adesão é responsável pela formação e crescimento de APC – Aresta Postiça de corte (KLOCKE, 2011).

Para Araújo, Mougo, Campos (2020), a adesão é a perda de material da ferramenta como consequência do contato em alta pressão e temperatura na região de agarramento da superfície de saída.

9) Correlação do desgaste das ferramentas Processo de furação convencional e Processo de furação por escoamento

Observa-se que o processo de fabricação, a condição de fabricação, o material da peça e da ferramenta, a maneira de lubrificação influenciam na vida útil da ferramenta.

E por questões econômicas é importante analisar qual o melhor parâmetro e processo a ser desenvolvido para a manufatura. O Quadro 38 correlaciona os resultados observados na pesquisa com relação aos parâmetros utilizados, lubrificante, material empregado e quantidade de furos realizados:

Quadro 388 - Correlação Vida da ferramenta x Processo.

Processo	Material	Parâmetro:	Condição	Quant. Furos realizados:	
Furação Convencional	ASTM A-36	RPM1274 VF446 mm/min	à Seco	4032 furos	
		RPM 500 VF100 mm/min		5040 furos	
		RPM1274 VF446 mm/min	MQL	1008 furos	
		RPM 500 VF100 mm/min		1008 furos	
Furação Escoamento		STRENX 700 MCD	RPM 2000 VF 250 mm/min	à Seco	1352 furos
			RPM 1500 VF 300 mm/min		148 furos
			RPM 2000 VF 250 mm/min	MQL	924 furos
			RPM 1500 VF 300 mm/min		134 furos
Furação Convencional	STRENX 700 MCD		RPM1274 VF446 mm/min	à Seco	58 furos
			RPM 500 VF100 mm/min		74 furos
		RPM1274 VF446 mm/min	MQL	58 furos	
		RPM 500 VF100 mm/min		478 furos	
Furação Escoamento		STRENX 700 MCD	RPM 2000 VF 250 mm/min	à Seco	462 furos
			RPM 1500 VF 300 mm/min		616 furos
			RPM 2000 VF 250 mm/min	MQL	462 furos
			RPM 1500 VF 300 mm/min		462 furos

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A análise do Quadro 36, demonstra que para o material ASTM A 36 no processo de furação convencional usinando a seco a melhor condição é RPM 500 VF 100 mm/min perfurando 5040 furos e a ferramenta não apresenta mais condições de fabricação.

Para o processo de furação por escoamento, material ASTM A-36, a melhor condição é RPM 2000 VF 250 mm/min à Seco 1352 furos e a ferramenta não apresenta mais condições de fabricação

Para o material STRENX 700 MCD, no processo de furação convencional usinando a seco e em alta rotação mesmo com lubrificação a ferramenta não suporta o processo e tem-se o final de sua vida útil com um número pequeno de perfurações. A melhor condição é RPM500 VF100 mm/min com lubrificação (MQL) perfurando 478 furos e a ferramenta chega ao final da sua vida útil com 478 perfurações.

Para o processo de furação por escoamento, material STRENX 700 MCD, conclui-se que a melhor condição é RPM 1500 e VF300 mm/min à Seco, perfurando 616 furos.

Conforme Fragoso et al. (2016), a busca pela sustentabilidade ambiental, e a redução dos desperdícios de materiais e matérias-primas são ações muito importantes nos processos industriais atualmente. A redução dos lubrificantes utilizados, os custos de fabricação e a técnica MQL apresenta-se vantajosa nas condições pesquisadas.

Em uma comparação de quantidade de furos perfurados com relação ao tempo de durabilidade em minutos observa-se na Tabela 31:

Tabela 31 - Custos (R\$) por furo para os dois métodos de furação estudados.

Processo	Material	Condição	Fluído	Qt furos perfurados	Tempo durabilidade (minutos)
Furação Convencional	ASTM A-36	RPM 500 VF100 mm/min	à Seco	5040 furos	1680
Furação Escoamento		RPM 2000 VF 250 mm/min	à Seco	1352 furos	450,6
Furação Convencional	STRENX 700 MCD	RPM500 VF100 MM/MIN	MQL	478 furos	159,3
Furação Escoamento		RPM1500 VF300 MM/MIN	à Seco	616 furos	205,3

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O tempo de durabilidade em minutos das brocas, conforme a Tabela 31 para o material ASTM A-36 e no processo de furação convencional é (1680 minutos de usinagem) e para furação por escoamento (450,6 minutos de conformação).

