

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Vando Ferreira Lopes

**MÉTODO PARA AVALIAR A MONTAGEM
DE PRODUTOS COM BASE NO DFA NO
ÂMBITO DO TRIPÉ DA
SUSTENTABILIDADE**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. João Carlos Espíndola Ferreira, Ph.D.

Florianópolis
2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC

Lopes, Vando Ferreira

Método para avaliar a montagem de produtos com base no
DFA no âmbito do tripé da sustentabilidade / Vando Ferreira
Lopes ; orientador, João Carlos Espíndola Ferreira -
Florianópolis, SC, 2014.

183 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica.

Inclui referências

1. Engenharia Mecânica. 2. Engenharia Mecânica. 3.
Produção Sustentável. 4. Tripé da Sustentabilidade. 5.
Projeto para a Montagem. I. Ferreira, João Carlos
Espíndola. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

Vando Ferreira Lopes

**MÉTODO PARA AVALIAR A MONTAGEM
DE PRODUTOS COM BASE NO DFA NO
ÂMBITO DO TRIPÉ DA
SUSTENTABILIDADE**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Engenharia Mecânica“, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Florianópolis, 28 de março de 2014.

Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Jr, Dr Eng.
COORDENADOR DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Prof. João Carlos Espíndola Ferreira, Ph. D.
ORIENTADOR
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Banca Examinadora:

Prof. André Ogliari, Dr. Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr. Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Marcelo Gitirana Gomes Ferreira, Dr. Eng.
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Este trabalho é dedicado à minha família, aos meus amigos e em especial a Rubens David Álvares da Silva

AGRADECIMENTOS

Ao Professor João Carlos Espíndola Ferreira pela orientação, acompanhamento e correções importantes no desenvolvimento deste trabalho.

Aos Professores da banca examinadora André Ogliari, Fernando Antônio Forcellini e Marcelo Gitirana Gomes Ferreira.

Aos Professores Douglas Zaions e Antônio Carlos Ferreira pelas cartas de recomendação encaminhadas para a realização do mestrado.

Ao Professor Armando Albertazzi por ensinar o quanto as atitudes diplomáticas são necessárias na vida acadêmica.

Aos amigos Paola Andrea e Julian Fernando pelas conversas, aulas, trabalhos e muito diálogo bilíngue sobre o tema que nos é capital. Ainda ao Marcelo, Clarice e a Aline pelas companhias nas aulas.

Ao meu amigo Sérgio Marquezi e sua esposa Geovana por compartilharem e encorajarem a realização do mestrado.

Ao amigo Fábio Antônio Xavier por mostrar que nascer em cidade pequena não significa ter sonhos e vontades pequenas.

Ao meu amigo Marcos Vieira Sardá.

Aos meus amigos Marcio Luiz Bess, Pedro Nolasco de Souza Filho e Rubens Sergio Pisanelli.

Ao amigo Lucas Benini, pelo incentivo, pelas conversas sobre a academia e pela cultura de viajante compartilhada.

Aos amigos João, Débora e Willian.

A Odete pela ajuda durante a fase de adaptação.

Aos amigos de longa data, Rôse Maria e Renato, Silvana e Afonso, Mauro e Renata.

Ao amigo Guido e sua namorada Daiana.

Aos amigos, Marcos Roberto Carrafa e Wanilson Martin Carrafa, pela atenção, apoio, acesso aos seus projetos de forma irrestrita e conhecimentos compartilhados. Ainda, agradeço aos colaboradores que gentilmente atenderam as minhas infundáveis perguntas, ouviram minhas observações e acompanharam minhas andanças pelo processo de produção. São eles: Adelar de Oliveira, Alaércio Soares Borges, Amilton de Moraes, Almir Dias de Oliveira, Clemir Pinto, Cleimar José Rigo, Cleber Pereira, Diogo Antonio Mocelin, Flavio Triques, Marcelo Luiz Stiirmer, Yuichi Nakayama, Jonas Amalcaburio, Jorginei da Silva Duarte Soares, Julio Cesar Ferrari, Roberto Carabolante, Rafael Zanon,

Rodrigo Piva, Rodrigo Simões Peres, Paulo Sérgio Fiorese, Willian Antonio da Silva e Willian dos Santos de Almeida.

Aos senhores Deonízio, Gentil e João Ganzer, pela presteza e portas sempre abertas, dotados de paciência no intuito de trabalhar para o desenvolvimento e aplicação do método. Ainda, a Saulo Prato, Ezequiel Vettori e Marcelo Ferreira Lopes pela ajuda durante as medições.

Ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina pela presteza na gestão do Programa de Pós-Graduação e ainda à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo apoio econômico.

Todos são merecedores da minha gratidão.

“Quando a última árvore estiver caída, o último peixe for pescado, o último animal for caçado, o homem irá entender que dinheiro-papel não se come”. (Profecia de Tupã)

RESUMO

No âmbito do conceito de sustentabilidade, pode-se desenvolver o projeto e a produção de produtos de maneira que as características de seus componentes estejam relacionadas ao meio ambiente, às condições econômicas e também sociais. Esta relação diz respeito ao seu consumo de energia tanto de operação, no caso a energia elétrica, quanto humana, vista pelo consumo de calorías ao desenvolver uma atividade. Naturalmente, a quantidade de componentes utilizados na montagem de produtos influencia no consumo de energia na produção e na quantidade de matéria-prima consumida. Nesse trabalho buscou-se quantificar os elementos do “Tripé da Sustentabilidade” (*Triple Bottom Line*)– ambiental, econômica e social - junto a produtos de diferentes processos e naturezas, de modo a propor e implementar melhorias. Esta ação deve favorecer a adequação da técnica às necessidades de design sustentável de um produto. O tempo mensurado e a energia consumida tanto nas operações dos equipamentos como no trabalho humano são quantificadas, permitindo indicar valores de sustentabilidade. Os indicadores utilizados atendem a questões micro e não macro - características de metodologias de mensuração de sustentabilidade vigentes -. De modo a aumentar a eficiência da aplicação, um novo índice é proposto, denominado “percentual de sustentabilidade adquirida” – PSA. O método proposto neste trabalho utiliza técnicas de simplificação como a Navalha de *Occam*, conceitos de carga de desempenho e de visibilidade provenientes das metodologias de Design, bem como as diretrizes de projeto para montagem derivados de *Design for Assembly* - DFA. Os valores obtidos são dispostos em tabelas e permitem a comparação entre a condição atual do produto e a modificada, criando um *feedback* para a transição necessária do produto e sua nova forma construtiva e operacional. Os resultados apresentados demonstram a eficácia da aplicação do método por meio da comparação dos valores obtidos utilizando-se as técnicas propostas. Além disso, a interpretação dos resultados permite aumentar a percepção da sustentabilidade oferecida por um produto, ou seja, quando maior seu PSA, mais sustentável. Assim, as dimensões ambientais, econômicas e sociais são mensuradas e os direcionamentos para melhorias junto às operações de produção são encaminhados.

Palavras-chave: Produção Sustentável, Tripé da Sustentabilidade, Projeto para a Montagem, Consumo de Energia, Montagem Simplificada.

ABSTRACT

Under the concept of sustainability, one can develop the design and production of products in a way that the characteristics of their components are related to the environment, the economic, and social conditions. This relationship relates to their energy consumption, both of operation, in case the electricity, and human, seen by the consumption of calories when performing an activity. Naturally, the number of components used in product assembly influences the energy consumption in production and in the amount of raw material. In this study it was sought to quantify the elements of the “Triple Bottom Line” principle - environmental, economic, and social – with products of different processes and nature, in order to propose and implement improvements. This action should foster the adaptation of this principle to the needs of sustainable product design. The measured time and energy consumed both in equipment operations and in human labor are quantified, allowing indicating sustainability values. The indicators serve micro instead of macro issues – current characteristics of methodologies to measure sustainability. In order to increase the efficiency of the application, a new index is proposed, called the “percentage of gained sustainability” - PSA. The method proposed in this paper uses techniques of simplification such as Occam's Razor, concepts of performance and visibility load from the design methodologies, as well as design for assembly (DFA) guidelines. The values obtained are shown in tables and allow the comparison between the current condition of the product and its modified condition, creating a feedback to the needed transition of the product and its new constructive and operational shape. The results show the effectiveness of the method by comparing the values obtained using the proposed techniques. Furthermore, the interpretation of the results allows to increase the perception of sustainability provided by a product, i.e. when its PSA index is greater, it is more sustainable. Therefore, the environmental, economic, and social dimensions are measured and directions for improvements to the production operations are suggested.

Keywords: Sustainable Production, Triple Bottom Line, Design for Assembly, Power Consumption, Simplified Assembly.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Conhecimento empresarial a respeito de sustentabilidade e meio ambiente.....	54
Figura 2 – Ganhos possíveis com sustentabilidade.....	55
Figura 3 – Formas de mensuração constantes na literatura pesquisada.....	60
Figura 4 – Formas de mensuração propostas neste trabalho.....	61
Figura 5 – A forma constituinte do percentual de sustentabilidade adquirida denominado PSA.....	62
Figura 6 – Exemplo de ícones de operações, nomes e a posição dos colaboradores e suas quantidades.....	77
Figura 7 – Representação gráfica do método proposto, suas quatro etapas e as partes constituintes de cada uma.....	80
Figura 8 – O produto e sua lista de materiais a qual faz parte da primeira etapa de aplicação do método. Setas indicam a direção das ações.....	81
Figura 9 – A lista de materiais a qual diferencia os componentes produzidos e componentes comerciais. As setas indicam as direções das ações.....	82
Figura 10 – A cadeira e seus componentes estruturais, sem a presença do assento trançado.....	83
Figura 11 – O mapeamento e as suas partes constituintes. As setas indicam a direção das ações sendo que “indicadores” e “representação icônica” podem ser realizados de forma simultânea.....	84
Figura 12 – Representação icônica de operações de um processo de produção.....	84
Figura 13 – As ramificações do tempo em operações e montagem. A sequencia das ações é indicada pelas setas.....	85
Figura 14 – Os indicadores de energia abordados pelo método e as energias medidas. As setas indicam a direção das ações.....	88
Figura 15 – Dados de entrada voltados para o cálculo do consumo de energia.....	89
Figura 16 – O Fator 4 e sua aplicação junto aos indicadores no intuito de diminuir 25% dos valores mensurados.....	91
Figura 17 – O produto e as metodologias de simplificação tanto de Design quanto de DFA.....	92
Figura 18 – Simplificação com a utilização de metodologias de Design. As setas, indicam a direção das ações.....	96
Figura 19 – Metodologia de DFA e seus componentes como minimizar, armazenar, manipular, fixar e controlar. As setas indicam a sequencia de aplicação.....	97
Figura 20 – As etapas, as dimensões de sustentabilidade e a indicação da atuação do PSA.....	99

Figura 21 - Exemplo de apresentação dos valores médios das dimensões de sustentabilidade em conjunto com o índice PSA.....	100
Figura 22- As cadeiras produzidas e finalizadas para entrega.....	102
Figura 23 – A “cadeira normal” é produto que sofreu a aplicação do método.....	103
Figura 24 – Componentes da cadeira – pés dianteiros e seus componentes dispostos de acordo com a montagem.....	103
Figura 25 – Componentes da cadeira – pés traseiros e seus componentes. Observa-se ainda, as disposições e os rasgos e furos de encaixe.....	104
Figura 26- Formas do trançado do assento da cadeira.....	104
Figura 27 – Corda em plástico celofane com o detalhe do miolo do mesmo material.....	105
Figura 28 – Corda em papelão envolvido por plástico celofane com o detalhe do miolo em papelão.....	105
Figura 29 – Máquina para a torção do plástico celofane para transformar em corda. Detalhe do bocal de entrada para a torção.....	106
Figura 30 – O grampo para ajudar do transpasse da corda para trançar, e no detalhe, a ferramenta abastecida com corda.....	106
Figura 31 – Martelo de madeira para trançar assentos e suas funções.....	107
Figura 32 – O trançado normal em execução, à relação entre fios e a disposição das cordas junto ao suporte do assento.....	107
Figura 33 – O prego com cabeça e o seu formato, utilizado para manter fixa a parte superior dos pés traseiros.....	108
Figura 34 – O aspecto físico da cola antes do derretimento. Sua função é a fixação dos componentes na cadeira.....	108
Figura 35 – A cadeira, seus componentes e a sua localização na estrutura.....	110
Figura 36 – Legenda das operações da produção da cadeira, sua representação icônica e o nome dos equipamentos.....	111
Figura 37 – Operações relacionadas ao processo de produção do pé dianteiro, representadas de acordo com o fluxo.....	112
Figura 38 – Operações do pé traseiro, seu fluxo de produção e na parte superior, a quantidade de colaboradores envolvidos.....	113
Figura 39 – Operações que envolvem o trançado do assento.....	114
Figura 40 – Na primeira simplificação os palitos foram retirados e estão sinalizados com um círculo vermelho.....	117
Figura 41 – Novo mapeamento do processo com as operações que abarcam os pés dianteiros.....	
Figura 42 – Mapeamento posterior à modificação do número de componentes dos pés traseiros.....	121
Figura 43 – O mapeamento do assento não sofre modificações nesta primeira simulação.....	121
Figura 44 – O resultado do PSA com a retirada dos palitos de acordo com os parâmetros que envolvem a primeira modificação.....	125

Figura 45 – Componentes retirados pela segunda modificação onde os círculos vermelhos (maiores) indicam o que foi retirado e os azuis (menores) o que foi substituído.....	125
Figura 46 – Índice PSA calculado proveniente da modificação do suporte do assento.....	129
Figura 47 – Componentes retirados pela terceira modificação. A exclusão está representada pelos círculos sobre eles.....	129
Figura 48 – A nova proposta de estrutura e assento estofado com espuma e coberto por tecido.....	133
Figura 49 – Índice PSA oriundo da modificação decorrente da substituição do trançado do assento pelo formato estofado.....	133
Figura 50 – A carcaça da caixa de transmissão e suas dimensões principais.....	135
Figura 51 – A caixa de transmissão e sua posição em uma das linhas da plantadeira de arraste.	136
Figura 52 – A caixa de transmissão e seus componentes, apresentados junto à posição de montagem.....	138
Figura 53 – Legenda – apresentação dos ícones das operações da Empresa B e sua nomenclatura.....	139
Figura 54 – Mapeamento do processo de produção e montagem para a junção do eixo junto à coroa.....	139
Figura 55 – A geometria do componente proposto eixo-coroa sujeito ao processo de microfusão.....	143
Figura 56 – Mapeamento posterior à modificação simbolizado pelos ícones na cor verde.....	145
Figura 57 – O índice PSA resultante da junção da coroa ao eixo em um processo de micro fundição.....	149
Figura 58 – Formato original do sulcador composto de 6 componentes sujeitos a modificação.....	150
Figura 59 – Formato modificado do sulcador mediante a simplificação de sua estrutura.....	150
Figura 60 – Operações realizadas junto ao sulcador original.....	151
Figura 61 – Mapeamento com a simplificação das operações sendo que as marcadas em verde são eliminadas.....	152
A Figura 62 - Enleirador e seus componentes, hastes e bases de suporte.	153
Figura 63 – A dimensão vista junto às demais dimensões que definem o PSA.....	
Figura 64 – Exemplo de inadequação de projeto, percebida durante a montagem.....	160
Figura 65 – O protótipo do sulcador sendo montado em uma plantadeira para verificação de dimensões e aspectos de montagem.....	162
Figura 66– O sulcador instalado em uma plantadeira para a realização de teste em campo.....	162
Figura 67 – Sulcador e seu formato antes e depois da simplificação de	163

sua estrutura.....	
Figura 68 – Desenho do enleirador com a indicação de suas hastes e bases de fixação.....	164
Figura 69 - Cronômetro CASIO, modelo HS-60W-1DF -Black.....	180
Figura 70 – Alicate Amperímetro Digital.....	181

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Nutrientes e valores diários voltados ao Programa de Alimentação do Trabalhador.....	51
Tabela 2 – Taxas de metabolismo por tipo de atividade.....	52
Tabela 3 – Classificação de Indicadores.....	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Medição do tempo e sua relação com as dimensões de sustentabilidade.....	86
Quadro 2 – As energias medidas e suas dimensões.....	89
Quadro 3 – Taxas de metabolismo de acordo com o NR15.....	90
Quadro 4 – Efeitos e princípios de DFA e sua relação com as dimensões de sustentabilidade. Os círculos verdes indicam quando há relação.....	93
Quadro 5 – Efeitos e princípios de Design com seus correspondentes ambientais, sociais e econômicos. Os círculos verdes indicam quando há relação.....	94
Quadro 6 – Exemplo de aplicação em planilha dos efeitos e princípios de design.....	96
Quadro 7 – Exemplo de aplicação de metodologia de DFA em planilha, observando a condição “o quê” e “como”.....	98
Quadro 8 – Modelos de cadeiras produzidos pela Empresa A.....	102
Quadro 9 – Lista de materiais da cadeira normal apresentando as quantidades e os nomes dos componentes.....	109
Quadro 10 – Lista de materiais simplificada a qual apresenta as montagens, seus principais componentes e o custo.....	110
Quadro 11– Entrada de dados do processo de produção.....	115
Quadro 12 – O cálculo do Fator 4 e o valor correspondente à utilização de somente 25% dos recursos.....	116
Quadro 13 – Os efeitos desejados de Design.....	117
Quadro 14 – Efeitos de DFA em consenso com a equipe.....	117
Quadro 15 – Lista de materiais – BOM - posterior à simplificação..	118
Quadro 16 – Operações modificadas.....	119
Quadro 17 – A dimensão ambiental e seus indicadores.....	122
Quadro 18 – A dimensão econômica e seus indicadores.....	123
Quadro 19 – A dimensão social, seus indicadores e os valores resultantes.....	124
Quadro 20 – Valores correspondentes à dimensão ambiental.....	126
Quadro 21 – A dimensão econômica e seus valores.....	127
Quadro 22 – Valores calculados para atender à dimensão social.....	128
Quadro 23 – A dimensão ambiental e seus valores oriundos dos indicadores.....	130
Quadro 24 – A dimensão econômica e o seu percentual adquirido de sustentabilidade.....	131
Quadro 25 – Valores que indicam a dimensão social adquirida.....	132
Quadro 26 – Produtos e suas características técnicas, produzidos pela Empresa B.....	134
Quadro 27 – Acessórios da Empresa B e algumas de suas	

caraterísticas técnicas.....	135
Quadro 28 – Lista de materiais BOM – constituintes da caixa de transmissão sob estudo.....	137
Quadro 29 – Lista de materiais simplificada onde apenas componentes sujeitos a produção são representados.....	137
Quadro 30 – Entrada de dados do processo de produção oriundas da medição <i>in loco</i>	140
Quadro 31 – Apresentação dos valores referentes ao Fator 4, ou seja, uma redução de 25% sobre os indicadores.	141
Quadro 32 – Resultados da aplicação dos efeitos de Design desejados junto aos componentes realizado pela equipe.....	142
Quadro 33 – Efeitos de DFA apontados como necessários pela equipe, posterior a análise do produto.....	142
Quadro 34 – BOM posterior à aplicação das metodologias de simplificação.....	143
Quadro 35 – Os novos valores decorrentes das operações modificadas.....	144
Quadro 36 – A dimensão ambiental, seus indicadores e valores correspondentes.....	146
Quadro 37 – Os valores obtidos dos indicadores os quais definem a dimensão econômica.....	147
Quadro 38 – Definição dos valores junto à dimensão social.....	148
Quadro 39– Os efeitos de design desejados para proporcionar a simplificação.....	151
Quadro 40 – As diretrizes de DFA consideradas junto à simplificação considerando tanto o número de componentes quanto ao processo de montagem.....	151
Quadro 41 – Valores obtidos com a modificação do sulcador em termos da quantidade de material e de custo.....	152
Quadro 42 – Mensuração da montagem e seus dados de tempo iniciais.....	154
Quadro 43 – Os efeitos de design necessários à simplificação definidos pela equipe.....	155
Quadro 44 – DFA e seus efeitos voltados à melhoria das condições de trabalho do colaborador.....	155
Quadro 45 – Os dados da montagem após a simplificação.....	156
Quadro 46 – A dimensão social do enleirador.....	157
Quadro 47 – Planilha para a tomada de dados iniciais junto às operações.....	158

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

CMDMA: Comissão Mundial para o Desenvolvimento e Meio Ambiente

CPO 15: Conference of the Parts

CSD: *Comission on Susteainable Development*

DFA: Design for Assembly – Projeto para Montagem

DFE: *Design for Environment* - Projeto para o Meio Ambiente

DIEESE: Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos

GRI: *Global Reporting Initiative*

IEC: *International Electrotechnical Commission* - Comissão Eletrotécnica Internacional

ISO: International Organization for Standardization - Organização Interncional para a (de) Padronização

MPPC: mudança nos padrões de produção e consumo

NR: Norma Regulamentadora

OCDE: *Organisation for Economic Co-operation and Development*) - Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Económico

ONG: Organização não Governamental

ONU: Organização das Nações Unidas

P&D: Pesquisa e Desenvolvimento

PAT: Programa de Alimentação do Trabalhador

PNB: Produto Nacional Bruto

PNUD: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PNUMA: Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PROCEL: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PSA: Percentual de Sustentabilidade Adquirida

SAE: *Society of Automotive Engineers*

SEBRAE: Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SGA: Sistema de Gestão Ambiental

SGE: Sistema de Gestão de Energia

UNEP: *United Nations Environment Programme* - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

VDI: *Verein Deutscher Ingenieure* - Associação dos Engenheiros Alemã

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

°C	[°C]	Graus Celsius
A	[A]	Ampère
AC	[A]	Corrente Alternada
BAT	[-]	Bateria
CAT	[-]	Indicador da categoria a qual o equipamento pode medir
D		Precisão do equipamento (percentual somado "n" vezes o dígito menos significativo)
DC	[A]	Corrente Contínua
Hz	[Hz]	Hertz
IEC 1010		Norma que regulamenta o equipamento - IEC - <i>International Electrotechnical Commission</i> - Comissão Eletrotécnica Internacional
kOhms	[KΩ]	Milhares de ohms (unidade de resistência)
mA	[mA]	Escala de corrente indicativa de milésimo da unidade principal
mm	[mm]	Milímetros
MOhms	[MΩ]	Milhões de vezes a unidade de resistência -
mV	[V]	Mili-Volt
Ohms	[Ω]	Unidade padrão de resistência
RH	[%]	Umidade Relativa
RMS	[-]	Valor Médio Real
V	[V]	Volt
Terminal EXT	[-]	Terminal para conexão de ponteiros de prova
Terminal COM	[-]	Terminal padrão (referência) para medidas
P	[W]	Potência em Watts
Vfn	[V]	Tensão fase neutro
Ix	[A]	Corrente em Ampère medida em cada fase
n	[-]	Rendimento
FP	[-]	Fator de potência

g	[g]	Grams
Cal	[cal]	Caloria
Kcal	[Kcal]	Quilocaloria
s	[s]	Segundos
W	[W]	Watts

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	26
1.1 OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÕES.....	29
1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	30
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	32
2.1 SUSTENTABILIDADE.....	32
2.1.1 Sustentabilidade: sua criação sob o viés histórico.....	32
2.1.2 Conceitos utilizados com base nas definições de sustentabilidade vigentes.....	37
2.1.2.1 O que é sustentabilidade.....	37
2.1.2.2 Termos que abarcam sustentabilidade e suas idiossincrasias.....	39
2.1.2.3 Sustentabilidade e <i>ecodesign</i>	40
2.1.3 O Tripé da Sustentabilidade (<i>Triple Bottom Line</i>) e suas dimensões.....	41
2.1.3.1 A dimensão Ambiental.....	42
2.1.3.1.1 Sustentabilidade Ambiental.....	42
2.1.3.1.2 O projeto orientado para a sustentabilidade ambiental.....	43
2.1.3.1.3 Sustentabilidade ambiental e o consumo de energia.....	44
2.1.3.2 A dimensão Econômica.....	45
2.1.3.3 A dimensão Social.....	46
2.1.3.3.1 Sustentabilidade social atrelada à condição econômica.....	46
2.1.3.3.2 Sustentabilidade social atrelada à mensuração do tempo de produção de produtos.....	47
2.1.3.3.3 Sustentabilidade social atrelada à medida do tempo	49
2.1.3.3.4 Sustentabilidade social e sua relação com a medição de calorias – A Norma NR 15 e Portaria N° 193.....	50
2.1.4 Sustentabilidade – Atendendo a micro e pequenas empresas.....	53
2.1.5 Indicadores – Modelos de medição de desempenho para avaliação da sustentabilidade.....	55
2.1.5.1 Indicadores – uma visão geral de sua criação.....	55
2.1.5.2 Mensurar sustentabilidade – implicações e considerações.....	56
2.1.5.3 Componentes e características de indicadores de sustentabilidade.....	57
2.1.5.4 A adoção do índice PSA e sua relação com o Fator 4.....	
2.1.6 A relação do trabalho com as normas das famílias ISO 14000, 26000 e 50000.....	65
2.1.7 A LCA – <i>Life Cycle Assessment</i> - e sua relação com o	

trabalho.....	65
2.2 MÉTODOS DE DESIGN E DE DFA – DESIGN FOR ASSEMBLY.	66
2.2.1 Definição do termo “projeto para a montagem” – DFA.....	66
2.2.1.1 DFA (<i>Design for Assembly</i>) versus DFS (<i>Design for Sustainability</i>).....	70
2.2.2 Métodos de simplificação em Design.....	70
2.2.2.1 Navalha de Occam.....	70
2.2.2.2 Carga de desempenho.....	71
2.2.2.3 Visibilidade.....	73
2.2.2.4 Representação Icônica das operações de manufatura.....	74
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	78
3.1 MATERIAIS.....	78
3.2 MÉTODOS.....	78
3.2.1 A elaboração do método.....	78
3.2.2 1ª Etapa – Seleção do Produto e a Lista de materiais.....	81
3.2.3 2ª Etapa - Mapeamento do processo de produção.....	83
3.2.3.1 A representação icônica das operações.....	84
3.2.3.2 Medição dos tempos de operação e de montagem do produto.....	85
3.2.3.3 Medição da energia consumida durante a operação da produção.....	87
3.2.3.4 A aplicação do Fator 4.....	91
3.2.5 3ª Etapa - Aplicação das metodologias de <i>Design</i> e DFA voltadas à simplificação.....	91
3.2.5.1 Como as metodologias de Design são aplicadas.....	95
3.2.5.2 Como as metodologias de DFA são aplicadas.....	97
3.2.6 4ª Etapa - Resultados oriundos da simplificação e a definição do percentual de sustentabilidade adquirida.....	98
4 ESTUDOS DE CASO.....	101
4.1 FÁBRICA DE CADEIRAS – EMPRESA A.....	101
4.1.1 Informações sobre a empresa.....	101
4.1.2 O produto em estudo - cadeira normal	
4.1.3 Aplicação do Método sobre a cadeira normal.....	
4.2 INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE MÁQUINAS E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS – EMPRESA B.....	134
4.2.1 Informações sobre a empresa	134
4.2.2 Aplicação do método sobre a caixa de transmissão da Plantadeira	

adubadora de arraste.....	135
4.2.3 Aplicação do Método sobre o sulcador.....	149
4.2.4 Aplicação do método sobre o enleirador.....	152
4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	158
4.3.1 A simplificação e os dados obtidos.....	160
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	165
5.1 CONCLUSÕES.....	165
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	168
REFERÊNCIAS.....	171
APÊNDICE A – EQUIPAMENTOS PARA MEDIÇÃO.....	179
APÊNDICE B – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO MÉTODO EM SUA TOTALIDADE.....	182

1 INTRODUÇÃO

É farta a quantidade de informações apresentadas sobre o conceito de sustentabilidade. Mais abrangente é a gama de compreensões, pontos de vista, indicadores e ações voltadas para a sua definição, sempre tendo em vista a ajuda ao planeta e seu ecossistema. Então, cabe buscar o significado e fugir da complexidade conceitual, mensuração e controle, que o termo “sustentabilidade” adquiriu ao longo dos anos.

A abrangência do tema é percebida desde a campanha para elencar votos à firmação de determinada crença. Tudo, de uma hora para a outra, se tornou sustentável, ou em vias de se tornar. Há o desafio de aplicar o conceito sem cair em extremos no que diz respeito à utilização de matéria-prima e demais recursos de produção de modo a manter as condições de consumo. Quanto ao consumo, é fato percebido que o pode mudar ao longo dos anos. Produzir sem comprometer o ambiental, o econômico e o social, estas são as premissas.

Uma empresa sustentável deve manter o equilíbrio ambiental, econômico e social e procurar utilizar mais eficientemente os recursos naturais, renováveis ou não, que atendam à produção sem comprometer as necessidades humanas de consumo.

A questão incide em como fazer com que a sustentabilidade seja “adquirida” e “percebida” por meio de indicadores mensurados juntos aos produtos e processos de modo a considerar as características das micro e pequenas empresas brasileiras. Apresenta-se então uma proposta para iniciar o processo de simplificação para tornar um produto já existente sustentável, sem comprometer sua forma e função.

Procura-se simplificar e ao mesmo tempo garantir a adoção da sustentabilidade em produtos de modo a aplicar as metodologias disponíveis de Design e de DFA as quais apresentam características conceituais similares de simplificação.

Os produtos utilizados neste estudo foram selecionados por algumas razões: seu processo de produção é conhecido, seus componentes foram projetados há algum tempo, e estão sendo consumidos. É no processo de montagem em que se percebe alguns equívocos, os encaixes mal projetados, os componentes sub ou superdimensionados, as quantidades elevadas de elementos de conexão e o tempo de montagem que, muitas vezes, pode ultrapassar o tempo de processamento. Ainda, há a presença de uma quantidade de operações

desnecessárias que consome tempo e energia. Esta simplificação precisa levar em conta conhecimento, tempo e ritmo de cada empresa. É a sustentabilidade vista de trás para frente – *end-of-pipe*.

Uma simplificação lexical faz-se importante de ser anunciada no início deste trabalho. Todos os termos utilizados para a definição de sustentabilidade como, por exemplo, “desenvolvimento sustentável”, serão chamados apenas de sustentabilidade. Isto é feito de maneira a facilitar o entendimento sem cair em abstrações ou conceitos dispersos. No mesmo viés, os conceitos, os termos relacionados à manufatura, fabricação e congêneres serão todos nomeados de processos de produção, e dentro dos processos de produção estarão distribuídas as operações. Uma parte dos estudos abarca a análise, acompanhamento e medição das operações.

Busca-se neste trabalho criar um método que possa ser aplicado sobre produtos, sem a complexidade de softwares ou hardwares, de modo que pessoas com pouco conhecimento específico possam aplicá-lo. Softwares de DFA não são citados neste trabalho em virtude de muitos já o terem feito e demonstrado a sua eficácia. O intento é mostrar o que se pode fazer com recursos conhecidos e cotidianos das empresas. O enfoque não é no software, mas sim, no hardware, uma vez que é no produto onde a tangibilidade dos indicadores é percebida. As barreiras de análise de projetos devem ser reduzidas de modo a atender a um número maior de pessoas, de engenheiros a designers ou quem se interesse pelo tema e veja o método proposto como uma forma de contribuir para tornar um produto mais sustentável.

Observa-se que, de acordo com a pré-disposição de cada empresa, as mudanças podem ser rápidas, assim como os primeiros resultados mais sustentáveis dos seus produtos. O intento é utilizar ferramentas disponíveis e de fácil alcance e entendimento, que possam ser aplicadas em qualquer situação.

As metodologias de Design e de DFA voltadas à simplificação dos produtos são conceituadas, concomitante aos efeitos e princípios que as contemplam. Este estudo possui também um aspecto qualitativo, que pode ser considerado intuitivo, uma vez que a elaboração do método depende do conhecimento prévio junto a produtos e processos. Sabe-se que a intuição pode apontar para uma possibilidade maior de respostas, e métodos como a Navalha de Occam, visibilidade e carga de desempenho, junto a diretrizes de montagem, proporcionam suporte a esta condição. A representação icônica dos processos trata do conceito

de visibilidade, permitindo que as operações possam ser representadas de forma mais eficaz no que concerne a melhor percepção da mudança a montante e a jusante da aplicação.

O problema de pesquisa consiste em indicar onde a simplificação deve iniciar, quais os indicadores devem ser considerados, como realizar a mudança no produto e apresentar em nível percentual a economia realizada de recursos humanos, materiais e de produção. Desta forma, o método inicia com a escolha do produto, sua lista de materiais, as quantidades e os custos. Posteriormente seu processo é analisado e suas operações de produção são mensuradas. Indicadores do processo são definidos como: quantidades, tempo e energia elétrica e calórica. Indicadores são apresentados, pois são um meio de comunicação, e toda a forma de comunicação requer entendimento entre os participantes do processo.

Faz-se a representação icônica dos processos de modo a visualizar as operações, suas inter-relações e a sequência de produção. Aplica-se o Fator 4 (recursos materiais e de produção divididos por quatro) de modo a criar uma meta a ser alcançada, tendo como parâmetro o consumo de apenas 25% dos indicadores medidos. Neste momento, utiliza-se as metodologias de simplificação oferecidas pelos conceitos de Design e de DFA. Simplificado o produto, faz-se uma nova medição dos seus indicadores onde se busca o resultado abaixo dos originais, mensurados na primeira etapa. Esta diferença entre os indicadores iniciais e os medidos posteriormente à mudança apresenta quão sustentável o produto se tornou. Partindo deste pressuposto, o índice denominado “percentual de sustentabilidade adquirida” de um produto é constituído.

Foram adotadas as diretrizes da pesquisa experimental, ou seja, há a manipulação de uma ou mais variáveis independentes (indicadores, dimensões e índice de sustentabilidade), a fim de se observar e interpretar as reações e modificações ocorridas no objeto de estudo (produto e seus componentes) (BARROS; LEHFELD, 2010).

Todavia, os caminhos são fornecidos pela adequação das metodologias de Design e DFA que permeadas e associadas às dimensões de sustentabilidade, formam a estrutura do método proposto.

A abordagem da dissertação é quali-quantitativa em virtude de enfatizar o raciocínio lógico ao passo que salienta aspectos dinâmicos e holísticos relacionados às pessoas e as operações de produção e montagem. Utiliza o método estruturado (quatro fases) e elementos

formais (efeitos e princípios de Design e DFA) ao passo que a aplicação requer abertura, flexibilidade e capacidade de observação (DYNIEWICZ, 2009). A coleta de dados permite a tomada de decisão na mudança dos componentes tendo como base a comparação e a interpretação de valores como tempo, quantidade de componentes e energia elétrica e calórica.

Utilizou-se o conceito de análise, onde a informação sobre os produtos foi desdobrada, com o posterior exame das características e seus componentes. As informações obtidas geram dados que concatenados, oferecem os resultados junto às dimensões de sustentabilidade. O escopo é definido de forma clara e sem ambiguidade sendo, um produto de cada vez. A relação lógica entre operações é mapeada de modo que a estrutura do processo de produção é apresentada.

Abstração foi aplicada para atender a generalização voltada a simplificar detalhes de produção. Esta ação faz com que o foco esteja diretamente sobre o produto e suas operações. Este procedimento permite reduzir a complexidade e o número de indicadores para análise. A abstração auxilia processos mentais criativos e sistemáticos (PAHL et al., 2011).

Ainda, o conceito de síntese atendeu ao processamento de informações por meio de ligações e interligações. Esta condição permite juntar detalhes em uma unidade, no caso, a média das dimensões encontradas chega a um único índice, chamado de “percentual de sustentabilidade adquirida”. Todavia, na síntese há presença do chamado pensamento holístico ou sistêmico, o qual permite o envolvimento de todas as áreas de produção.

Estudos de caso, com produtos e empresas de naturezas diferentes, foram utilizados para validar os conceitos oriundos das metodologias que deram origem ao método.

1.1 OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÕES

É do intuito deste trabalho desenvolver um método que permita a simplificação de produtos, partindo da sua montagem, tendo como referências metodologias de Design e de DFA, e que o resultado possibilite indicar o percentual de sustentabilidade adquirida de um produto ao observar as dimensões de sustentabilidade ambiental, econômica e social. Esta condição quali-quantitativa deve oferecer um

resultado que possa comunicar o que deve ser feito junto aos produtos e suas operações de produção.

Neste mesmo contexto, referindo-se aos objetivos específicos, pretende-se concatenar métodos de Design e DFA com vistas à simplificação de produtos tendo como contra partida, atender as dimensões de sustentabilidade. Faz-se necessário também, mensurar o percentual de sustentabilidade adquirida – PSA - por meio da quantidade dos componentes, do tempo das operações de produção e montagem e ainda, pelo consumo da energia elétrica e calórica consumida. E para concluir, indicar - posterior a análise dos resultados - as mudanças que são necessárias junto ao produto e seu processo de produção. Reitera-se que as modificações podem ocorrer durante a aplicação do método, e *a posteriori* a análise dos resultados obtidos.

A intenção na elaboração deste método é fazer com que os conceitos de sustentabilidade sejam mais percebidos – compreendidos, comunicados, captados - pelas empresas junto aos seus produtos. Ele pode ser utilizado como o ponto inicial para aplicação dos conceitos de sustentabilidade, buscando de forma simples – mas não simplória – indicar as melhorias e mudanças oriundas de indicadores coletados junto às operações cotidianas. Ainda, em virtude de sua simplicidade, fazer com que as empresas tenham um método que apresente um *feedback* do antes e do depois de ações com vistas à sustentabilidade.

Referindo-se a contribuição acadêmica, apresenta-se um método com indicadores de medição conhecidos (tempo, energia e quantidade) e com inter-relações diferentes (tempo, energia e quantidade que geram dimensões ambientais, econômicas e sociais).

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Definições conceituais são abarcadas na primeira etapa deste trabalho dentro do **Capítulo 2**. Ele trata das definições de sustentabilidade, termos utilizados pelos autores pesquisados tanto na bibliografia impressa quanto digital. O tripé da sustentabilidade e suas dimensões, ambientais, econômicas e sociais, e formação e características dos indicadores são apresentados na sequência. Assim, as metodologias de Design e DFA também são tratadas em conjunto com suas definições de efeitos e princípios.

O **Capítulo 3** abarca os materiais e o método desenvolvido. Há uma apresentação de como as metodologias se permearam para formar o método proposto e como foram criados os procedimentos de análise e

criação dos indicadores, concomitante aos termos utilizados para a medição das dimensões de sustentabilidade.

A aplicação foi feita em duas empresas com diferentes processos e produtos. Cabe ao **Capítulo 4** apresentar os estudos de caso com produtos, suas figuras, fluxogramas, indicadores e o índice de sustentabilidade adquirida. Na sequência, esta aplicação e suas nuances são discutidas, os resultados são avaliados juntamente com o método.