Segundo Lopes (1994), realizou um número total de 800 furos com uma só ferramenta em furação por escoamento e afirma que este número é muito inferior aos resultados de vida (10.000 furos) encontrados na literatura, E para esta quantia de furos realizados (800 furos), foi possível verificar um pequeno desgaste na ferramenta.

Na pesquisa realizada e considerando as condições definidas se pode afirmar que no caso da perfuração dos aços ACBL, como o STRENX 700 o número de perfurações não condiz com a literatura e observou-se um aumento considerável dos desgastes, desgaste de ponta pode ser solucionado com afiações sucessivas sem prejuízos para o processo. As aderências e incrustações, devem ser retiradas da ferramenta de forma artesanal com lima diamantada ou lixa fina. O aparecimento de trincas observou-se em condições aonde o aporte térmico ocorreu devido ao lubrificante, recomenda-se a substituição do lubrificante ou trabalhar a seco para reduzir este problema.

APÊNDICE K – Ensaio de Fadiga realizado nas perfurações.

Ensaio de fadiga em materiais é um processo que promove a falha mecânica local, é ocasionado por carregamentos alternados e variáveis e geralmente com valor abaixo do que uma carga estática que leva a uma ruptura completa. A falha mecânica por fadiga pode ocorrer de diversas maneiras sendo por trincas ou por ruptura completa após um número suficiente de flutuações. Para Shackelford (2014), a fadiga é o fenômeno geral de falha de material após vários ciclos de carregamento a um nível de tensão abaixo do limite de resistência à tração. A máquina para a realização deste tipo de ensaio, é específica, pois realiza os carregamentos de acordo com a solicitação que se deseja avaliar. Este ensaio foi realizado nas perfurações no processo de furação por escoamento no intuito de avaliar a qualidade das perfurações.

Após o conhecimento da carga máxima de ruptura dos corpos de prova e realizada a análise da carga dos mesmos, através do ensaio de tração, um valor de carga máxima de 16000 (N) para o aço ASTM A-36 e 23000 (N) para o aço STREX 700 MCD. Foi possível definir os parâmetros utilizados no ensaio de fadiga. A carga aplicada no ensaio foi de 0,7 (70%) da carga máxima obtida no ensaio de tração, a frequência utilizada foi de 7 Hz e a razão empregada foi de 0,1. A Figura 101 ilustra o corpo de prova durante o ensaio de fadiga:

Figura 101 – Corpo de prova durante o ensaio de fadiga.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A partir dos ensaios realizados nas perfurações, foi possível identificar e fazer a comparação entre as condições e verificar qual condição apresenta melhor qualidade. A Tabela 32 apresenta os resultados do ensaio de fadiga das perfurações para o material ASTM A-36:

Tabela 32 – Ensaio de fadiga nas perfurações ASTM A-36:

	Condição (RPM/ Vf (mm/mm))	Técnica Lubrificação	Fadiga (Ciclos)
A	2000/250	Seco	11.827
3	2000/250	MQL	20.792
6	1500/300	Seco	10.800
	1500/300	MQL	47.958

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Na Tabela 32, é notável a diferença de ciclos, o aço ASTM A-36 na condição (RPM1500 x 300 mm/min) MQL, apresenta maior numero de ciclos em fadiga 47.958, mas fica evidente a necessidade de comparação com os outros ensaios para obter-se a melhor condição de fabricação.

A Tabela 33, apresenta os resultados dos ensaios de fadiga das perfurações para o material STREX 700 MCD:

Tabela 33 – Ensaio de fadiga nas perfurações STREX 700 MCD:

	Condição (RPM/ Vf (mm/mm))	Técnica Lubrificação	Fadiga (Ciclos)
S	2000/250	Seco	7.837
T	2000/250	MQL	13.729
R	1500/300	Seco	5.710
E	1500/300	MQL	5.627

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Na Tabela 33, visualiza-se os resultados dos ciclos em fadiga das perfurações para o aço STREX 700 MCD na condição (RPM2000 x 250 mm/min) MQL, apresenta maior número de ciclos em fadiga 13.729, mas fica evidente a necessidade de comparação com os outros ensaios para obter-se a melhor condição de fabricação.

APÊNDICE L – Tabela Resumo dos Ensaio realizados e melhores condições de Manufatura.

A Tabela 34, apresenta o resumo dos ensaios realizados na pesquisa com o material ASTM A-36 e a melhor condição de manufatura:

Tabela 34 – Resumo dos ensaios realizados ASTM A-36:

A	Condição (RPM/Vf (mm/mm))	Técnica Lubrificação	Fadiga (Ciclos)	Dureza (Hv)	ZTMA (mm)	Temperat. (°C)	Qualidade $\Phi 11,16$ à $\Phi 11,25$ mm e 30%		Desgaste/Vida Qt furos realizados
							$\Phi 11,16$	32%	
36	2000/250	Seco	11.827	173,54	0,6560	193,2	$\Phi 11,23$	32%	1352 F
	2000/250	MQL	20.792	170,30	0,7080	86,7	$\Phi 11,21$	29%	924 F
	1500/300	Seco	10.800	177,50	0,600	207	$\Phi 11,08$	19%	148F
	1500/300	MQL	47.958	187,30	0,7900	99,6	$\Phi 11,05$	23%	134 F

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A melhor condição identificada considerando o material ASTM a-36 é a condição RPM2000 Vf250 mm/min, na técnica de lubrificação MQL, a perfuração suporta 20.792 ciclos em fadiga, a dureza é 170,30 HV, a ZTMA é 0,7080, a temperatura média de 86,7 °C, a qualidade do furo é $\Phi 11,21$ e a qualidade é 29%, estando dentro das tolerâncias especificadas e esta ferramenta conseguiu perfurar 924 furos.

A Tabela 35, apresenta o resumo dos ensaios realizados na pesquisa com o material STREX 700 MCD e a melhor condição de manufatura:

Tabela 35 – Resumo dos ensaios realizados STREX 700 MCD:

S T R E X	Condição (RPM/Vf (mm/mm))	Técnica Lubrificação	Fadiga (Ciclos)	Dureza (Hv)	ZTMA (mm)	Temperat. (°C)	Qualidade $\Phi 11,16$ à $\Phi 11,25$ mm e 30%		Desgaste/Vida Qt furos realizados
							$\Phi 11,16$	46%	
S T R E X	2000/250	Seco	7.837	278,8	0,890	227,8	$\Phi 11,32$	46%	462 F.
	2000/250	MQL	13.729	284,8	0,850	112,2	$\Phi 11,48$	43%	462 F.
	1500/300	Seco	5.710	287,8	0,7250	230,7	$\Phi 11,25$	38%	616 F.
	1500/300	MQL	5.627	278,9	0,6980	116,2	$\Phi 11,06$	39%	462 F.

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A melhor condição identificada considerando o material STREX 700 MCD é a condição RPM2000 Vf250 mm/min, na técnica de lubrificação MQL, a perfuração suporta 13.729 ciclos em fadiga, a dureza é 284,8 HV, a ZTMA é 0.850, a temperatura média de 112,2 °C, a qualidade do furo é $\Phi 11,48$ e a qualidade é 43%, estando fora das tolerâncias especificadas e esta ferramenta conseguiu perfurar 462 furos.

Para Lopes (1994), em rotações mais elevadas o processo de furação por escoamento ocorre de maneira mais conveniente, isso devido ao aumento da temperatura, causada pela maior rotação no processo.

Lopes (1994), afirma que a utilização da lubrificação durante a execução do processo causa inibição de incrustações na ferramenta, aumentando a qualidade da bucha.

Na pesquisa foi evidenciada estas características e foi possível definir a melhor condição de manufatura RPM2000 Vf250 mm/min MQL.