As conclusões, as mudanças indicadas e as observações quanto à simplicidade e funcionalidade do método são apresentadas no

Capítulo 5. Trabalhos futuros são sugeridos para que possam ser realizados levando em consideração do *design* de produtos às melhorias nas operações, a diminuição na quantidade de componentes e o desenvolvimento de ferramentas, gabaritos e de um software.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sustentabilidade

Devido à abrangência conceitual e de significados que derivam de diversas vertentes, pretende-se na sequência deste trabalho apresentar dados pertinentes à história e formação do termo, seus significados, entendimentos prováveis, e suas expressões mais recorrentes. Escreve-se sobre o tripé da sustentabilidade e sua formação composta das dimensões, que por vez são atendidas pelos indicadores. Os indicadores são apresentados junto a dados que contemplam micro e pequenas empresas. Então, de modo a viabilizar esta aplicação, se apresenta como ela pode ser mensurada. Uma menção as normas ISO faz-se necessária em virtude de antecederem ações de melhoria tanto de produção quanto ambientais. Para completar, o índice denominado “percentual de sustentabilidade adquirida - PSA” é apresentado.

2.1.1 Sustentabilidade: sua criação sob o viés histórico

Tratados de sustentabilidade não são exclusividades de datas contemporâneas e surgidos posterior à década de 1980. As questões referentes à sustentabilidade requerem uma percepção mais apurada dos fatos devido à longa data em que foram percebidos, cada um da sua forma e em seu contexto. Patrick Guedes, considerado o “pai” da educação ambiental, expressou a sua preocupação com os efeitos da Revolução Industrial iniciada em 1779, na Inglaterra, pelo desencadeamento do processo de urbanização e suas consequências para o ambiente natural. A preocupação existia de forma pontual e concomitante ao crescimento da indústria.

Em 1862, Thomas Huxley publicou o ensaio *Evidências sobre o lugar do homem na natureza*, tratando das interdependências entre os seres humanos e os demais seres vivos. Corroborado no ano seguinte, por George Perkin Marsh no *O homem e a natureza: ou geografia física modificada pela ação do homem*, na qual documentou como os recursos do planeta estavam sendo esgotados de modo a prever que tais ações não continuariam sem findar os recursos naturais.

O intenso crescimento econômico pós Segunda Guerra Mundial acelerou a urbanização e os sintomas de perda da qualidade ambiental começavam a aparecer em diversas partes do mundo.

A década de 1960 exhibe ao mundo as consequências ambientais dos modelos de desenvolvimento econômico adotados pelos países

industrializados. Registraram-se níveis de poluição atmosférica nos grandes centros urbanos – Los Angeles, Nova Iorque, Chicago, Berlim, Tóquio e Londres, principalmente. Chama a atenção que registros são realizados, mas ações de cunho preventivo e mitigador não são citados. Os rios Tâmsa, Sena, Danúbio, Mississipi e outros se mostravam envenenados por despejos industriais e domésticos. Em alguns pontos ocorreu uma rápida destruição da cobertura vegetal da Terra, ocasionando intensos processos de destruição de habitats, pressões crescentes sobre a biodiversidade, erosão, perda de fertilidade do solo, desertificação, assoreamento dos rios, inundações, alterações da biota aquática e outros fenômenos (DIAS, 2002).

Os recursos hídricos, sustentáculo e derrocada de muitas civilizações, estavam sendo comprometidos a uma velocidade sem precedentes na história humana, catapultados pelo consumismo difundido pelo modelo de desenvolvimento vigente, e agravados pelo crescimento populacional. O crescimento das indústrias passa a ser visto como uma grande necessidade mundial e definidor das condições de poder, existente entre países.

Posteriormente, a jornalista americana Rachel Carson publicou seu livro-crônica *Primavera Silenciosa* (*Silent Spring*, 1962, 45 edições), que desencadeou preocupação internacional com o meio ambiente de modo a se tornar um clássico da história do movimento ambientalista mundial. Inicia-se desta forma a percepção por parte das pessoas do que está ocorrendo com o meio ambiente atrelado ao desenvolvimento industrial.

Essa inquietação levou a delegação da Suécia na ONU a chamar a atenção da comunidade internacional para a crescente crise do ambiente humano, enfatizando a necessidade de uma abordagem global para a busca de soluções contra o agravamento dos problemas ambientais. Naturalmente, esta inquietação não foi percebida em todos os setores ou gestores.

O ano de 1972 entrou para a história da evolução da abordagem ambiental no mundo, pois testemunhou eventos muito importantes para a área. O Clube de Roma, criado em 1968 por um grupo de trinta especialistas de diversas áreas, com o objetivo de promover a discussão da crise atual e futura da humanidade, publicou o seu histórico relatório “Os limites do crescimento”. Esse documento estabeleceu os modelos globais baseados nas técnicas então pioneiras de análise de sistemas, projetados para prever como seria o futuro se não ocorressem

ajustamentos nos modelos de desenvolvimento econômico adotados. As iniciativas são percebidas em nível macro, ou seja, abrangentes, envolvendo indicadores complexos que podem apresentar restrições de mensuração.

As discussões que o termo ambiental passou a despertar, ainda sob o calor dos apelos do livro de Rachel Carson e do relatório do Clube de Roma, levaram a Organização das Nações Unidas a promover na Suécia de 5 a 16 de junho de 1972, a Conferência da ONU sobre o Ambiente Humano, ou Conferência de Estocolmo, como ficou conhecida. Essa Conferência reuniu representantes de 113 países, com o objetivo de estabelecer uma visão global e princípios comuns que servissem de inspiração e orientação à humanidade, para a preservação e melhoria do ambiente humano. A Conferência gerou a *Declaração sobre o Ambiente Humano* e estabeleceu um *Plano de Ação*, documentos que serviram de base para o surgimento de instrumentos de políticas e gestão ambiental.

Em 1987 divulgou-se o relatório da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (ou Comissão Brundtland), que tratou das preocupações, desafios e esforços comuns para a busca do desenvolvimento sustentável, focalizando o papel da economia internacional, o crescimento populacional, a segurança alimentar, a energia, a indústria, o desafio urbano e a necessidade de mudanças institucionais. Este relatório produziu uma das primeiras avaliações abrangentes com relação a problemas ambientais, econômicos e sociais. Seu tom otimista sugeria que equidade social, crescimento econômico e manutenção do ambiente são simultaneamente possíveis por meio de mudanças tecnológicas e sociais (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1991). Durante novecentos dias a comissão votou ações para a publicação do relatório apresentando como processo de elaboração, presença em audiências públicas e mais de quinhentos trabalhos escritos. O relatório apresentava três objetivos: reexaminar as questões críticas ambientais e de desenvolvimento de modo a formular propostas realistas, propor novas formas de cooperação internacional em relação às questões ambientais e, por último, elevar os níveis de compreensão e comprometimento das ações de indivíduos, organizações voluntárias como ONGs, negócios, institutos e governos citados por Wayne (2012). A comissão havia sido criada pela ONU em 1983 com o objetivo de reexaminar os principais problemas do meio ambiente e do desenvolvimento em âmbito

planetário, formular propostas realistas para solucioná-los e assegurar que o progresso humano fosse sustentável por meio do desenvolvimento, sem comprometer os recursos ambientais para as gerações futuras. A Comissão apresenta uma página na internet (*website*) na qual são vistos projetos e ações que estão sendo desenvolvidos, além de relatórios e publicações voltados a iniciativas para a sustentabilidade (UNITED NATIONS, a, 2013).

O Protocolo relativo às substâncias destruidoras da camada de ozônio, conhecido como Protocolo de Montreal, vigora desde 1989. As disposições do acordo inicial foram sucessivamente reforçadas e agora exigem a eliminação total, para algumas aplicações, dos CFCs e outros compostos destruidores da camada de ozônio (KAZAZIAN, 2009).

Vinte anos depois da Conferência de Estocolmo, a ONU promoveu no Rio de Janeiro (1992) a Conferência da ONU sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92), reunindo representantes de 170 países, com o objetivo de examinar a situação ambiental do mundo e as mudanças ocorridas desde a Conferência de Estocolmo. Buscou-se identificar estratégias regionais e globais para as ações apropriadas referentes às principais questões ambientais. A Rio 92 produziu a Agenda 21, um Plano de Ação para as Nações, do ponto de vista do desenvolvimento sustentável, e estabeleceu a Comissão para o Desenvolvimento Sustentável (CDS) para monitorá-la.

Na Agenda 21, se expressa no capítulo 4 que as causas primeiras da degradação ambiental advêm dos níveis insustentáveis de produção e consumo vigentes nos países industrializados. Durante a Rio 92 o tema mudança nos padrões de produção e consumo, também conhecido com “mppc” foi levantado e discutido a partir do reconhecimento de que o desenvolvimento sustentável só seria factível com a redução dos impactos da produção e do consumo, e do crescimento populacional atual de acordo com Dias (2002). Ainda, definiu os grandes princípios de ação desejáveis para traçar o caminho em direção ao desenvolvimento sustentável, em setores tão diversos quanto à economia, à gestão dos recursos naturais, à educação e à situação das mulheres (KAZAZIAN, 2009).

Em 1994 a ONU promoveu a Conferência Internacional sobre População e Desenvolvimento (Cairo), e em 1996 a Segunda Conferência das Nações Unidas sobre Assentamentos Humanos – Hábitat II (3-4 de junho, em Istambul na Turquia). Nesta, objetivou-se identificar elementos que pudessem tornar as cidades mais humanas, e

se constituíssem em centros de democracia, cultura, inovação e respeito ao meio ambiente.

Seguindo esse encontro, a *The World Bank Resources Institute*, em colaboração com a UNEP, PNUD e *The World Bank*, dedicou uma edição especial do *World Resources* ao ambiente urbano. Segundo esse relatório, mais da metade da humanidade já vive em áreas urbanas. Em muitos países, as cidades geram a maior parte das atividades econômicas, consomem a maior parte dos recursos naturais e produzem a maior parte da poluição e do lixo. As questões ambientais urbanas, embora muito importantes nas escalas local, nacional e global, são frequentemente omitidas. Muitas vezes pela complexidade como são vistas e até mesmo pela dificuldade em tratar sem uma tecnologia e procedimentos adequados. A negligência com que essas questões são tratadas pode comprometer objetivos econômicos, sociais e ambientais na maioria das nações desenvolvidas, em desenvolvimento ou subdesenvolvidas. O relatório conclui que muitos objetivos internacionais e nacionais relacionados com o meio ambiente não serão atingidos sem uma reforma política extensiva e mudanças significativas nas práticas e estratégias atuais.

Reitera-se que o Protocolo de Quioto passou a vigorar em 1997, no contexto das conferências mundiais sobre o clima. Neste documento 159 países concordaram com a redução até 2010 de 5,2% das emissões de gases de efeito estufa em relação a 1990. Para começar a vigorar, este protocolo teve que ser ratificado por 55 países que representavam pelo menos 55% das emissões. Assinado em Quioto, no Japão, entrou em vigor em 2005, mas ficou comprometido porque os Estados Unidos não ratificaram o acordo (KAZAZIAN, 2009).

Ainda, na primeira década do segundo milênio, ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável Rio+20, no Rio de Janeiro. Até o momento foi a maior Conferência da ONU já realizada, com ampla participação de líderes dos setores privado, do governo e da sociedade civil, bem como funcionários da ONU, acadêmicos, jornalistas e o público em geral. Durante nove dias (13 a 22 de junho de 2012), milhares de eventos foram realizados no período que antecedeu e durante a Rio+20, em todo Rio de Janeiro, incluindo mais de 500 eventos oficiais e paralelos no Centro de Convenções Riocentro, onde a Conferência foi realizada. Além do resultado oficial, que foi resumido no documento “O Futuro que Queremos” (UNITED NATION, b, 2013), e das dezenas de propostas

da sociedade civil organizada na Cúpula dos Povos, a Rio+20 foi palco de compromissos voluntários (UNITED NATIONS, c, 2013) que representaram cerca de 600 bilhões de dólares. No total foram 50 acordos envolvendo governos, 72 entre a ONU e ONGs, 226 entre empresas e a indústria, 243 entre universidades e escolas de todo mundo.

A despeito de todos os esforços empreendidos pela humanidade no sentido de buscar formas mais compatíveis de relacionamento com o meio ambiente, os resultados obtidos até agora são tímidos. De certa forma, em virtude das características macro dos indicadores e processos de medição da sustentabilidade. A visão fragmentada, a obsolescência e ineficiência das instituições, a falta de decisões políticas coerentes, o emaranhado de interesses econômicos. A situação torna-se mais preocupante quando o discurso do presidente Barak Obama na COP 15 informa que os Estados Unidos fariam alguma coisa para diminuir as emissões “se, e apenas se...” o mundo fizesse, antes deles, tudo o que os norte-americanos se recusaram a fazer até então. Cabe lembrar que os Estados Unidos são responsáveis por mais de 30% das emissões acumuladas na atmosfera (BRIDI, 2012).

2.1.2 Conceitos utilizados com base nas definições de sustentabilidade vigentes

2.1.2.1 O que é sustentabilidade

Sustentabilidade vem do latim "*sustentare*" que significa sustentar, sustentar, suportar, conservar em bom estado, manter, resistir. Dessa forma, sustentável é tudo aquilo que é capaz de ser suportado, mantido (SICHE et al., 2007). O conceito que será relevado neste trabalho considera a definição apresentada no relatório Nosso Futuro Comum. O Relatório Brundtland, como é conhecido, introduz pela primeira vez o conceito de desenvolvimento sustentável: “Um crescimento para todos, assegurando ao mesmo tempo a preservação dos recursos para as futuras gerações”.

A Comissão *Brundtland* abre então um novo horizonte ao discurso ambiental, até agora então deficiente, alarmista e com base em alternativas econômicas irrealistas. Essa proposta, que rompe com os antigos modelos econômicos, é a primeira a integrar o meio ambiente com o futuro econômico, social e cultural das sociedades humanas de

acordo com Kazazian (2009). No entanto, vale considerar a abrangência desta definição e a quantidade de interpretações que ela permite.

O que é “desenvolvimento” e o que é “sustentável” ainda geram dúvidas. Na verdade, “satisfazer as necessidades das gerações presentes, sem comprometer as das gerações futuras” sinaliza a perpetuação de uma situação de estresse sistêmico, ou seja, desde que as “necessidades (ou ganância) da espécie humana sejam satisfeitas, não se devem levar em conta as necessidades dos inúmeros, complexos, intrincados e inter-relacionados subsistemas que asseguram a biodiversidade na Terra” de acordo com Dias (2002).

Embora a definição apresentada seja de “desenvolvimento sustentável”, a palavra “desenvolvimento” será suprimida neste trabalho. Esta ação visa simplificar a compreensão tendo como subsídio a definição do dicionário Houaiss (2009) e o entendimento do autor. Logo, sustentável é o ato ou efeito de sustentar-se, de manter o equilíbrio ambiental, econômico e social com vistas à utilização eficiente de recursos naturais, renováveis ou não, que atendam a produção sem comprometer as necessidades humanas. Ainda, de modo a subsidiar esta definição, para Miller (2007) a sustentabilidade é a capacidade dos diversos sistemas da Terra, incluindo as economias e sistemas culturais humanos, de sobreviverem e se adaptarem às condições ambientais em mudança. Na visão de Afonso (2006), dentre várias definições existentes sobre sustentabilidade, pode-se estabelecer que o termo implique na manutenção quantitativa e qualitativa do estoque de recursos ambientais, utilizando tais recursos sem danificar suas fontes ou limitar a capacidade de suprimento futuro, para que tanto as necessidades atuais quanto aquelas do futuro possam ser igualmente satisfeitas. Outra definição contemporânea é citada por Veiga (2010): “[...] a questão é sobre o que nós deixamos para as futuras gerações e se lhes deixamos suficientes recursos de todos os tipos para que possam desfrutar de oportunidades ao menos equivalentes às que tivemos”.

Faz-se importante ainda mais uma menção dos aspectos levantados por Cavalcanti (2012) com relação ao desenvolvimento sustentável os quais estão alinhados a este trabalho. Ele indica que para se chegar à sustentabilidade se deve minimizar o uso de matéria e energia, minimizar os impactos ambientais, maximizar o bem-estar ou a utilidade social e atingir uma situação máxima de uso dos recursos de modo semelhante ao realizado pela natureza. O mesmo entendimento é corroborado por Balaceanu e Apostol (2013).

2.1.2.2 Termos que abarcam sustentabilidade e suas idiosincrasias

Os recursos renováveis apresentam a característica de se reconstituir por processos naturais ou pela própria regeneração, geralmente no prazo de algumas décadas.

Quando se trata de redução na fonte, significa que o método tem a finalidade de reduzir o peso, o volume e a toxidade de um produto sem comprometer suas qualidades técnicas e sua aceitabilidade pelos consumidores. E redução na fonte permite reduzir o impacto dos produtos sobre o meio ambiente (KAZAZIAN, 2009). Cabe ressaltar que o método de simplificação apresentado neste trabalho levará em consideração a montagem dos produtos com vistas à redução de componentes embora, além da questão ambiental, as condições econômicas e sociais também sejam contempladas.

Os termos eco concepção ou ecodesign indicam a maneira ecológica de conceber ou desenhar, cuja finalidade é minimizar os impactos de um produto sobre o meio ambiente, durante todo o seu ciclo de vida, conforme uma abordagem multicritérios partindo da criação do produto.

Eco eficiência definida pela OCDE significa a eficiência com a qual os recursos naturais são utilizados para atender às necessidades do ser humano: trata-se de produzir bens e serviços com preços competitivos, satisfazendo as necessidades humanas e melhorando a qualidade de vida, reduzindo ao mesmo tempo os impactos ambientais e o consumo de recursos durante todo o ciclo de vida (KAZAZIAN, 2009).

O conjunto de etapas da vida de um produto é chamado de ciclo de vida, abarcando “do berço ao túmulo”, isto é, desde a extração das matérias-primas que servirão para a sua fabricação até a sua eliminação como resíduo, passando por sua distribuição, comercialização e utilização.

Um conceito que atende ao método desenvolvido é o de desmaterialização, ou seja, é a estratégia econômica cuja finalidade é reduzir a quantidade de materiais utilizados na economia (madeira, petróleo, plástico, ouro, papel, etc.), já que todas as matérias-primas têm impacto no meio ambiente. Ainda, ela é vista como uma contribuição para um aumento da eco eficiência do sistema produtor de resultados (MANZINI; VEZZOLI, 2011). Por exemplo, a desmaterialização pode se traduzir pela fabricação de um produto menor e mais leve, ou pela

substituição de um produto material por um não material (por exemplo, um serviço de compartilhamento de um veículo no lugar da sua compra). Embora o conceito consista na redução de recursos, ele atende as características deste trabalho no que tange a redução de componentes. Ele apresenta em sua constituição de forma implícita, o conceito de “simplificação”.

Eco auditoria é uma ferramenta de gestão utilizada pelas empresas para avaliar a organização, o sistema de gerenciamento e os processos que devem assegurar a proteção do meio ambiente nas plantas industriais (KAZAZIAN, 2009) e (FERREIRA, 2012). Sendo assim, o método criado pode colaborar com esta ferramenta no que diz respeito à atenção voltada para o produto e seus componentes no que se refere às questões de sustentabilidade, tendo em vista as operações.

2.1.2.3 Sustentabilidade e *ecodesign*

A definição da palavra *ecodesign* consiste em dois termos que a compõe: *ecodesign* é um modelo de projeto (design) orientado por critérios ecológicos (MANZINI; VEZZOLI, 2011). De certa forma, trata do reprojeito dos próprios produtos de maneira que venham a atender os princípios da sustentabilidade.

Mudar o consumo faz parte das alternativas consideradas no *ecodesign*, isto é, a integração do desenvolvimento sustentável na concepção dos bens e serviços. É também um eixo de ação que foi retomado pelos participantes da Reunião de Cúpula sobre o desenvolvimento sustentável, realizada em agosto de 2002 em Johannesburgo. Esse verdadeiro desafio planetário exige uma revolução maior: a passagem progressiva de uma sociedade de consumo para uma sociedade dita “de uso”. Grande parte dos bens materiais deve ser concebida de “outra maneira”: passar do produto ao serviço implica a redefinição dos objetos. Portanto, o desafio consiste em imaginar objetos de maneira que o seu uso venha a aliviar o peso da economia do planeta.