APÊNDICE M – Modelo de avaliação do desempenho em sustentabilidade utilizado em processos de manufatura

Elaborado por: Leandro Dóro Tagliari

O presente modelo visa auxiliar aos gestores industriais na escolha do melhor processo de manufatura, tendo em vista um conjunto de aspectos e as três dimensões da sustentabilidade:

Passo 1: Índices coletados durante as Manufaturas dos Processos

Figura 102 - Índices coletados durante as Manufaturas Ambiental.

Relação do maior valor pelo aspecto melhor ou pior (Perguntar Quantas x melhor ou pior)						
	(Kg)					
Ambiental	Out put não produto(%)	Energia (Ampér)	Lubrirrefrigerante (litros)	Fluido hidráulico(ml)	Vida Ferram.(Kg)	Temperatura
Furação Convencional	0,21	6,22	900,00	0,70	2,87	155,00
Furação Escoamento	0,79	9,80	0,10	0,70	0,13	680,00
	3,83	1,58	9000,00	(=)	0,04	4,39
	F.Esc. (x Melhor)	F. Esc.(x Pior)	F. Esc. (x Melhor)		F.Esc. (x Melhor)	F. Esc. (x Pior)

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 103 - Índices coletados durante as Manufaturas Social.

	F.Esc. (x Pior)	F. Esc.(x Pior)	F. Esc. (x Pior)	F. Esc. (x Pior)	(=)
SOCIAL	Ruido	Segurança	Treinamento	Saúde	Rel.Trabalho
Furação Convencional	74,76	4,14	3,42	0,90	0,30
Furação Escoamento	76,57	4,84	2,50	0,70	0,30
	1,02	1,17	0,73	0,78	

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 104 - Índices coletados durante as Manufaturas Economico.

	F. CONV.(x Melhor)	F. CONV. (x Melhor)	F. CONV. (x Melhor)	F. CONV. (x Melhor)
Econômico	R\$/furASTM(MQL)	R\$/furASTM(SECO)	R\$/furSTRENX(MQL)	R\$/furSTRENX(SECO)
Furação Convencional	0,22	0,19	0,26	0,31
Furação Escoamento	1,84	1,84	1,84	1,84
	8,36	9,68	7,08	5,94

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

As células devem ser preenchidas e deve ser avaliadas as dimensões ambiental, social e econômica, de cada processo de manufatura com os respectivos sub-aspectos e os valores de cada sub-aspecto com seus índices coletados durante as manufaturas e pesquisas.

Passo 2: Método Multicritério AHP – Cálculo do vetor médio

Essa etapa, consiste em aplicar a primeira etapa do método AHP, calculando o vetor médio. A Figura 105, 106 e 107 apresentam recortes das planilhas de cálculo do vetor médio ambiental, social e econômico:

Figura 105 - Exemplo de cálculo vetor médio Ambiental.

Resíduo sólido					
	Fur. Convencional	Fur. Escoamento	Matriz Normalizada		Vetor Médio
Furação Convencional	1,00	0,26	0,21	0,21	0,21
furação Escoamento	3,83	1,00	0,79	0,79	0,79
Soma	4,83	1,26			

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 106 - Exemplo de cálculo vetor médio Social.

Ruído					
	Fur. Convencional	Fur. Escoamento	Matriz Normalizada		Vetor Médio
Furação Convencional	1,00	0,98	0,49	0,49	0,49
Furação Escoamento	1,02	1,00	0,51	0,51	0,51
Soma	2,02	1,98			

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 107 - Exemplo de cálculo vetor médio Econômico.

R\$/furASTM(MQL)					
	Fur. Convencional	Fur. Escoamento	Matriz Normalizada		Vetor Médio
Furação Convencional	1,00	8,36	0,89	0,89	0,89
Furação Escoamento	0,12	1,00	0,11	0,11	0,11
Soma	1,12	9,36			

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O cálculo do vetor médio deve ser realizado para os processos avaliados comparando com todos os sub-aspectos nas dimensões ambiental, social e econômico.

Passo 3: Método Multicritério AHP – Pesquisa realizada com Stakeholders

Nesta etapa, informa na planilha as informações relativas a pesquisa com os *stakeholders* nas Figura 108, 109 e 110 para as dimensões da sustentabilidade ambiental, social e econômico dos processos que estão sendo avaliados:

Figura 108 - Pesquisa realizada com especialistas Ambiental.