Diante do caráter universal desta ambição, as propostas devem ser pensadas em escala humana. Os bens produzidos pelas empresas são as “células-tronco” do “planeta consumo”. Assim, a empresa é um dos principais elos da cadeia da mudança, que poderia aprimorar estes produtos, montando de forma mais eficiente, oferecendo alternativas para aqueles que os concebem, financiam, produzem e distribuem e, por fim e, sobretudo, para aqueles que os utilizam. Os objetos do cotidiano

devem mudar radicalmente. Não se trata de produzir menos, mas de outro modo: imaginar objetos eficientes, de simples uso e cujo fim de vida seja prolongado: ampliar a oferta de produtos que respeitem o meio ambiente; e reduzir para que esta evolução seja fácil (KAZAZIAN, 2009).

2.1.3 O Tripé da Sustentabilidade (*Triple Bottom Line*) e suas dimensões

O estabelecimento do conceito de “Sustentabilidade” recebeu a contribuição de John Elkington quando ele sugeriu este nome para a nova empresa que estava fundando, entre 1986 e 1987: a *SustainAbility*. Esta ação aconteceu poucos meses antes da publicação do Relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, onde o conceito de desenvolvimento sustentável foi utilizado pela primeira vez.

Em 1994, John lançou o conceito do *Triple Bottom Line* conhecido no Brasil como o tripé da sustentabilidade, com o qual se pretendia disseminar a teoria de que as empresas deveriam medir o valor que geram, ou destroem, nas dimensões econômica, social e ambiental (PAIVA, 2008). Esse termo também ficou conhecido como os 3P’s, ou seja, “PPP – *People, Planet and Profit*” (pessoas, planeta e lucro). Essa nova abordagem deu suporte à criação do *Down Jones Sustainability Index* e do *Global Reporting Initiative* (GRI).

No ano de 2004, o autor do termo fez uma análise crítica dos 10 anos da criação do termo “*Triple Bottom Line*”, na qual ele conclui que na realidade o que ainda falta é uma integração real, ao contrário de atividades paralelas, como pode sugerir o termo criado em 1994. Assim, ele lançou outra terminologia: “*Beyond the Triple Bottom Line: Boards, Brands and Business Models*”. A mensagem que ele desejava transmitir era de que a integração deveria acontecer em quatro áreas principais: balanços financeiros, administração, marcas, e modelos de negócios. Ele conclui sua análise afirmando que a abordagem completa da sustentabilidade e da proteção ao meio ambiente constituirá um desafio central para a governança e, mais criticamente, será um desafio para o mercado no Século 21 (ELKINGTON, 2004).

Hoje, mais de 20 anos após a criação do conceito, ele é amplamente utilizado por todos e, segundo o seu criador, muitas vezes abusado e mal compreendido. Algumas empresas às vezes confundem o termo sustentabilidade com um ato de, por exemplo, manterem suas fábricas limpas ou fazerem algum trabalho filantrópico. John Elkington

rebate duramente essa visão, mostrando que sustentabilidade deve ser vista como uma agenda global, na qual mudanças econômicas e políticas possam ser realizadas em prol da sociedade e do meio ambiente mediante a modelagem de um novo mercado (FIGUEIREDO; FILHO, 2009).

Na realidade, esse novo mercado citado por John Elkington já mostra, mesmo que de maneira tímida, porém crescente, que as empresas mais sustentáveis, ou seja, aquelas que se preocupam com variáveis que possam impactar o seu negócio e que efetivamente contribuem para a preservação da vida para as gerações futuras, são mais valorizadas quando comparadas com aquelas que não têm esse tipo de postura. Prova dessa realidade é a criação de alguns índices utilizados por investidores em busca de oportunidade de investimento priorizando empresas que foram classificadas como sustentáveis, após criterioso processo de seleção (FIGUEIREDO; FILHO, 2009).

2.1.3.1 A dimensão Ambiental

2.1.3.1.1 Sustentabilidade Ambiental

A sustentabilidade ambiental preocupa-se com os impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente, sendo denominada pelos economistas de “capital natural”. Sendo assim, a produção primária, oferecida pela natureza, é a base fundamental sobre a qual se assenta a espécie humana. Foram os ambientalistas, atores desta abordagem, que desenvolveram o modelo denominado *pressure, state e response* (PSR) para indicadores ambientais e que o defendem para outras esferas (BELLEN, 2006).

Desta forma, significa ampliar a capacidade do planeta por meio da utilização do potencial encontrado nos diversos ecossistemas, mas reduzindo ao mínimo a deterioração a esses recursos. Assim, Sachs citado por Bellen (2006) aponta que se deve reduzir a utilização de combustíveis fósseis, diminuir a emissão de substâncias poluentes, adotar políticas de conservação de energia e de recursos, substituir recursos não renováveis por renováveis e aumentar a eficiência dos recursos utilizados.

2.1.3.1.2 O projeto orientado para a sustentabilidade ambiental

O design orientado para a sustentabilidade ambiental busca unir fatores objetivos inerentes à prática de projeto como, por exemplo, a aplicação do *Life Cycle Design*, até o desafio da aplicação de elementos monomateriais para a confecção dos artefatos antes de se chegar ao atual debate sobre a “desmaterialização” dos produtos e a expansão da aplicação dos serviços. Para Vezzoli e Manzini (VEZZOLI, MANZINI, 2007), os conceitos de *Life Cycle Design* abarcam as seguintes questões por ele apontadas como critérios ambientais a serem considerados estratégias para o impacto ambiental (MORAES, 2010):

1. Minimizar a utilização dos recursos.
2. Escolher os recursos e processos de baixo impacto ambiental.
3. Otimizar (melhorar) a vida dos produtos.
4. Estender a vida dos materiais.
5. Facilitar a desmontagem, manutenção, reparo e reuso de materiais.

Embora os cinco itens mencionados sejam importantes, se acrescenta um sexto elemento o qual é o escopo deste trabalho, ou seja, “a facilidade de montagem”.

Algumas premissas básicas para melhor orientar o projeto do produto dentro da ótica dos requisitos ambientais podem ser consideradas (MORAES, 2010), e tais premissas são listadas abaixo:

1. Utilização de poucas matérias-primas no mesmo produto. Essa atitude busca uma maior economia de uso de materiais utilizados, sua consequente redução de retirada da natureza, e ainda maior facilidade para o processo de reciclagem.
2. Uso de materiais termoplásticos compatíveis entre si.
3. Escolha de recursos naturais e processos de baixo impacto ambiental. Atenção à escolha de materiais que proporcionem baixo impacto ambiental e utilização dos processos produtivos que apontem para essas mesmas diretrizes. O trabalho atua nesta diretriz de modo que a energia consumida pelas operações e pelos colaboradores possa ser medida de modo que possa ser reduzida a sua utilização.

4. Utilização de poucos componentes no mesmo produto. O uso de poucos componentes em um mesmo produto facilita a desmontagem para a reciclagem dos materiais. Ainda, quanto menor o número de componentes envolvidos, menor será a energia gasta pelas operações.
5. Facilidade de desmembramento na substituição dos componentes.
6. Otimização das espessuras das carcaças em termoplásticos.
7. Não utilização de insertos metálicos em produtos termoplásticos.
8. Não utilização de adesivos informativos confeccionados em materiais que não sejam compatíveis entre si.
9. Uso de madeiras sintéticas (produzidas com plástico 100% reciclado) e/ou certificadas.
10. Extensão da vida do produto.

Os itens 3 e 4 fazem parte da metodologia desenvolvida no trabalho.

2.1.3.1.3 Sustentabilidade ambiental e o consumo de energia

Para Lovins (2013), “precisamos de um novo fogo” por meio da combinação de dois elementos: (a) utilização de energia de forma mais eficiente, e (b) buscar energia de fontes renováveis diversas e principalmente dispersas. Este trabalho considera tanto a energia existente como uma forma mais eficiente da sua utilização. Assim, o primeiro elemento pode ser alcançado por meio da medição de consumo junto às operações e processos.

Assim, parte-se do pressuposto que não se consegue melhorar o que não pode medir e, de certa forma, ele se aplica à energia de acordo com Lovins (2013). O presente trabalho mensura a energia (elétrica e calórica) utilizada na produção e montagem de produtos. Sua finalidade consiste em informar o quanto ela é consumida e posteriormente reduzida mediante a aplicação de técnicas de simplificação que envolvam a montagem de produtos. A comparação dos produtos “antes e depois” é que permite a tomada de decisão com base em dados, tendo em vista as melhorias que poderão ser realizadas. Deve-se mencionar que cabe à indústria assumir a responsabilidade pelo ciclo de vida total dos seus produtos.

A energia é um componente crítico e gerenciável dos custos industriais (LOVINS, 2013). Este trabalho procura indicar onde iniciar o processo de diminuição de energia por meio da análise dos seus componentes durante a montagem. Naturalmente, com a diminuição do consumo de energia, ocorre uma queda no custo de produção.

O desperdício pode ser reduzido por meio de projetos de modo que os processos anteriores – antecedentes – deverão economizar mais energia. O trabalho desenvolvido encontra-se no âmbito *bottom up*, ou seja, inicia-se em uma operação localizada na montagem de componentes e segue em direção às operações antecessoras medindo a energia consumida em cada operação.

2.1.3.2 A dimensão Econômica

A sustentabilidade econômica abrange alocação e distribuição eficiente dos recursos naturais dentro de uma escala apropriada. O conceito de sustentabilidade, observado a partir da perspectiva econômica, segundo Rutherford apresentado pelo trabalho de Bellen (BELLEN, 2006) vê o mundo em termos de estoques e fluxo de capital. Reitera-se que esta visão não está restrita apenas ao convencional capital monetário ou econômico, mas considera o capital de diferentes tipos, incluindo o ambiental e/ou natural, capital humano e capital social de acordo com os conceitos do tripé da sustentabilidade. Desta forma, para os economistas o problema da sustentabilidade se refere à manutenção do capital em todas as suas formas.

Cabe ainda outro conceito definido pelos economistas, os quais se aproximam das questões relativas à sociedade e meio ambiente pela discussão dos conceitos de sustentabilidade forte a fraca, baseando-se no fato de que a humanidade deve preservar capital para as futuras gerações, que corresponde a um conceito preventivo. O capital natural é constituído pela base de recursos naturais, renováveis e não renováveis, pela biodiversidade e a capacidade de absorção de dejetos dos ecossistemas.

Quanto ao conceito de sustentabilidade forte, todos os níveis de recursos devem ser mantidos e não reduzidos, enquanto no conceito de sustentabilidade fraca se admite a troca entre os diferentes tipos de capitais, na medida em que se mantenha constante o seu estoque Bellen (2006).

Desta forma, pode se relacionar sustentabilidade econômica com crescimento econômico com algumas ressalvas. Segundo

Cavalcanti (2012), hoje se pensa e age como se o crescimento econômico fosse à regra para a humanidade, que o crescimento significa necessariamente esgotamento de recursos, destruição de alguma coisa do meio ambiente. Desta forma, não existe nenhum exemplo de sociedade desenvolvida que seja ecologicamente sustentável, simplesmente porque as sociedades desenvolvidas (Grã-Bretanha, Estados Unidos, Alemanha, Japão etc.) chegaram a esse nível há menos de 250 anos. Observa que “sustentáveis” foram às sociedades indígenas no Brasil que tinham 12.000 anos de existência quando os portugueses chegaram aqui. Ainda, Cavalcanti (2012) indica que não é possível equilibrar crescimento econômico com um meio ambiente que não se deteriore ou entre em colapso. De fato, o planeta (o ecossistema global) não cresce; se a economia cresce – e ela é parte do planeta –, obviamente menos meio ambiente restará. Quanto mais gente na Terra, quanto mais produção econômica, quanto mais artefatos construídos, tanto menos natureza (CAVALCANTI, 2012).

A dimensão econômica deste trabalho leva em consideração os indicadores de custos de matéria-prima, energia elétrica e mão de obra medidos diretamente sobre os produtos em estudo. Percebe-se que seu alcance não tem propósitos macroeconômicos como os abarcados pelos conceitos de sustentabilidade econômica, sendo que seu escopo é mais pontual e dirigido a custos de produção e componentes. Mas, mesmo assim, entende-se como oportuna a apresentação de conceitos mais gerais sobre o tema.

Metodologias de DFA são aplicadas nesta dimensão devido à condição de que custos de produção tendem a acumular em virtude do alto consumo de tempo (muitas vezes não previsto) nas operações de montagem (MORRIS, 2010).

2.1.3.3 A dimensão Social

2.1.3.3.1 Sustentabilidade social atrelada à condição econômica

Sob este viés, a ênfase definida por Bellen (2005) refere-se à presença do ser humano na ecosfera. Mas, o conceito de sustentabilidade social acaba atendendo a várias nuances de compreensão junto a uma gama considerável de estudiosos e teses sobre o tema.

Em uma das definições se considera bem-estar humano a condição humana e os meios utilizados para aumentar a qualidade de vida. Assim, Rutherford, citado por Bellen (2005), utiliza o raciocínio econômico, ou seja, que se deve preservar o capital social e humano e que o aumento deste montante de capital deve gerar dividendo. Desta forma, a riqueza é apenas uma parte dentro do contexto da sustentabilidade.

Entretanto, para Sachs (BELLEN, 2005), a sustentabilidade social refere-se a um processo de desenvolvimento que leva a um crescimento estável com distribuição equitativa de renda, permitindo gerar a diminuição das diferenças entre os diversos níveis na sociedade, proporcionando uma melhoria nas condições de vida das populações. Permanece desta forma o viés econômico atrelado à condição social.

2.1.3.3.2 Sustentabilidade social atrelada à mensuração do tempo de produção de produtos

O tempo de trabalho de um colaborador na produção de um produto, muito longo, pode levar ao estresse, isolamento social, consumo exagerado de bens e problemas de saúde. Sob este ponto de vista, reduzir a jornada de trabalho é bom para o planeta, logo, mais sustentável. De acordo com Juliet Schor, citada por Annie Leonard (LEONARD, 2011), “a chave para alcançar um caminho mais sustentável para o consumo é traduzir o crescimento da produtividade em horas mais curtas de trabalho, em vez de mais renda”. Há dados que informam que entre 20% a 30% das pessoas gostariam de trocar renda por tempo de acordo com um estudo realizado pelo *Center for a New American Dream* (LEONARD, 2011).

Desta forma, trabalhar menos e comprar menos precisam ser incorporados ao cotidiano de forma gradativa e de acordo com as leis locais no que concerne às condições trabalhistas. Há exemplos como na Holanda e Dinamarca (LEONARD, 2011) onde até 40% da população trabalha em meio expediente, protegidas por lei. Outra alternativa para a redução de horas de trabalho é mediante o aumento do tempo de férias. Dados informam que apenas 14% dos norte-americanos tiram férias de duas semanas ou mais e, diferentemente de outros 127 países, não existe atualmente uma lei sobre férias remuneradas.

O método proposto neste estudo busca reduzir as horas de trabalho por meio das melhorias provenientes da aplicação de metodologias de simplificação sobre a montagem. Os produtos passam a

ser montados de maneira mais rápida, obtendo-se um menor tempo de produção.

Todavia, com menor tempo de produção dos produtos, a jornada de trabalho pode ser reduzida e mais colaboradores podem ser contratados. Outro fator importante é a contratação de pessoas com idades mais avançadas, as quais estão retornando ao mercado de trabalho de acordo com dados do Anuário do Trabalho na Micro e Pequena Empresa (SEBRAE, 2012). Este relatório informa que, referente à remuneração, os jovens e os empregados com 60 anos ou mais foram os que obtiveram os maiores incrementos salariais. Empregados entre 18 e 24 anos tiveram um aumento médio salarial de 26%, mesmo percentual de acréscimo verificado no pagamento dos funcionários com 60 anos ou mais. “No início da década passada, a taxa de desemprego ainda era alta nessas faixas etárias e, com o aquecimento do mercado de trabalho, os pequenos negócios, que sempre foram uma boa porta de entrada para jovens, também passaram a receber os mais experientes, que retomaram suas atividades profissionais” (SEBRAE, 2012). Esta condição é viabilizada em decorrência da simplificação das operações de produção e, ainda, da baixa necessidade de conhecimentos complexos para desenvolver atividades operacionais de produção.

Os bens, que anteriormente eram feitos artesanalmente, passaram a ser fabricados em linhas de montagem e alimentados por motores a vapor, e isto ocorreu após a Revolução Industrial. Consequentemente, a produção de bens de consumo e afins tornou-se muito mais eficiente. Um trabalhador em meados de 1913 levava aproximadamente doze horas e meia para fabricar um chassi; em 1914, este tempo passou para uma hora e meia (LEONARD, 2011).

A capacidade de produzir sempre mais não parou de crescer. O custo da produção de um megabyte em 1970 era de aproximadamente vinte dólares, esse valor em 2001 despencou para dois centavos. Hoje, com um dólar norte-americano pode-se comprar aproximadamente vinte e cinco gigabytes (DISK DRIVE PRICES, 2013)

Esta situação levou a uma escolha: continuar a produzir a mesma quantidade de bens de consumo e trabalhar menos, ou continuar a trabalhar o mesmo número de horas e produzir o máximo possível. A segunda alternativa foi a que venceu e se pratica até hoje (LEONARD, 2011). Assim procura-se mostrar que os produtos existentes no mercado podem ser produzidos com menor consumo de tempo por meio da análise de suas características de montagem. Entende-se desta forma

que, quanto menor o tempo de montagem dedicado a um produto, mais sustentável o produto é, se considerada a sua dimensão social em detrimento da menor dedicação do ser humano à operação. Esta forma de medição leva em consideração o trabalho de Martínez-Blanco et al. (2014) o qual está voltado à medição do tempo considerando a ACV (Avaliação do Ciclo de Vida)

2.1.3.3.3 Sustentabilidade social atrelada à medida de energia

Uma das propostas para a mensuração da sustentabilidade social apresentada neste trabalho refere-se à utilização dos indicadores “tempo” e “calorias”, ou seja, o melhor resultado será aquele que apresentar a menor utilização de energia calórica por parte dos colaboradores envolvidos nas operações de produção. Ou seja, quanto menor o gasto calórico utilizado na montagem de um produto – de forma direta –, e na produção – de forma indireta –, mais sustentável este produto será considerando a sua dimensão social.

No entanto, de forma geral, os indicadores de sustentabilidade social atendem às indicações definidas pela CSD (*Commission on Sustainable Development* – Comissão para o Desenvolvimento Sustentável), as quais abarcam temas como os seguintes: combate à pobreza, dinâmica demográfica e sustentabilidade, promoção do ensino, da conscientização e do treinamento, proteção e promoção das condições de saúde humana, promoção do desenvolvimento sustentável dos assentamentos humanos (REIS; FADIGAS; CARVALHO, 2005).

Reitera-se que nenhum dos temas apresentados pela Comissão trata a melhoria junto aos processos de manufatura como um indicador de sustentabilidade social pela diminuição do consumo de energia despendida na execução das operações, ou com a atenção voltada diretamente sobre os produtos.

O presente trabalho se utiliza da medição do tempo de cada operação e o transforma em consumo calórico, definindo desta forma que um produto passa a ser medido pela quantidade de energia que ele consome atrelada ao tempo necessário para montá-lo. Esta ideia de medição do tempo vem ao encontro com as ideias de Alvin Toffler (TOFFLER, 1995) contidas em seu livro a “terceira onda” no qual cita formas de medição do tempo definidas de forma não tradicional. Por exemplo, em Madagascar, a unidade de tempo aceita era “um cozimento de arroz”, e um momento era conhecido como “o fritar de um

gafanhoto”. Por outro lado, os ingleses também tinham uma unidade de tempo a qual atribuíam “a duração de um Pai-nosso”. Esta forma de medição permite a permutabilidade (no sentido de partilhar) de uma empresa para outra com relação à metodologia proposta. A mesma unidade passa a ser utilizada permitindo as comparações entre produtos, operações e processos de produção diferentes.

Logo, a sustentabilidade social está relacionada ao tempo que o colaborador leva ao executar as operações de montagem que por sua vez, possibilita mensurar a quantidade de calorias consumidas nas operações. Esta proposta leva em consideração as condições físicas de trabalho (norteadas por uma norma regulamentadora) pelas quais os colaboradores estão submetidos.

2.1.3.3.4 Sustentabilidade social e sua relação com a medição de calorias – a Norma NR 15 e Portaria N° 193

Dois documentos normativos subsidiam e indicam os valores com relação ao consumo calórico dos colaboradores. Um deles é a Portaria N° 193 (BRASIL, PORTARIA N° 193, 2006) e o outro a Norma Regulamentadora NR15. Parâmetros apresentados em suas tabelas de consumo calórico foram utilizados de acordo com as operações. Observada a operação, sua carga de esforço passa a ser definida mediante observação *in loco* e o consumo calórico por tempo é quantificado.

A Portaria N° 193 define os parâmetros nutricionais voltados ao Programa de Alimentação do Trabalhador – PAT. Seu conteúdo procura indicar quais parâmetros devem ser observados de modo a avaliar e garantir o teor nutritivo da alimentação, conforme disposto no art. 3° do Decreto n°. 5, de 14 de janeiro de 1991. Neste trabalho, a ênfase ficou em torno do parágrafo terceiro o qual apresenta os parâmetros nutricionais juntamente com a quantidade calórica ou o valor energético total, para atender ao consumo diário de macro e micro nutrientes (BRASIL, PORTARIA N° 193, 2006). A Tabela 1 apresenta estes dados.

Tabela 1 – Nutrientes e valores diários voltados ao Programa de Alimentação do Trabalhador.

Nutrientes	Valores diários
Valor Energético Total	2000 Kcal
Carboidrato	55-75%
Proteína	10-15%
Gordura Total	15-30%
Gordura Saturada	<10%
Fibra	>25g
Sódio	≤ 2400mg

Fonte: adaptado de (BRASIL, PORTARIA N°193, 2006).

Reitera-se que a quantidade de calorias necessárias apresentada como valor diário apresenta um erro em sua unidade, ou seja, ao invés de 2000cal (duas mil calorias) como apresentado, o correto na verdade é 2000 Kcal (duas mil quilocalorias). Ainda, as distinções com relação ao gênero do colaborador – trabalhador ou trabalhadora – não são mencionadas. Seu valor é utilizado como parâmetro, mas a ênfase na escolha do consumo calórico fica sob a responsabilidade da Norma Regulamentadora NR15.

A NR15 - Atividades e Operações Insalubres – (BRASIL, NR 15, 2011) descreve as atividades, operações e agentes insalubres, apresentando os limites de tolerância vigentes. Seu conteúdo define as situações que, vivenciadas nos ambientes de trabalho pelos colaboradores, apresentam a caracterização do exercício insalubre das operações. Via de regra, aponta os meios de proteção aos colaboradores de tais exposições nocivas à sua saúde. A fundamentação legal, ordinária e específica, que dá embasamento jurídico à existência desta Norma Regulamentadora, são os artigos 189 e 192 da Consolidação das Leis Trabalhistas – CLT.

A norma apresenta os parâmetros para a determinação das taxas de metabolismo basal por tipo de atividade desenvolvida. Estes valores permitem quantificar a quantidade de energia gasta em determinada operação de modo que sua execução implica em gasto energético para aquela função.

A tabela apresentada na norma NR15 (Tabela 2) permite utilizar como referência a taxa de metabolismo basal de um colaborador. Neste trabalho esta taxa é atribuída à quantidade de energia gasta, na montagem de determinado componente ou produto tendo como base o

tipo de atividade. De maneira a utilizar estes valores adota-se a definição de taxa de metabolismo basal, que é a quantidade calórica ou energética que o corpo necessita para manter suas funções vitais.

Tabela 2 – Taxas de metabolismo por tipo de atividade.

Taxas de Metabolismo por tipo de atividade		Kcal/h
	Sentado em repouso	100
Trabalho Leve	Sentado, movimentos moderados com braços e tronco	125
	Sentado, movimentos moderados com braços e pernas	150
	De pé, trabalho leve, em máquina ou bancada, principalmente com os braços	150
	De pé, trabalho moderado em máquina ou bancada, com alguma movimentação	220
Trabalho Moderado	Sentado, movimentos vigorosos com braços e pernas	180
	De pé, trabalho leve em máquina ou bancada, com alguma movimentação	175
	De pé, trabalho moderado em máquina ou bancada, com alguma movimentação	220
Trabalho Pesado	Em movimento, trabalho moderado de levantar ou empurrar	300
	Trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar pesos	440
	Trabalho fatigante	550

Fonte: adaptado de (BRASIL, NR 15, 2011).

Neste trabalho será mantida a denominação “taxa de metabolismo” sem a presença do termo “basal”. No entanto, para fins de compreensão e alinhamento com o escopo deste estudo, esta taxa será chamada de energia calórica despendida pelo colaborador em atividade de montagem. Essa taxa pode variar de acordo com o sexo, peso, altura, idade e nível de atividade física. Deve-se notar que, quanto mais intensa a atividade, maior sua necessidade energética. Em virtude da forma apresentada na Tabela 2, foram adotados os valores correspondentes à sua descrição, por oferecerem parâmetros mais próximos dos praticados pelas empresas.

Naturalmente, a quantidade de Kcal pode variar de colaborador a colaborador e até sofrer variações durante o dia da semana e local de alimentação. Embora exista no país o PAT – Programa de Alimentação do Trabalhador (MATTOS, 2008), a quantidade mínima de calorias pode ter seus valores mínimos negligenciados. O Programa foi criado para melhorar a qualidade de vida dos trabalhadores por meio de diretrizes que permitam atender as necessidades nutricionais mediante a alimentação adequada. Entretanto, para fins de mensuração, essas variáveis não são consideradas, cabendo à utilização dos valores apresentados na Tabela 2, os quais serão utilizados com referência para o cálculo do consumo de energia do colaborador, sendo utilizado posteriormente como indicador para a dimensão social de sustentabilidade.

2.1.4 Sustentabilidade – atendendo a micro e pequenas empresas.

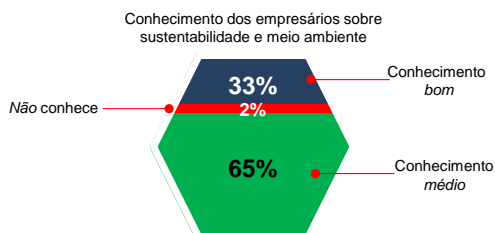
Um princípio econômico básico pressupõe que uma empresa, independente da sua natureza ou tamanho, tenha rentabilidade, gere bons resultados econômicos e, ainda, contribua para o desenvolvimento da sociedade. Sob este aspecto, há uma relação direta com o conceito de *Triple Bottom Line* (Tripé da Sustentabilidade), que apresenta a ideia de que a empresa deve produzir não somente com vistas ao resultado econômico, mas também procurando melhores resultados ambientais e atendimento das necessidades sociais (SEBRAE, 2012). São conceitos integrados ao negócio e não podem ser atribuídos de forma isolada. Atendem à visão do tripé da sustentabilidade ambiental, econômica e social.

As micro e pequenas empresas já vêm se posicionando em função dessa forte tendência relacionada ao atendimento às dimensões da sustentabilidade, cada vez mais presente na legislação e nos mercados. É o que confirma a sondagem feita pelo SEBRAE a cerca de 3.900 empresários desse segmento (SEBRAE, 2012).

Observa-se que a adoção das dimensões da sustentabilidade como valor de mercado vem ocorrendo em ritmo cada vez mais acelerado, mas, como mostra a sondagem, 54% dos empresários não a percebem como uma oportunidade de ganhos em seus negócios. O início pode ser realizado com o aumento da percepção de como o conceito de sustentabilidade pode ser aplicado nos produtos, ou seja, de onde partir as ações.

Foram realizadas 3.912 entrevistas em todo o País. Foi possível constatar que a maioria dos entrevistados avaliou o nível de conhecimentos que possui sobre o tema sustentabilidade e meio ambiente como “médio” (65%), enquanto uma minoria (2%) disse não conhecer esses temas. A Figura 1 apresenta esta distribuição.

Figura 1 – Conhecimento empresarial a respeito de sustentabilidade e meio ambiente.



Fonte: (SEBRAE, 2012).

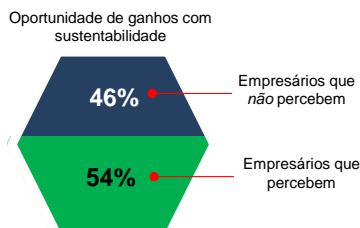
Em sintonia com esse resultado, pode-se constatar que, de fato, os empresários consultados, em sua maioria, realizam ações com foco na sustentabilidade, como coleta seletiva de lixo (70,2%); controle do consumo de papel (72,4%); controle do consumo de água (80,6%); controle do consumo de energia (81,7%); e destinação adequada de resíduos tóxicos, tais como solventes, produtos de limpeza e cartuchos de tinta (65,6%). Ações em detrimento da legislação de resíduos vigentes ou da economia percebida pela empresa.

Apesar disso, percentual expressivo de empresários de micro e pequenas empresas ainda não têm por hábito utilizar matérias-primas ou materiais recicláveis no processo produtivo (51,7%), assim como realizar captação de água da chuva e/ou reutilização de água (83,4%). Muitos também não participam do processo de reciclagem de pilhas, baterias ou pneus (50,9%). Importante, no entanto, foi atestar que a maioria dos entrevistados tem o entendimento de que “sustentabilidade” está fortemente associada a questões ambientais (87%), sociais (82%) e econômicas (82%), e não a apenas uma ou duas dessas questões (SEBRAE, 2012).

Percebe-se a necessidade de ações mais pontuais que não estejam restritas apenas às condições de “coleta seletiva de lixo”, “controle do consumo de papel”, “controle do consumo de água”. Não significa que não sejam ações importantes, mas estas condições ocorrem porque produtos estão sendo fabricados. Logo, a metodologia proposta considera a sua atuação sobre os produtos de modo a contribuir com o aumento da percepção da sustentabilidade. O intento é mostrar que são possíveis oportunidades de ganho junto aos negócios tendo a sustentabilidade como premissa. Desta forma, busca-se atender aos 46%

dos empresários que não percebem a sustentabilidade como algo viável para a melhoria dos seus produtos. A Figura 2 apresenta estes valores.

Figura 2 – Ganhos possíveis com sustentabilidade.



Fonte: (SEBRAE, 2012).

2.1.5 Indicadores – Modelos de medição de desempenho para avaliação da sustentabilidade

2.1.5.1 Indicadores – uma visão geral da sua criação

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. Assim, os indicadores comumente utilizados, como o produto nacional bruto (PNB) ou as medições das correntes individuais de contaminação ou de recursos, 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. Ainda, sua abrangência passa a ser de difícil percepção. É preciso elaborar 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 (UNITED NATIONS, 1992) também apresentados por (VEIGA, 2010). Quanto à auto regulação proposta, ela baseia-se no acompanhamento, aplicação e análise dos indicadores.

Logo, a criação de indicadores parte das mensagens e recomendações que estão no *Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress* (Stiglitz-

Sen-Fitoussi, 2009) apresentados no trabalho de Siche, Agostinho e Ortega e (SICHE et al., 2007).

Esta Comissão indica que há diferenças entre medir desempenho econômico e qualidade de vida (ou bem-estar), e medir a sustentabilidade do desenvolvimento. Um dos pontos considerados e utilizados neste trabalho considera que a sustentabilidade requer um pequeno grupo de indicadores físicos, e não de procedimentos inadequados que tentam artificialmente precificar coisas que não são mercadorias (VEIGA, 2010).

2.1.5.2 Mensurar sustentabilidade – implicações e considerações

O problema efetivo de mensurar a sustentabilidade está relacionado à utilização de uma ferramenta que capture toda a complexidade, sem reduzir a significância de cada um dos escopos utilizados no sistema de modo a informar e comunicar informações relacionadas à sustentabilidade (SINGH et al., 2009). A multidimensionalidade e as diversas interpretações do conceito remetem à definição do “tipo ideal” de Max Weber, onde cada uma das dimensões auxilia na construção de um conceito, mas não o define isoladamente (BELLEN, 2006). Entende-se que uma dimensão define-se por si e ainda tende a complementar o conceito da outra. Porém, é importante saber equalizar estas três dimensões.

O conceito de desenvolvimento sustentável está relacionado a diferentes dimensões que não estão necessariamente associadas a grandezas físicas. As dimensões social e institucional são bons exemplos disso pois, mesmo que seja possível associá-las a indicadores quantitativos, essa associação sofre limitação em função da própria variável que se procura observar. Entretanto, sua definição macro não permite um entendimento claro e rápido do significado do seu indicador.

Indicadores são maneiras de medir a sustentabilidade (NESS et al., 2007). Podem informar ou comunicar o progresso em direção a uma determinada meta e são recursos que deixam mais clara uma tendência ou um fenômeno o qual não possa ser identificado com clareza. O indicador deve ser relevante para o processo de tomada de decisão. Desta forma, indicadores mais desejados são aqueles que resumem, que simplificam as informações mais importantes e fazem com que certos fenômenos que ocorrem na realidade se tornem mais aparentes por meio da agregação e da quantificação de informações (BELLEN, 2006).

Indicadores podem ser qualitativos ou quantitativos, e este trabalho adota indicadores quantitativos.

Os indicadores são vistos como um modelo da realidade, mas não podem ser considerados a própria realidade. Eles devem ser analiticamente legítimos e construídos dentro de uma metodologia coerente de mensuração. São pedaços de informação que apontam características do sistema, procurando realçar o que está acontecendo. Sua função é simplificar informações sobre fenômenos complexos de modo que a comunicação sobre seu significado seja mais compreensível e quantificável. Indicadores são um meio de comunicação, e toda a forma de comunicação requer entendimento entre os participantes do processo (BELLEN, 2006).

2.1.5.3 Componentes e características de indicadores de sustentabilidade

Os indicadores de sustentabilidade podem ser considerados os componentes da avaliação do progresso em relação a um desenvolvimento dito sustentável. A utilização de indicadores de sustentabilidade deve-se dar em função da sua disponibilidade e custo de obtenção, de acordo com Gallopin (BELLEN, 2006). Seu uso permite acompanhar a evolução de determinados parâmetros, indicar a eficiência ou ineficiência em rotinas e operações, bem como auxiliar a fixar prioridades para providências futuras (GIANNETTI; ALMEIDA, 2006).

Em relação à função dos indicadores, Hardi e Barg (BELLEN, 2006) afirmam que podem ser divididos em dois grupos: indicadores sistêmicos e de performance (desempenho). Os indicadores sistêmicos, ou descritivos, traçam um grupo de medidas individuais para diferentes questões do ecossistema e do sistema social, e comunicam as informações mais relevantes para os tomadores de decisão. Indicadores sistêmicos são fundamentados em referenciais técnicos. Os indicadores utilizados neste trabalho apresentam característica sistêmica. Sua característica é local, de natureza mais pontual.

Quanto aos indicadores de performance, são ferramentas para comparação que incorporam indicadores descritivos e referências a um objetivo político específico. Fornecem aos tomadores de decisão informações sobre o grau de sucesso da realização de metas locais, regionais, nacionais ou internacionais. São utilizados dentro de diversas escalas, no campo de avaliação política e no processo decisório

(BELLEN, 2006). Neste caso, abarcam uma dimensão maior, sua característica é macro, sendo desta forma mais genérico.

Gallopín (BELLEN, 2006) sugere que sistemas de indicadores devem seguir alguns requisitos universais:

- Os valores dos indicadores devem ser mensuráveis (ou observáveis).
- Deve existir disponibilidade de dados.
- A metodologia para a coleta e o processamento de dados, bem como para a construção dos indicadores, deve ser limpa, transparente e padronizada.
- Os meios para construir e monitorar os indicadores devem estar disponíveis, incluindo capacidade financeira, humana e técnica.
- Os indicadores ou grupo de indicadores devem ser financeiramente viáveis.
- Deve existir aceitação política dos indicadores no nível adequado, uma vez que indicadores não legitimados pelos tomadores de decisão são incapazes de influenciar as decisões.

As referências oscilam entre micro e macro definições. O intento junto à metodologia proposta neste trabalho é permitir mensurar a sustentabilidade levando em consideração as instruções acima voltando à atenção aos indicadores relacionados diretamente sobre os produtos.

Ainda, para Rutherford (BELLEN, 2006), quando se trata de metodologias que pretende avaliar a sustentabilidade, os melhores métodos são os rapidamente reconhecidos como significantes para alcançar um determinado objetivo político. Desta forma, o número de indicadores deve ser pequeno a qualquer tempo, embora a composição do grupo deva variar com o tempo em atenção a determinados problemas e questões.

Alguns autores classificam os indicadores ambientais por tipo, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação de Indicadores.

Indicadores	Conceito
Indicadores Absolutos	Informam os dados básicos sem análise ou interpretação; por exemplo, quilogramas de resíduos gerados, ou volume de emissões.
Indicadores Relativos	Comparam os dados com outros parâmetros: por exemplo, quilogramas de resíduo por tonelada de produto.
Indicadores Agregados	Agregam dados ou informações do mesmo tipo, mas de fontes diferentes. São descritos com um valor combinado; por exemplo, quilogramas de resíduos tóxicos gerados por país ou região.
Indicadores Ponderados	Mostram a importância relativa de um indicador em relação a outro indicador.

Fonte: Giannetti e Almeida (2006).

Ainda sobre indicadores, conforme são detalhados na norma ISO 14031 tendo alguns tópicos constantes no trabalho de Araújo (2010), diferentes indicadores de sustentabilidade podem ser escolhidos para a composição de relatórios de desempenho. Podem ser classificados em medidas diretas ou absolutas, relativas, agregadas, ponderadas ou índices (ARAÚJO, 2010).

Medidas diretas ou absolutas as quais representam somente um tipo de parâmetro, como dados de peso sobre poluentes gerados. Esse tipo de medida é essencial para a avaliação da capacidade, do teto ou do limite para a expansão de uma atividade qualquer – um princípio fundamental da sustentabilidade.

As **medidas relativas** servem para comparar parâmetros de dois tipos diferentes. Essa medida ajuda a relacionar o desempenho com as melhorias praticadas na empresa, unidade de negócio ou organização.

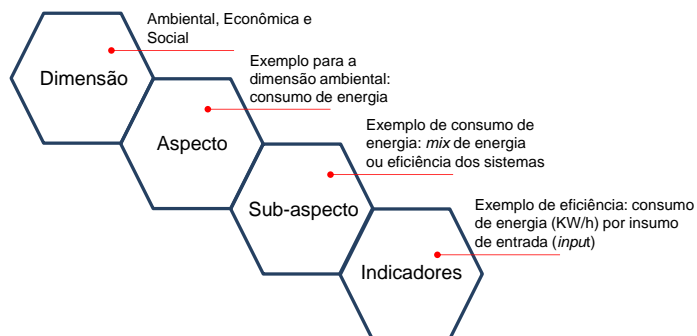
Os **indicadores agregados** representam dados comuns de diferentes fontes, como o total de poluição gerada em função de diferentes unidades de produção.