Normalização	0,14	0,27	0,22	0,14	0,09	0,14
Stakeholders	0,214	0,1804	0,175	0,1557	0,152	0,1229

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 109 - Pesquisa realizada com especialistas Social.

Normalização	0,14	0,35	0,25	0,14	0,12
Stakeholders	0,159	0,2647	0,1743	0,2856	0,1164

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 110 - Pesquisa realizada com especialistas Econômico.

Normalização	0,25	0,10	0,30	0,00
Especialista	0,4421	0,4421	0,4421	0,4421

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Estas informações são muito importantes na avaliação da sustentabilidade porque traz para a pesquisa opinião de várias pessoas que estão no mercado de trabalho e que retrata uma vivência e a percepção dos usuários finais dos produtos oriundos dos processos de manufatura.

Passo 4: Método Multicritério AHP – Cálculo da Matriz normalizada

Essa etapa, consiste em calcular a matriz normalizada. A Figura 111, 112 e 113 apresentam as planilhas de cálculo da matriz normalizada para as dimensões ambiental, social e econômica dos sub-aspectos:

Figura 111 - Cálculo da Matriz normalizada ambiental.

Pesos do Pesquisador	Resíduo sólido	Energia	Lubrificante	Fluido Hidráulico	Vida ferramenta	Temperatura
<i>Out put não produto</i>	1,00	0,33	0,50	2,00	0,50	2,00
Energia	3,00	1,00	2,00	2,00	3,00	1,00
Lubrificante	2,00	0,50	1,00	2,00	3,00	2,00
Fluido Hidráulico	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00
Vida Ferram.	2,00	0,33	0,33	0,50	1,00	0,33
Temperatura	0,50	1,00	0,50	0,50	3,00	1,00
Soma	9,00	3,67	4,83	8,00	12,50	8,33

Normalização						Média
0,11	0,09	0,10	0,25	0,04	0,24	0,14
0,33	0,27	0,41	0,25	0,24	0,12	0,27
0,22	0,14	0,21	0,25	0,24	0,24	0,22
0,06	0,14	0,10	0,13	0,16	0,24	0,14
0,22	0,09	0,07	0,06	0,08	0,04	0,09
0,06	0,27	0,10	0,06	0,24	0,12	0,14

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 112 - Cálculo da Matriz normalizada Social.

Pesos do Pesquisador	Ruído	Segurança	Treinamento	Saúde	Rel. Trabalho
Ruído	1,00	0,33	0,50	2,00	0,50
Segurança	3,00	1,00	2,00	2,00	3,00
Treinamento	2,00	0,50	1,00	2,00	3,00
Saúde	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00
Rel. Trabalho	2,00	0,33	0,33	0,50	1,00
Soma	8,50	2,67	4,33	7,50	9,50

Normalização					Média
0,12	0,13	0,12	0,27	0,05	0,14
0,35	0,38	0,46	0,27	0,32	0,35
0,24	0,19	0,23	0,27	0,32	0,25
0,06	0,19	0,12	0,13	0,21	0,14
0,24	0,13	0,08	0,07	0,11	0,12

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 113 - Cálculo da Matriz normalizada Econômico.

Pesos do Pesquisador	R\$/furASTM(MQL)	R\$/furASTM(SECO)	R\$/furSTRENX(MQL)	R\$/furSTRENX(SECO)
R\$/furASTM(MQL)	1,00	2,00	3,00	1,00
R\$/furASTM(SECO)	0,50	1,00	3,00	1,00
R\$/furSTRENX(MQL)	0,33	0,33	1,00	0,33
R\$/furSTRENX(SECO)	1,00	1,00	3,00	1,00
Soma	2,83	4,33	10,00	3,33

				Média
0,35	0,46	0,30	0,30	0,35
0,18	0,23	0,30	0,30	0,25
0,12	0,08	0,10	0,10	0,10
0,35	0,23	0,30	0,30	0,30

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Passo 5: Cálculo do Índice de Sustentabilidade considerando Vetor Médio x Matriz Normalizada

Nesta etapa, calculou-se o Vetor Médio x Matriz normalizada, conforme as Figuras 114, 115 e 116 para as dimensões ambiental, social e econômica e deve ter-se planilhas distintas considerando os dois processos de manufatura:

Figura 114 - Cálculo do Índice de sustentabilidade Vetor Médio x Matriz Normalizada Ambiental.