Outro tipo de medida são os **indicadores ponderados**, que se encarregam de conferir um determinado peso às medidas de desempenho.

O último tipo de medida corresponde aos **índices**, os quais transformam os dados de desempenho em uma unidade comum ou padronizada para permitir a comparação com algum tipo de referência, como por exemplo, as emissões de uma empresa por ano dividido pelo total de todo o país ou região.

De modo a atender as características de mensuração deste trabalho, adotam-se alguns termos constantes na norma VDI 4070 apresentadas por Araújo (2010) com algumas adaptações. Assim, de acordo com a Figura 3, a dimensão pode ser definida como uma área ampla, abarcando os termos ambientais, econômicos e sociais. Aspecto e sub-aspecto estão situados em um nível inferior à dimensão e correspondem a categorias mais específicas de avaliação, mas não estão sendo considerados neste desenvolvimento. Quanto ao indicador, é a medida de um dado aspecto a ser utilizada para demonstrar o seu nível de desempenho de acordo com diretrizes do GRI citadas pelo trabalho de Araújo (2010).

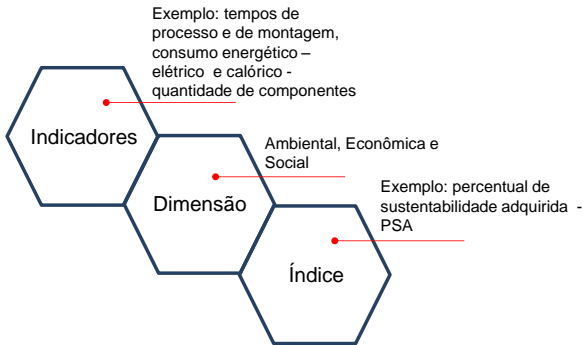
Figura 3 – Formas de mensuração constantes na literatura pesquisada.



Fonte: adaptado de Araújo (2010).

No entanto, a mensuração proposta neste estudo parte dos indicadores, os quais irão compor os valores das dimensões que, somadas, levarão a uma média que resultará em um índice, conforme apresentado na Figura 4. Assim, inverte-se a proposta pela norma VDI 4070 mantendo-se a mesma formação conceitual.

Figura 4 – Formas de mensuração propostas neste trabalho.



Deve-se esclarecer o conceito de dimensão adotado neste trabalho. O termo “dimensão” significa a extensão mensurável (em todos os sentidos) que determina a porção de espaço ocupado por um corpo; tamanho, proporção, cada um dos sentidos em que se mede a extensão, a fim de estimá-la (HOUAISS, 2009). Logo, nada mais oportuno que chamar os indicadores ambientais, econômicos e sociais de dimensões para que se atinja a sustentabilidade em produtos por meio da montagem.

Os indicadores numéricos com vistas às dimensões que atendem a sustentabilidade apresentados neste trabalho, quantificam as operações de produção permitindo a estas serem continuamente monitorados. Podem também ser utilizados para divulgar a qualidade das operações e sua relação com as metodologias de Design e de DFA.

2.1.5.4 A adoção do Índice PSA e sua relação com o Fator 4

Esta metodologia propõe a adoção de um índice denominado percentual de sustentabilidade adquirida ou PSA. Seu valor é oriundo da média proveniente do somatório dos valores obtidos das dimensões – ambiental, econômica e social. Ele indica o quanto se obteve de melhorias no produto após a aplicação das metodologias de Design, DFA e de mapeamento das operações. Seu valor apresentado em percentual, o qual permite sua comparação junto aos valores informados por meio dos cálculos do Fator 4. No entanto, seu valor pode ser utilizado como referência às melhorias constantes que os produtos possam vir a sofrer. Sua formação é apresentada na Figura 5.

Figura 5 – A forma constituinte do percentual de sustentabilidade adquirida denominado PSA.



Com relação ao Fator 4 (em algumas referências citado como “Fator 4 e Fator 10”), ele preconiza que recursos naturais podem ser utilizados de forma mais eficiente em todas as atividades cotidianas tanto na geração de produtos, de serviços e qualidade de vida se divididos por quatro ou, em outras palavras, utilizando apenas 25% do que se utiliza hoje. Isto é possível com o emprego de menos recursos disponíveis mantendo o mesmo padrão de consumo ou utilização (WAYNE, 2012). Os autores, Ernst von Weizsäcker, L. Hunter Lovins e Amory B. Lovins, relacionam sete razões para que a eficiência seja alcançada apresentados por Wayne (2012):

- Viva melhor: a eficiência de recursos melhora a qualidade de vida.
- Polua e exaure menos: a eficiência reduz o resíduo e a poluição, que são recursos não aproveitados.
- Ganhe dinheiro: a eficiência dos recursos é comumente garantia de lucro.
- Aproveite os mercados e alinhe os negócios: as forças de mercados aliadas às estruturas políticas inovadoras e aos mecanismos de mercado podem direcionar a eficiência dos recursos.
- Multiplique o uso do capital escasso: o dinheiro poupado com as práticas eficientes no uso de recursos pode ser reinvestido para solucionar problemas posteriores de eficiência.
- Aumente a segurança: a escassez de recursos e a concorrência podem ser fontes de conflito internacional.

- Seja justo e ofereça mais empregos: a eficiência dos recursos pode reduzir a quantidade de alocação de recursos improdutivos.

Defende-se que tudo pode ser feito com apenas um quarto da energia e dos materiais utilizados atualmente de modo a dobrar o padrão de vida global e, ao mesmo tempo, utilizar apenas metade dos recursos. Informam ainda que o desperdício é caro, que empobrece as famílias, reduz a competitividade e ameaça a base de recursos. Além disso, envenena a água, o ar, o solo e as pessoas. Em alguns casos, elimina o emprego e a vitalidade econômica (WAYNE, 2012). No entanto, apresentam o importante benefício que consiste no uso eficaz dos recursos, fazendo mais com menos.

Serão utilizados os princípios apresentados pelo Fator 4 e Fator 10, os quais foram elaborados em 1997 por Von Wiezsäcker (diretor do Instituto Wupperthal) e Schmidt-Bleek a partir do ano de 1994 (KAZASIAN, 2009). Pretende-se definir uma meta a ser alcançada tendo como base as características de tempo e energia mensuradas ao longo do processo de produção inicial do produto.

O método foi criado com o intuito de facilitar o acesso dos países em desenvolvimento ao crescimento por meio da preservação de recursos e evitando aumentos de poluição. Isto preconiza uma redução dos fluxos de material na economia: uma divisão por quatro daqui a vinte ou trinta anos e por dez daqui a cinquenta anos.

Neste trabalho, esta divisão será pelo Fator 4, e seu resultado atende a função de meta a ser alcançada. Algumas adaptações foram sugeridas para atender melhor a divisão. Como, em alguns casos a quantidade de componentes possa ser pequena e sua divisão leve a resultados fracionados, se optou em dividir os indicadores de tempo e de energia que repercutirá na quantidade de componentes. De acordo com Kazazian (2009), o Fator 4 hoje é tecnologicamente realizável para um grande número de produtos sem que seja necessário modificar radicalmente os processos de produção. Assim, os receios quanto a sua eficácia são mais de natureza econômica e psicológica.

2.1.6 A relação percebida do trabalho com as normas das famílias ISO 14000, 26000 e 50000

Considera-se que as dimensões da sustentabilidade foram criadas com vistas ao atendimento de critérios e normas regulamentadoras existentes, tanto oriundas de questões ecológicas quanto de necessidades econômicas. Uma das contribuições deste

trabalho é de apresentar uma metodologia que contribua junto às normas das famílias ISO 14000, 26000 e 50000 no intuito de oferecer mais subsídios de aplicação de suas diretrizes junto aos produtos.

No que concerne a NBR ISO 14000, internacionalmente reconhecida como *Environmental Management Systems – Specification with Guidance for Use* e intitulada no Brasil como Sistema de Gestão Ambiental (SGA), entende-se que a contribuição possa atender a área temática relacionada aos aspectos ambientais em normas de produtos, mais especificamente a ISO 14062:2002, intitulada “integração dos aspectos ambientais no desenvolvimento de produtos – diretrizes” (CAMPOS; LERÍPIO, 2009).

Tratando-se dos aspectos apresentados junto à norma ABNT NBR ISO 26000 no Brasil, e conhecida como Norma Internacional ISO 26000 – Diretrizes sobre Responsabilidade Social (INMETRO, 2013), dois princípios são considerados de modo a entender o escopo deste trabalho e os indicadores mensurados. Um deles trata de “*Accountability*”, ou seja, ato de responsabilizar-se pelas consequências de suas ações e decisões, respondendo pelos seus impactos na sociedade, na economia e no meio ambiente, prestando contas aos órgãos de governança e demais partes interessadas, declarando os seus erros e as medidas cabíveis para remediá-los. Considera-se também um segundo princípio, que trata do “respeito pelos interesses das partes interessadas (*Stakeholders*)”. Sua premissa trata de ouvir, considerar e responder aos interesses das pessoas ou grupos que tenham interesse nas atividades da organização ou por ela possam ser afetados (ECODESENVOLVIMENTO, 2013).

Considera-se também a observação das diretrizes da norma ISO 50001 - Sistema de Gestão de Energia (SGE) com relação aos itens referentes à diminuição do consumo de energia. Esta norma concatena o “conjunto de elementos inter-relacionados ou interativos para estabelecer uma política e objetivos energéticos, processos e procedimentos para atingir tais objetivos” (ISO, 2013). Desta maneira, especifica os requisitos para o estabelecimento, implementação, manutenção e melhoria de um sistema de gestão da energia. Logo, com base em suas premissas, são considerados os termos que tratam do uso de dados para compreender e tomar decisões sobre o uso de energia e de medição dos resultados (BSI, 2013).

Tanto a norma ISO 14001 quanto a norma ISO 50001 foram baseadas estruturalmente em sua antecedente, a ISO 9001, sob o mesmo

aspecto estrutural. Entretanto, apresentam o mesmo enfoque com relação aos requisitos sistêmicos de um Sistema de Gestão. Com relação aos aspectos técnicos, há algumas analogias e superposições entre a ISO 14001 e a ISO 50001, visto que as transformações energéticas causam, também, impactos ambientais.

Dentro do contexto empresarial, as normas adquirem grande importância em se tratando de atestar publicamente ações internas com vistas às melhorias de processo. Embora esta menção às normas venha a atender ao referencial teórico da pesquisa, sendo realizada de forma simplificada, entende-se que a inclusão da metodologia junto às diretrizes normativas são importantes no sentido de colaborar no atendimento as dimensões de sustentabilidade dos produtos e seus desdobramentos junto à produção.

2.1.7 A LCA – *Life Cycle Assessment* - e sua relação com o trabalho

A LCA (*Life Cycle Assessment*) pode ser traduzida como Avaliação (ambiental) do Ciclo de Vida (dos produtos) denominada de ACV. Ela abarca a relação que existe do produto com o meio ambiente e ocorre desde a extração das matérias primas de sua constituição à eliminação final do produto (VEZZOLI; MANZINI, 2009). Considera os impactos ambientais no que diz respeito à saúde ecológica e humana, tratando também do esgotamento dos recursos naturais. No entanto, ela não considera a interação de dimensões sociais e econômicas as quais são consideradas neste trabalho.

Desta forma, sua contribuição teórica está voltada á utilização de um conceito existente em sua metodologia chamado de “unidade funcional”. Este termo é denominado neste trabalho de “percentual de sustentabilidade adquirida - PSA”, onde sua definição consiste na comparação de um produto antes e depois do seu *redesign* em detrimento de modificação ou simplificação ocorridas. A comparação que ocorre com a aplicação do método é realizada apenas em produtos equivalentes.

Entende-se que a ACV é uma ferramenta que pode auxiliar ao método dentro da dimensão ambiental por meio de soluções de engenharia (BLENGINI *et al.*, 2012). Ainda, permite a adoção de conceitos de *design* de produto de modo a aumentar o valor percebido pelo cliente (MESTRE, 2013). Reitera-se que este trabalho está dedicado a atender a dimensão ambiental, mas também as econômicas e

sociais. Entende-se desta forma que o método pode cooperar na aplicação da metodologia como um auxiliar, ou, como um ponto de partida de estudos de produtos com vistas à sustentabilidade. No entanto, em virtude dos limites de controle definidos (da montagem do produto em direção ao seu processo de produção), ele limita-se a aplicação dentro deste contexto.

2.2 Métodos de Design e de DFA – Design for Assembly

Nesta etapa as metodologias de Design e de DFA voltadas à simplificação dos produtos são conceituadas, concomitante aos efeitos e princípios que as contemplam. A simplificação é subsidiada pelos métodos como a Navalha de Occam, visibilidade e carga de desempenho onde, em conjunto com as diretrizes de montagem, proporcionam a melhoria pretendida. A representação icônica dos processos abarca o conceito de visibilidade em sua definição, permitindo que as operações sejam representadas de forma mais eficaz no que concerne a melhor percepção da mudança.

2.2.1 Definição do termo “projeto para a montagem” - DFA

A montagem compreende um conjunto de operações realizadas durante e após a produção, envolvendo a associação de componentes para a obtenção do produto final (BOOTHROYD; DEWHURST; KNIGHT, 2002). A execução e o número de operações são pré-requisitos que atendem a qualidade da montagem (PAHL et al., 2011). Vale lembrar que devido às características das operações de produção, a montagem pode ainda ser classificada em: pré-montagem seguida de montagem final, a pré-montagem seguida de desmontagem e posterior montagem final e, ainda, a montagem final dos componentes, sem contar as fases intermediárias mencionadas. O processo de modificação de um produto de modo que ele possa ser montado mais facilmente é chamado de DFA, do inglês, *design for assembly* (MORRIS, 2010).

Na montagem, um componente pode ser identificado, captado, movimentado, orientado, introduzido, fixado e ter seu posicionamento final controlado. A produção e a montagem devem ser examinadas em conjunto em detrimento da dependência das operações existentes entre elas (BOOTHROYD; DEWHURST; KNIGHT, 2002). Naturalmente, o mapeamento dos processos se torna necessário para avaliar a montagem de produtos e a dependência entre as operações. Reitera-se que o escopo deste trabalho considera o caminho inverso, ou seja, parte da montagem

de produtos existentes em direção aos processos de produção para posterior análise.

Montagens manuais ou automáticas devem ser consideradas ao se projetar o componente e definir o processo de produção. Embora alguns processos apresentem diversidade quanto às questões de automação, pode-se implementar no produto como um todo apenas operações de produção de determinados módulos ou componentes.

Contudo, quando uma montagem é facilitada, executada de forma confiável e no menor tempo sem comprometer a qualidade do produto, ela apresenta características de simplificação (PAHL et al., 2011). Neste caso, os componentes montados são de fácil identificação, de compreensão dos encaixes e sequências de colocação, e ajustados uma única vez, não havendo a necessidade de desmontar e montar novamente, gerando retrabalho.

Levando em consideração estes conceitos, princípios gerais de projeto dos componentes são apresentados no intuito facilitar a montagem de acordo com Back et al. (2008).

- (a) Reduzir os custos de montagem, minimizando o número de peças, variedade das peças, utilização de ferramentas especiais, distâncias de movimentação e movimentos complexos. Para obter estes efeitos, recomenda-se que sejam adotados os seguintes princípios de projeto:
1. Projetar peças com múltiplas funções, o que geralmente requer maiores custos de produção.
 2. Utilizar módulos de submontagens.
 3. Montar em espaços abertos, não em espaços confinados, e não fora da vista ou do acesso diretos dos manipuladores.
 4. Prever a montagem de peças, de cima para baixo ou em uma única direção, sobre uma base ou plataforma que não deva ser reorientada, de massa relativamente grande e de baixo centro de gravidade.
 5. Minimizar o uso de ferramentas diferentes ou especiais, de dispositivos e gabaritos de montagem. Apesar de que, tendo em vista as características de alguns processos, dispositivos e gabaritos sejam essenciais quando se trata da diminuição do tempo de montagem.
 6. Projetar os componentes com vistas à automação do processo de montagem, pois, via de regra, o que facilita o processamento automático torna fácil à operação manual.

(b) Facilitar o armazenamento ou empilhamento de peças em preparação a montagem:

1. Prever quando as peças ao saírem do processo de produção, sejam empilhadas com facilidade em uma única posição.
2. Ainda, como é muito comum na indústria eletrônica, que componentes sejam fabricados em tiras quando forem estampados a partir e chapas ou em grupos, no caso da montagem por injeção, para simplificar a alimentação em montagens automáticas.

(c) Facilitar a manipulação dos componentes. Isso requer que os componentes a serem montados devam ser identificados, captados, orientados e movimentados até a posição de inserção. Para que esse procedimento seja facilitado, adotam-se os seguintes princípios de projeto:

1. As peças devem ser projetadas para se auto-orientarem quando alimentadas no processo.
2. Projetar para que os componentes não venham a emaranhar-se, encunhar ou desorientar-se na alimentação. Isso facilita a automação na manipulação de peças por mesas vibratórias, tubos e magazines.
3. Conceber peças com simetria e ambos os eixos no plano de inserção. Não sendo possível essa simetria, deve-se então acentuar a assimetria para garantir a correta inserção ou, então, introduzir um detalhe que possibilite a fácil identificação da orientação.
4. Em peças com formas semelhantes mas de materiais diferentes, recomenda-se diferenciar pela cor ou outro recurso para não haver erros de montagem.
5. As peças devem ser projetadas com superfícies que sejam facilmente agarradas, posicionadas ou fixadas. O ideal é adotar superfícies planas, paralelas, que permitam a captação por uma pessoa ou pela garra de um robô.
6. Minimizar peças finas e planas, ou muito pequenas, que requeiram ferramentas especiais, como pinças para manipular e orientar a montagem.
7. Evitar peças com cantos vivos, pontas, arestas cortantes ou rebarbas que possam machucar pessoas, danificar outras peças ou o produto como um todo e, ainda, peças que possam ser facilmente danificadas ou quebradas.

8. Não adotar peças pesadas que possam ferir e fatigar o montador e aumentar o tempo de montagem. Neste caso, criar formas de movimentação atendendo a condições de ergonomia e segurança.
9. Evitar peças escorregadias, oleosas, com adesivos ou flexíveis que dificultem a manipulação.
10. Na compra de componentes, procurar adquirir materiais já orientados em fitas, tiras e magazines. Em alguns casos, apresentando a forma modular.

(d) Facilitar a inserção e fixação dos componentes. Algumas recomendações que facilitam a inserção ou acoplamentos e a fixação das peças são as seguintes:

1. Utilizar guias de inserção tais como ranhuras, chanfros e superfícies cônicas.
2. Inserir as peças verticalmente, de cima para baixo, empilhadas, fixadas pela ação da gravidade e sem a necessidade de fixações provisórias. Neste caso, a utilização de gabaritos com guias facilitam a montagem.
3. Prever a fixação pela utilização de engates rápidos.
4. Evitar o uso de parafusos ou bitolas diferentes.
5. Garantir espaço suficiente para colocação de elementos de fixação e para a movimentação de ferramentas.

(e) Prever o controle de posicionamento final na montagem, garantindo o fácil acesso com instrumentos de medida, e evitar desmontagens para efetuar esse controle.

Tendo como referência os estudos de Pahl et al. (2011), Back et al., (2008) e Boothroyd, Dewhurst e Knight (2002), embora considerando neste trabalho uma metodologia que apresenta como ponto de partida a montagem em direção ao processo de produção, fazendo um caminho inverso, considera-se que uma montagem adequada é alcançada pela: decomposição, diminuição, padronização, viabilização e a simplificação das operações. Nota-se que há uma relação das teorias de montagem que permeiam os conceitos de design apresentados neste trabalho. Ainda, sugere-se a elaboração detalhada das instruções de montagem as quais devem considerar desenhos completos de subconjuntos e do produto (pré-montagem, montagem final), listas de itens de montagem,

sequenciamento, fotografias de elementos de encaixe e direção de montagem, juntamente com o tempo necessário para a operação.

2.2.1.1 DFA (*Design for Assembly*) versus DFS (*Design for Sustainability*)

A preferência em se utilizar o DFA em não os conceitos de DFS merece algumas considerações. DFS é abrangente e sua utilização passa a ser reconhecida como estratégica para as empresas. Propor um DFS significa promover a capacidade da produção em responder à procura social de bem-estar, utilizando por sua vez uma quantidade de recursos ambientais menores se comparado aos níveis de consumo atuais (MANZINI; VEZZOLI, 2011). Ainda, deve aprofundar suas propostas na constante avaliação das implicações ambientais nas diferentes soluções técnica, econômica e socialmente.

O DFS considera durante a concepção de produtos e serviços, todos os fatores que influenciem seu ciclo de vida, ou *Life Cycle Design*. Por outro lado, o intento deste trabalho é partir do produto acabado e não do seu desenvolvimento para se alcançar a sustentabilidade, e esta é a diferença. Logo, os resultados voltados à sustentabilidade deverão acontecer tendo como referência as modificações oriundas das técnicas de simplificação da montagem oriundas dos estudos de DFA.

2.2.2 Métodos de simplificação em Design

2.2.2.1 Navalha de Occam

A Navalha de Occam é também conhecida como Navalha de Ockham, lei da parcimônia, lei da economia a princípio da simplicidade. O termo “navalha de Occam” se refere a Guilherme de Occam, monge franciscano e filósofo de lógica do século XVI que supostamente utilizava esse princípio com muita frequência (LIDWELL, 2010). A grafia do sobrenome apresenta variações em muitas obras, logo, manteve-se a citada na maioria da bibliografia consultada.

Este método define que a simplicidade é melhor que a complexidade em se tratando de condições de design. Seus princípios podem apresentar variações que podem ser adaptadas de acordo com as características dos produtos sob análise e a natureza dos processos. Sendo assim, alguns exemplos de aforismos podem ser utilizados para exemplificar a sua variedade.

- “As entidades não devem ser multiplicadas sem necessidade” – Guilherme Occam.
- “Se todas as circunstâncias forem idênticas, o que exige menos é melhor e mais valioso” – Robert Grosseteste.
- “A natureza opera pelo caminho mais curto possível” – Aristóteles.
- “Não devemos admitir mais causas para os fenômenos naturais do que aquelas que forem verdadeiras e suficientes para explicá-los” – Isaac Newton.
- “Tudo dever ser feito da forma mais simples possível, mas não mais simples do que isso” – Albert Einstein.

Este conceito deixa implícita a ideia de que os elementos (no caso deste trabalho, os componentes) desnecessários diminuem a eficiência do design e aumentam a probabilidade de consequências inesperadas. Sendo assim, as seguintes condições podem ser vivenciadas:

O peso desnecessário, seja ele físico, visual ou cognitivo, prejudica o desempenho. Entende-se como peso físico a quantidade de quilogramas de um componente ou até mesmo o material que este esteja utilizando. Já o peso visual, contempla a quantidade de informações, desenhos ou figuras utilizados para repassar uma ideia ou um conceito. O peso cognitivo, por sua vez, contempla a quantidade de análises e interpretações que sejam necessárias para a montagem de um equipamento, por exemplo, e a quantidade de informações desnecessárias que porventura possam aparecer (LIDWELL, 2010).

O princípio também tem o apelo estético, que compara a exclusão de elementos desnecessários de um design à remoção das impurezas de uma solução: quanto mais limpo for um design mais puro será o resultado (AMBROSE; HARRIS, 2011).

A Navalha de Occam é utilizada para avaliar e selecionar dentre múltiplos designs funcionalmente equivalentes. No caso deste trabalho, o mesmo produto foi utilizado para a comparação. A equivalência funcional se refere a design com desempenhos comparáveis e medidas comuns, porém com um número modificado de componentes (SAMARA, 2010).

2.2.2.2 Carga de desempenho

Quanto maior for o esforço para executar uma tarefa, menor será a possibilidade de a tarefa ser realizada com sucesso, sendo também conhecido como o princípio do caminho de menos resistência e

princípio do menor esforço. Entretanto, este trabalho chama de menor perda de energia e, quanto menor a perda, maior a sustentabilidade.

A carga de desempenho representa quanta atividade física e mental é necessária para alcançar um objetivo. Se a carga de desempenho for alta, o tempo de desempenho e os erros aumentam, e a probabilidade de sucesso diminui. Se a carga de desempenho for baixa, o tempo e os erros reduzem, e a probabilidade de sucesso se amplia. A carga de desempenho consiste em dois tipos: carga cognitiva e carga cinemática. Aplica-se de forma direta a quantidade de componentes que o produto possui.

A carga cognitiva é a quantidade de atividade mental (percepção, memória, solução de problemas) necessária para alcançar um objetivo. Por exemplo, os primeiros computadores exigiam que os usuários memorizassem uma longa série de comandos e os digitassem de modos específicos. A quantidade de comandos que precisavam ser decorados para realizar a tarefa era a carga cognitiva da tarefa (LIDWELL, 2010). O advento da interface gráfica do usuário permitiu que usuários buscassem a série de comandos nos menus, sem precisar memorizá-los. Essa redução na carga cognitiva reduziu drasticamente o esforço mental necessário para utilizar os computadores, o que permitiu que se tornassem produtos de massa e adequados à utilização (AMBROSE; HARRIS, 2011). As estratégias gerais de redução da carga cognitiva incluem a minimização do ruído visual, a segmentação das informações que precisam ser lembradas, a utilização de lembretes para ajudar na solução de problemas e a memória e a automação de tarefas que envolvem muitos cálculos e muita memória. Neste caso, a adoção de pictogramas das operações facilita o entendimento das mudanças ocorridas entre os elementos. Assim, o entendimento fica claro até mesmo a pessoas não familiarizadas com a área ou produto em análise.

A carga cinemática é a quantidade de atividade física (número de passos ou movimentos ou quantidade de força) necessárias para alcançar um objetivo. Por exemplo, o telégrafo obrigava que as pessoas enviassem uma letra de cada vez, usando uma série de pequenas batidas em um equipamento mecânico. O número de batidas para comunicar a mensagem era a carga cinética da tarefa. Samuel Morse criou o código Morse para minimizar a carga cinética atribuindo os códigos mais simples às letras mais frequentes; a letra E era expressa por um *ponto* e a letra Q, por um código mais longo: *traço traço ponto traço*. A abordagem reduziu o esforço físico (carga cinemática), diminuindo

significativamente os tempos de transmissão e os índices de erro. As estratégias gerais para a redução da carga cinemática incluem a redução do número de passos necessários para completar uma tarefa, a minimização da amplitude e da distância dos movimentos, a automação das tarefas repetitivas e ainda, a diminuição dos componentes (LIDWELL, 2010). Em observação a montagem, a primeira intenção é a redução da carga cinemática.

O design deve minimizar a carga de desempenho. Deve ser reduzida a carga cognitiva de modo a eliminar as informações desnecessárias das imagens, segmentar as informações que precisam ser lembradas e criar lembretes para ajudar as tarefas complexas e, ainda, automatizar as tarefas que envolvem muitos cálculos e muita memória. Reduz-se a carga cinemática pela diminuição dos passos desnecessários das tarefas e por meio da diminuição do número de movimentos totais e o gasto de energia. Além disso, se considera a automatização de tarefas repetitivas.

2.2.2.3 Visibilidade

A usabilidade de um sistema melhora quando seu estado e seus métodos de uso estão claramente visíveis (LIDWELL, 2010). De acordo com o princípio da visibilidade, os sistemas são mais fáceis de usar quando indicam claramente seu status, as ações que podem ser desempenhadas e as consequências de cada uma delas depois de realizadas. Por exemplo, pode-se usar a luz vermelha para indicar se um aparelho está ou não recebendo energia; é possível dispor de conjuntos iluminados para apontar quais estão disponíveis no momento; e pode-se explorar um *feedback* sonoro e tátil diferenciado para confirmar quais ações foram realizadas e completadas. O princípio da visibilidade se baseia no fato de que as pessoas têm mais capacidade de reconhecer a solução quando estão selecionando dentre um conjunto de opções do que ao tentar lembrá-las de memória (AMBROSE; HARRIS, 2011). Quando se trata do design de sistemas complexos, o conceito da visibilidade é um dos princípios mais importantes e mais violados do design.

Para incorporar a visibilidade em sistemas complexos, é preciso considerar a quantidade de condições, a quantidade de opções por condição e a quantidade de resultados. As combinações podem ser demais para qualquer um e variam de acordo com os contextos

industriais. Isso leva muitos designers a aplicar uma espécie de visibilidade excessiva, ou seja, se deixa tudo visível o tempo todo.

A abordagem pode parecer desejável, mas, na verdade, ela dificulta o acesso a informações e controles relevantes, pois cria uma sobrecarga de informações. Então, observa-se a tabela de montagem sugerida por Pahl et al., (2011), e se define quais critérios serão considerados. Deve-se lembrar de que não há a utilização de software para esta função.

A organização hierárquica e a sensibilidade ao contexto são boas soluções para a gestão da complexidade que não prejudicam a visibilidade. A organização hierárquica divide os controles e as informações em categorias lógicas, e depois as esconde dentro de um controle-mestre, tal como o *menu* de um aplicativo. Os nomes das categorias continuam visíveis, mas os controles e as informações ficam ocultos até que o controle-mestre seja ativado. Os controles e as informações relevantes para certo produto ganham ampla visibilidade, enquanto os menos relevantes (por exemplo, funções disponíveis) são minimizados ou escondidos (LIDWELL, 2010).

Os controles e as informações visíveis servem como lembretes sobre o que é possível e sobre o que é impossível. Criam-se sistemas que indiquem claramente o seu status, as ações que podem ser concretizadas e as consequências das ações realizadas. Deve-se: (a) disponibilizar *feedback* claro para reconhecer imediatamente as ações dos usuários; (b) evitar a visibilidade em excesso; (c) fazer com que o grau de visibilidade dos controles e das informações corresponda à sua relevância; (d) utilizar a organização hierárquica e a sensibilidade ao contexto para minimizar a complexidade e maximizar a visibilidade (LIDWELL, 2010).

No contexto analisado e estudado junto às empresas neste trabalho, a aplicação pode ocorrer tanto da definição de gabaritos para a montagem quanto na elaboração de procedimentos de montagem com vistas sempre ao menor tempo.

2.2.2.4 Representação Icônica das operações de manufatura

O uso de imagens pictóricas melhoram o reconhecimento e a memorização de sinais e controles e, ainda, permitem repassar a informação de forma mais simplificada e eficiente. Tanto símbolos quanto ícones oferecem uma espécie de atalho visual, resultando em

uma comunicação rápida e no entendimento de um pedaço de informação (AMBROSE; HARRIS, 2012).

A representação icônica caracteriza-se pelo uso de imagens pictóricas para facilitar as etapas de encontrar, reconhecer, aprender e memorizar ações, objetos e contextos em uma mídia e no caso deste trabalho, um melhor entendimento das operações de produção. As representações icônicas são utilizadas na sinalização, nas telas de computador e em painéis de controle. Existem quatro tipos de representação icônica: semelhante, exemplo, simbólica e arbitrária (LIDWELL, 2010).

Os ícones semelhantes utilizam imagens visualmente análogas a uma ação, objeto ou conceito. Eles têm o máximo de eficácia na representação de ações, objetos ou conceitos simples, mas menos eficácia à medida que a complexidade aumenta. Por exemplo, uma placa que indique uma curva perigosa na estrada pode ser representada por um ícone semelhante (por exemplo, uma linha curva) (LIDWELL, 2010).

Os ícones de exemplo utilizam imagens e objetos que representam ações, objetos ou conceitos ou a eles estão associados. São eficazes na representação de ações, objetos ou conceitos complexos. Por exemplo, a placa que indica a localização do aeroporto utiliza a imagem de um avião, e não a imagem de um aeroporto (LIDWELL, 2010).

Os ícones simbólicos utilizam imagens que representam uma ação, objeto ou conceito em nível mais elevado de abstração. Mostram-se eficazes quando as ações, objetos ou conceitos envolvem objetos bem estabelecidos e de fácil reconhecimento. Por exemplo, a figura de uma “taça quebrada” indicando à presença de componentes frágeis em uma embalagem.

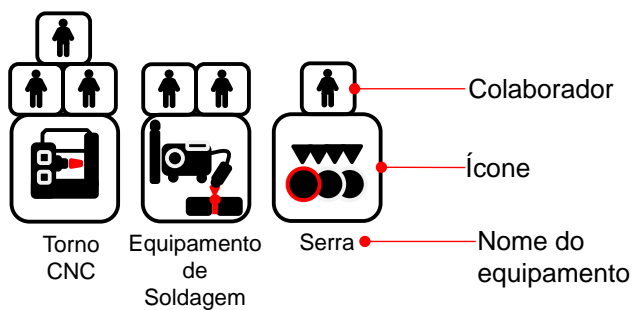
Os ícones arbitrários exploram imagens com pouca ou nenhuma relação com a ação, objeto ou conceito, ou seja, a relação precisa ser aprendida. Em geral, os ícones arbitrários só devem ser utilizados no desenvolvimento de padrões interculturais ou de setores da economia que serão usados por muito tempo, ou que permite que as pessoas sejam expostas ao ícone por um tempo suficiente para torná-lo um instrumento de comunicação eficaz. Por exemplo, o ícone de radiação precisa ser aprendido, pois não há nada intrínseco na imagem que indique a radiação. Os profissionais que trabalham com radiação, no entanto, reconhecem o símbolo em qualquer parte do mundo (LIDWELL, 2010).

A representação icônica reduz a carga de desempenho, conserva a área de representação e controle e facilita a compreensão de sinais e controles entre diversas culturas.

O método proposto procurou utilizar a representação por meio de ícones para facilitar o entendimento dos integrantes da empresa quanto à subtração e à adição de operações junto à produção. Utiliza-se do termo chamado dentro da área de psicologia de “efeito fluência”. Este efeito indica que se a *forma* for difícil de assimilar (no caso, mapeamentos como diagramas de fluxos) o julgamento pode ser afetado, prejudicando a *substância* da informação (MLODINOW, 2012). Ou seja, a representação proposta leva em consideração ícones semelhantes sendo utilizados nas figuras iconográficas das máquinas envolvidas nas operações. Assim, o mapeamento do fluxo pode ser realizado com a utilização deste recurso de modo a facilitar o entendimento. Todavia, em virtude da ação ser demonstrada iconograficamente, os processos apresentados antes e depois fazem com que o retorno da informação se torne possível, permitindo a identificação de suas operações de forma rápida (NORMAN, 2006). Algumas vantagens como a melhor visualização do fluxo, as condições antes e depois das modificações, e o entendimento das interdependências existentes em cada etapa do processo, subsidiam a adoção deste método.

Contudo, como é um método dirigido a ações que envolvem pessoas e suas percepções de produtos e operações, faz-se necessário que a informação gerada permita a interação com o meio físico e social, despertando nos usuários desta metodologia novas formas de pensamento, parâmetros e percepções (NORMAN, 2008) e (SAMARA, 2010). A intenção na utilização deste recurso é fazer com que o entendimento do produto e suas características físicas e produtivas, permitam o acesso e a compreensão mais simples das informações geradas pelos indicadores e as soluções possam ser encontradas. Ainda, a utilização iconográfica de mapeamento de processos atende a classificação de diferentes tipos de operações que permitam a identificação visual. Não há uma universalidade na representação como indica Slack (2009). A Figura 6 apresenta alguns ícones de operações desenvolvidos no âmbito deste estudo, os equipamentos correspondentes, seus nomes e na parte superior, a quantidade de colaboradores que desempenham a ação.

Figura 6 – Exemplo de ícones de operações, nomes e a posição dos colaboradores e suas quantidades.



3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Equipamentos de baixo custo foram utilizados para a medição como um cronômetro digital e um alicate amperímetro digital. Itens de apoio como um computador e seus softwares (*Microsoft Office*®) deram suporte às anotações referentes ao processo de produção, às operações de montagem e às simulações dos indicadores antes e depois das mudanças. Características dos equipamentos utilizados são apresentadas no Apêndice A.

3.2 Métodos

O método proposto procura atender a universalidade de processos de produção e de montagem de produtos. Ele procura permear conceitos de DFA oriundos da engenharia mecânica e metodologias de simplificação utilizadas pela área de *design* de produto.

3.2.1 A elaboração do método

O método desenvolvido inclui metodologias já existentes, as quais foram associadas ao conceito de sustentabilidade observando tanto a área de engenharia mecânica quanto ao design de produtos procurando encontrar o transpasse entre elas. Desta maneira, um público específico se faz necessário atender, o qual é composto por micro e pequenas empresas, que carecem de metodologias simples para melhorar seus produtos. Entretanto, ela pode ser aplicada a grandes empresas, mas, em virtude da quantidade de trabalhos existentes e em andamento para grandes empresas, este trabalho procurou considerar outras necessidades. Com base em dados de uma sondagem realizada pelo SEBRAE (2012), o público para esta metodologia foi identificado e uma proposta metodológica passa a ser apresentada.

Quando se trata de sustentabilidade, questões ecológicas e econômicas vêm à tona. Afinal de contas, são essas duas vertentes que iniciaram a tomada humanitária de controle ambiental, tendo como princípios o meio ambiente, os ganhos e perdas financeiras que poderiam ocorrer.

No entanto, para sair de uma visão totalmente macroeconômica, “macroambiental” e “macrossocial” apresentada pelos diversos métodos de mensuração de sustentabilidade, a proposta pretende utilizar as medições de tempo, de componentes, de energias e de custos em uma

escala “microeconômica”, “microambiental” e “microssocial”, de modo a contribuir de maneira eficiente e perceptível para melhorias nos produtos. Assim, as dimensões ambientais, econômicas e sociais previstas neste trabalho podem ser apresentadas de forma quantitativa, criando uma aplicação com vistas à “micro sustentabilidade”, ou seja, os conceitos de sustentabilidade aplicados de forma mais pontual, com menos indicadores e mais prática.

Esta metodologia parte do final do processo de produção, mais precisamente da montagem e leva em consideração os produtos já existentes, permitindo a aplicação em alguns componentes, ou na totalidade do produto. Pretende-se criar uma espécie de “efeito borboleta” (fenômeno que ocorre quando uma pequena alteração cria mudanças significativas em um sistema) que inicia na montagem e se desloca ao processo de produção. Desta forma se estabelece um caminho inverso para a análise, configurando uma situação conhecida como *end-of-pipe*, ou controle no final do processo. Embora esta seja uma abordagem corretiva, ela permite definir de onde a análise de produtos existentes possa iniciar.

Softwares de DFA não são citados neste trabalho em virtude de muitos estudos já os terem feito e demonstrado a sua eficácia tanto em aplicações quanto em resultados. Reitera-se que o intento é mostrar o que se pode mensurar em termos de sustentabilidade com recursos conhecidos e cotidianos das empresas como programas abertos, projetos calculados ou empíricos, esquemas e desenhos de montagem. O enfoque não é no software, mas sim, no hardware, no produto onde a tangibilidade dos indicadores é percebida.