Ambiental:							Total
Vetor Médio F. Convencional	0,21	0,39	0,00	0,50	0,96	0,19	0,32
Normalização	0,14	0,27	0,22	0,14	0,09	0,14	

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 115 - Cálculo do Índice de sustentabilidade Vetor Médio x Matriz Normalizada Social.

Vetor Médio F. escoamento	0,51	0,54	0,42	0,44	0,50	0,49
Normalização	0,14	0,35	0,25	0,14	0,12	

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 116 - Cálculo do Índice de sustentabilidade Vetor Médio x Matriz Normalizada Econômico.

Vetor Médio F. Escoamento	0,11	0,09	0,12	0,14	0,12
Normalização	0,35	0,25	0,10	0,30	

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Estes cálculos são importantes para a realização da média ponderada dos índices e aproximar a valoração.

Passo 6: Cálculo do Índice de Sustentabilidade considerando Vetor Médio x Pesquisa Stakeholders

Nesta etapa, calculou-se o Vetor Médio x Pesquisa Stakeholders, conforme as Figuras 117, 118 e 119 para as dimensões ambiental, social e econômica e deve ter-se planilhas distintas considerando os dois processos de manufatura:

Figura 117 - Cálculo do Índice de sustentabilidade Vetor Médio x Pesquisa Stakeholders Ambiental.

Normalização	0,14	0,27	0,22	0,14	0,09	0,14	0,36
Stakeholders	0,214	0,1804	0,175	0,1557	0,152	0,1229	

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 118 - Cálculo do Índice de sustentabilidade Vetor Médio x Pesquisa Stakeholders Social.

SOCIAL						Total
Vetor Médio F. Convencional	0,49	0,46	0,58	0,56	0,50	0,51
Stakeholders	0,159	0,2647	0,1743	0,2856	0,1164	

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 119 - Cálculo do Índice de sustentabilidade Vetor Médio x Pesquisa Stakeholders Econômico.

Vetor Médio F. Escoamento	0,11	0,09	0,12	0,14	
Especialista	0,4421	0,4421	0,4421	0,4421	0,21

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Estes cálculos são importantes para a realização da média ponderada dos índices e aproximar a valoração.

Passo 7: Média Ponderada dos Índices de Sustentabilidade

Nesta etapa, calculou-se Média Ponderada dos Índices de sustentabilidade, conforme as Figuras 120 e 121 para as dimensões ambiental, social e econômica e deve ter-se planilhas distintas considerando os dois processos de manufatura:

Figura 120 - Média Ponderada dos Índices de Sustentabilidade Furação Convencional.

Furação Convencional	Ambiental	Social	Economico
Vetor Médio x Normaliza	0,32	0,51	0,88
Vetor Médio x Especialist	0,36	0,52	1,06
	0,34	0,515	0,97

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 121 - Média Ponderada dos Índices de Sustentabilidade Furação Convencional.

Furação Escoamento	Ambiental	Social	Economico
Vetor Médio x Normaliza	0,67	0,49	0,12
Vetor Médio x Especialist	0,64	0,48	0,12
	0,655	0,485	0,12

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Passo 8: Unificação do Índice de Sustentabilidade

Nesta etapa, unificou-se as dimensões da sustentabilidade, conforme a Figuras 122 e obteve-se o resultado de qual processo pode ser considerado o mais sustentável:

Figura 122 - Unificação do Índice de Sustentabilidade.

	Ambiental	Social	Econômico	Índice Sustentabilidade
Furação Convencional	0,34	0,52	0,97	0,44
Furação Escoamento	0,66	0,49	0,12	0,57
Normalização (Média)	0,67	0,24	0,09	

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).



UPF

UNIVERSIDADE
DE PASSO FUNDO

UPF Campus I - BR 285, São José
Passo Fundo - RS - CEP: 99052-900
(54) 3316 7000 - www.upf.br