Naturalmente, se considera como parte importante deste desenvolvimento todas as teorias, conceitos, normas e entendimentos utilizados como referencial bibliográfico previamente citado. Partindo deste pressuposto Martins e van der Linden (2012) apontam que cada proposta de método, metodologia ou desenvolvimento de produtos deve ser recebida de bom grado pois, quem a elaborou desejava fazer algo melhor.

O método proposto foi criado tendo como base algumas premissas, conforme Slack (2009):

- Selecionar o trabalho a ser estudado, que corresponde à mensuração da sustentabilidade de produtos.
- Registrar os fatos relevantes do método por meio do mapeamento de processos e suas operações com posterior representação

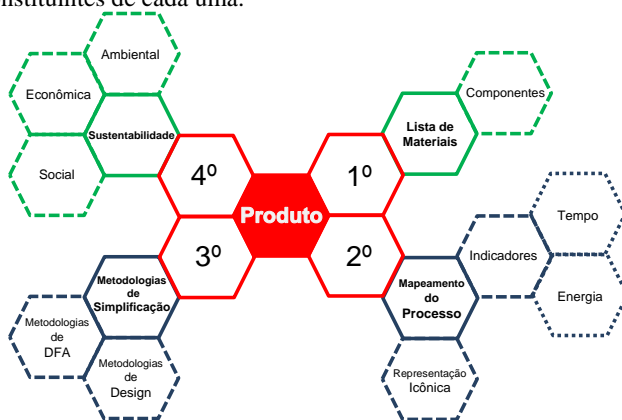
iconográfica. Ainda, efetuar tomada de tempo de cada operação realizada.

- Examinar os fatos (etapas) de modo que o método é analisado de forma crítica no que diz respeito à sua apresentação conceitual e visual. Considera-se nesta etapa a relação entre conceito, indicadores e os resultados que se pretende chegar. O método usa como recursos conceituais os métodos e teorias já existentes tanto de *Design* quanto de DFA.
- Finalizando, verificar a eficácia do método. Um formato dos conceitos teóricos de *Design* e de DFA (efeitos e princípios) é apresentado de forma gráfica. A verificação da eficácia consiste na aplicação em mais produtos e operações dentro da empresa, seguido as mesmas diretivas.

A metodologia proposta apresenta tanto indicadores numéricos quanto análises qualitativas de produtos e operações de montagem. Assim, seus resultados seguem uma condição quali-quantitativa (MATINS; Van der LINDEN, 2012).

O método proposto é dividido em quatro etapas com seus respectivos componentes. A Figura 7 apresenta todas essas etapas, e nas próximas seções serão descritas cada uma dessas etapas e suas partes constituintes.

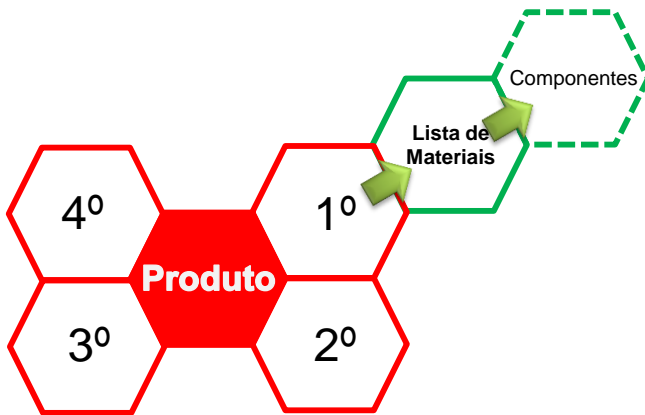
Figura 7 – Representação gráfica do método proposto, suas quatro etapas e as partes constituintes de cada uma.



3.2.2 1ª Etapa – Seleção do Produto e a Lista de Materiais

Com relação à definição quanto aos componentes que constituem um produto que devem depender da aplicação metodológica, faz-se de antemão perguntas como quais, por que e como. Inicia-se com as definições junto às empresas de quais produtos serão analisados sendo a base para a tomada de decisão: as quantidades produzidas, a importância do produto para a empresa, a complexidade do produto e seus componentes ou, ainda, a necessidade manifestada na busca da sustentabilidade. Via de regra, deve-se considerar ainda a possibilidade de tomar estas decisões levando em conta conceitos de simplificação. A Figura 8 apresenta esta etapa e suas partes constituintes.

Figura 8 – O produto e sua lista de materiais a qual faz parte da primeira etapa de aplicação do método. Setas indicam a direção das ações.



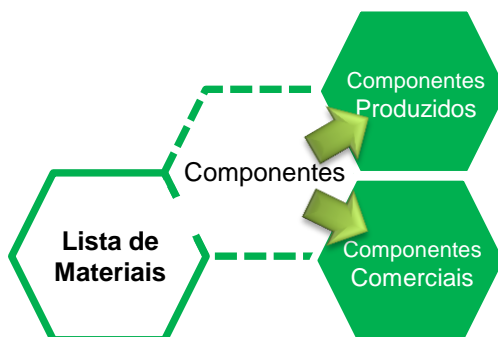
Toda a análise parte da percepção empresarial com relação aos produtos que se pretende estudar e mensurar. Não há um critério específico, estanque ou definitivo, mas cada empresa pode definir critérios com base nos produtos e operações de produção que apresenta. A demanda, a complexidade, as operações internas e terceirizadas, devem ser levadas em consideração. Nos casos que serão apresentados neste trabalho foram utilizados critérios que envolviam produtos de maior saída e produtos com componentes produzidos pelas empresas.

Na aplicação desta metodologia foram levados em consideração na escolha dos produtos os seguintes aspectos:

- Produto com maior demanda.
- Número de componentes para acompanhamento.
- Complexidade do processo.
- Componentes fabricados e componentes comerciais.

Nesta etapa, se a empresa dispõe de um setor de projetos, a lista de materiais (*Bill of Materials* - BOM) (FERREIRA, 2012) pode ser solicitada de modo a se conhecer seus principais componentes e suas características com relação à produção. Neste momento, os elementos comerciais (adquiridos de outras empresas) também são identificados, bem como os componentes de fabricação mais complexa. A Figura 9 apresenta a classificação.

Figura 9 – A lista de materiais a qual diferencia os componentes produzidos e componentes comerciais. As setas indicam as direções das ações.



Cabe lembrar que qualquer componente pode ser retirado no que se refere à simplificação, independentemente de sua procedência, mas em observância à sua função. Caso a empresa não tenha esta lista, desenhos esquemáticos (croquis) podem ser utilizados como guia para o acompanhamento da produção. Um recurso utilizado neste trabalho foi à realização de fotografias dos produtos e seus componentes, como mostrado na Figura 10.

Figura 10 – A cadeira e seus componentes estruturais, sem a presença do assento trançado.



Fonte: Empresa A.

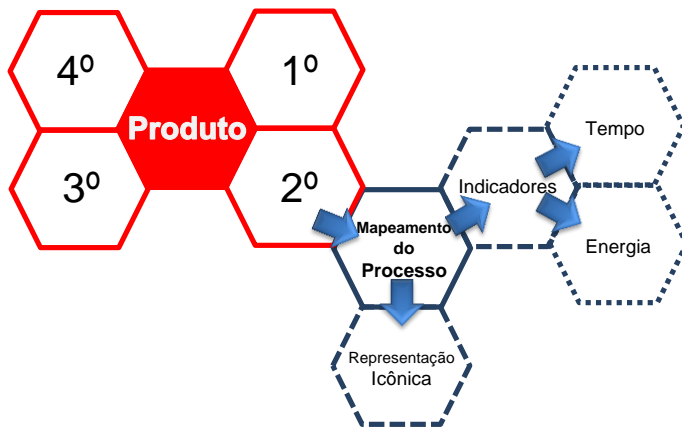
No que compete à equipe de análise ela deve ser composta das partes interessadas da empresa, colaboradores relacionados à área projetos, de produção e de montagem. Os colaboradores que fazem parte das operações de montagem são importantes neste desenvolvimento. Esta metodologia pode ser aplicada por integrantes da empresa que conheçam o produto, seus componentes e seus processos tanto de forma técnica quanto empírica e, portanto, a equipe pode ser multifuncional. Todos os colaboradores podem estar envolvidos na análise dos produtos que fazem parte das operações pelas quais eles são responsáveis.

3.2.3 2ª Etapa - Mapeamento do processo de produção

O mapeamento de processo envolve a descrição do processo de produção de modo a entender como uma operação se relaciona com a outra. Seu intuito é o de apresentar as operações de modo sistemático, dentro de uma sequência lógica, no intuito de aprimorar o processo (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Esta operação ocorre posteriormente à identificação do produto e dos seus componentes. Cabe então identificar o componente e definir seu processo de produção. Mapeado o processo e colocado em representação icônica, os tempos de operação passam a ser mensurados. A Figura 11 indica como serão as ramificações (ou constituintes) do mapeamento.

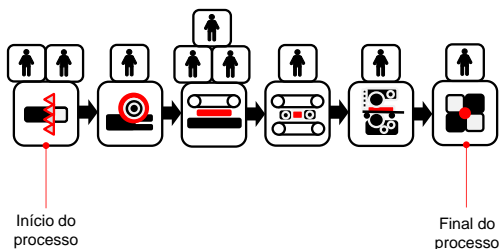
Figura 11 – O mapeamento e as suas partes constituintes. As setas indicam a direção das ações sendo que “indicadores” e “representação icônica” podem ser realizados de forma simultânea.



3.2.3.1 A representação icônica das operações

O uso de imagens para identificar as operações parte da premissa de melhorar o reconhecimento e entender o processo de produção pelo qual o componente do produto sofre ação. Além disso, deve-se repassar a informação de forma mais simplificada e eficiente de modo que todas as partes interessadas no processo possam compreender o antes e o depois da aplicação do método. Ainda, este “atalho visual” permite identificar o resultado em uma comunicação rápida e de fácil compreensão quanto às mudanças ocorridas. A Figura 12 apresenta um exemplo de um fluxo fictício com elementos icônicos.

Figura 12 – Representação icônica de operações de um processo de produção.

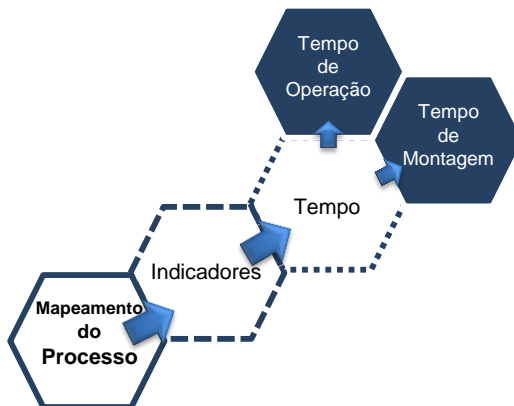


Esta forma de representação faz com que os colaboradores que atuam junto aos processos de produção tenham maior percepção das relações entre uma operação e outra e suas inter-relações. Há indícios de que o trabalho em equipe esteja relacionado à melhora quanto à dimensão social da sustentabilidade (LONGONI, GOLINI, CAGLIANO, 2014). Naturalmente, a visualização permite entender as relações para posteriormente criar novos processos de produção.

3.2.3.2 Medição dos tempos de operação e de montagem do produto

A medição do tempo neste trabalho ocorre em virtude de alguns indicadores estarem relacionados de forma direta com ele. São mensurados os tempos de produção do componente em estudo, abrangendo as etapas de operação e de montagem pelas quais ele é submetido. O resultado pretendido é o tempo que o componente leva para ser produzido e montado. A Figura 13 apresenta as ramificações do tempo, enquanto o Quadro 1 mostra o tempo medido, relacionado com as dimensões e seus indicadores.

Figura 13 – As ramificações do tempo em operações e montagem. A sequência das ações é indicada pelas setas.



Quadro 1 – Medição do tempo e sua relação com as dimensões de sustentabilidade.

		Dimensões		
		Ambiental	Econômica	Social
Tempo de Operação	Indicadores Mensurados	Consumo de energia elétrica	Custo da energia elétrica	Consumo de calorías
			Custo da mão de obra	
Tempo de Montagem			Custo da mão de obra	Consumo de calorías

A medição do tempo de operação permite atender a dimensão ambiental, gerando o indicador voltado ao consumo de energia elétrica. Na dimensão econômica apresentam-se os indicadores relacionados ao custo de energia elétrica e de mão de obra. O consumo de calorías é um indicador que atende a dimensão social (tendo como base os valores da NR15), também quantificado por meio do tempo de operação.

Quanto ao tempo de montagem, sua mensuração atende a dimensão econômica por meio do indicador que apresenta o custo de mão de obra, e a dimensão social indica o consumo de calorías durante a operação.

Ressalta-se que o objetivo não é a determinação de “tempos padrões de produção”, o que caberia a outro estudo. A medição do tempo em questão envolve o produto escolhido, seu processo composto de operações e as características do trabalho. Seu resultado deve permitir identificar características do processo atual e (posterior à simplificação) a nova condição do processo proposto com base nas melhorias junto aos produtos.

Um cronômetro de hora centesimal foi utilizado como recomendado para a mensuração, conforme características apresentadas no item “materiais”. As etapas sugeridas para a medição de tempo relevaram a divisão do processo em operações e o conhecimento dos movimentos do colaborador na execução da ação (MARTINS; LAUGENI, 2005). Igualmente, a medição manteve seu foco diretamente nas operações de modo a tornar o trabalho de tomada de tempos compatível com a obtenção de uma medida, preservando a análise de excessos ou falta de dados (JACOBS; CHASE, 2009). Os tempos de transporte, de *setup* (preparação da máquina) de equipamentos e demais protocolos de medição como tolerâncias e uma análise mais apurada de tempos e métodos, não são considerados por não fazerem parte do escopo principal deste trabalho.

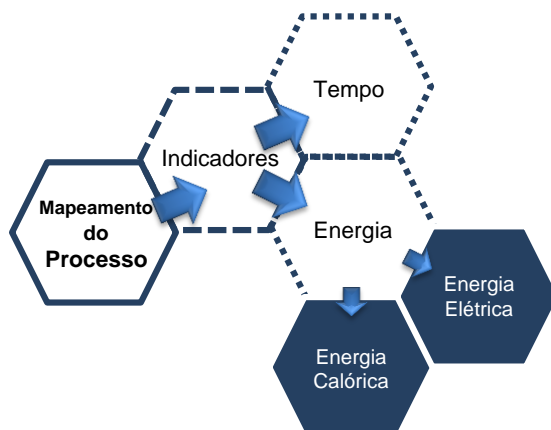
3.2.3.3 Medição da energia consumida durante a operação da produção

As variáveis de entrada de um processo de produção não se limitam à matéria-prima e mão de obra. Para fazer com que tudo funcione, se movimente e se transforme, esses processos são abastecidos com muita energia, que na indústria de processos está na forma de utilidades industriais. A sigla em inglês W.A.G.E.S. - *water, air, gas, eletricity* e *steam* (água, ar, gás, eletricidade e vapor) descrevem as utilidades mais comuns para a transmissão de energia na indústria. Com a demanda crescente por energia, os gestores de utilidades das últimas décadas têm a difícil tarefa de reduzir o consumo para aumentar a eficiência energética de seu processo industrial (NADAIS, 2010).

Os sistemas modernos de produção têm buscado fortemente a redução do consumo de energia para a manufatura de componentes. Isto é devido, em primeiro lugar, a uma preocupação global com questões de sustentabilidade. O consumo de energia está diretamente ligado aos impactos ambientais quanto ao esgotamento de recursos naturais e, principalmente, às emissões de carbono na atmosfera resultantes da geração desta energia. Além disso, a redução do consumo de energia na fabricação tem impacto direto no custo total do produto e se torna uma estratégia economicamente vantajosa para a empresa (He, 2012).

A diminuição do consumo de energia de uma indústria pode resultar tanto em uma redução de custos, devido à menor demanda energética exigida, quanto num ganho em produtividade, quando é de interesse da empresa manter a demanda de energia contratada aproveitando a “quantidade” de energia que seria “economizada” para expandir a produção, investindo em novos equipamentos ou aumentando o número de linhas de produção. A Figura 14 apresenta os indicadores de energia a serem mensurados.

Figura 14 – Os indicadores de energia abordados pelo método e as energias medidas. As setas indicam a direção das ações.



Dentro das concepções que contemplam sustentabilidade e a utilização de energia, este trabalho abarca duas formas de levantamento do consumo energético: a energia elétrica que movimenta as máquinas e equipamentos, e a energia despendida pelos colaboradores em virtude de seu metabolismo, chamada de energia calórica.

Todavia, as energias envolvidas, tanto elétrica quanto calórica despendidas na produção serão mensuradas e utilizadas como indicadores para as dimensões ambientais, econômicas e sociais. A energia elétrica (em KWh - quilowatts-hora), e a energia necessária ao metabolismo (em Kcal - quilocalorias). Logo, o consumo energético será utilizado para comparar os processos atuais e os modificados em virtude da aplicação das metodologias de Design e de DFA. O Quadro 2 apresenta as energias mensuradas junto com seus indicadores.

Quadro 2 – As energias medidas e suas dimensões.

		Dimensões		
		Ambiental	Econômica	Social
Energia Elétrica	Indicadores Mensurados	Consumo de energia elétrica	Custo da energia elétrica	
Energia Calórica				Consumo de calorías

A energia elétrica utilizará as medições de entrada junto aos equipamentos onde a Equação (1) é utilizada para calcular o consumo (ALEXANDER; SADIKU, 2013). As medições são realizadas com o equipamento em funcionamento, executando operações sobre o componente que está sendo produzido. Os dados de entrada para a Equação (1) são apresentados na Figura 15.

$$P = \{[(Vfn * I1) + (Vfn * I2) + (Vfn * I3)] / \eta\} * FP \quad [1]$$

onde:

P = potência em Watts [W]

Vfn = Tensão fase neutro em Volts [V]

Ix = Corrente em Ampères medida em cada fase [A]

η = rendimento

FP= fator de potência

Figura 15 – Dados de entrada voltados para o cálculo do consumo de energia.

Máquinas ou Equipamento	Potência Consumida medida em Amperes	Média dos valores medidos	Tensão Nominal trifásica / tensão de fase (V)	Rendimento (η)	Cos α (0,80) = fator de potência
			380 / 220	0,8	0,8

Dados de entrada medidos diretamente no equipamento.

Dados de entrada dos motores

O valor do rendimento e do fator de potência foram considerados 0,80

Potência total consumida em Watts	Potência total consumida em kWh	Potência total consumida em kWh por segundo de operação	Tempo médio de operação diário [horas]	Custo do kWh [kWh]	Custo de operação médio [Reais/hora]

Valor obtido da média das potências consumidas

Valor oriundo da tomada de tempo do componente durante a sua produção

Dado obtido do contrato de fornecimento de energia junto a concessionária

Foi considerado um rendimento na ordem de 80% em detrimento das condições do motor, obsolescência, inércia, formas construtivas e perdas inevitáveis com o passar do tempo. Quanto ao fator de potência, também foi considerado 80% em virtude das relações existentes entre a potência real e a potência reativa ambas associadas à forma construtiva.

Sugere-se em média de cinco a oito medições em cada condutor quando ocorre baixa variação entre os valores da corrente. Esta mensuração ocorre enquanto o componente está sofrendo a ação na máquina. Assim, as medições são realizadas em regime permanente, considerando o funcionamento normal da máquina sem o pico de consumo do início ou perdas inerentes às características do motor.

Quanto à energia calórica proveniente do metabolismo, ela é calculada em dois momentos: no primeiro durante a montagem e, no segundo, utilizando o tempo que o colaborador está executando a operação. A quantidade diária de calorias necessária é multiplicada pelo tempo mensurado. Posteriormente, ela será distribuída aos tempos de montagem e produção de cada componente. Naturalmente, deve ser observado o tipo de atividade que está sendo executada, considerando que as condições de trabalho podem variar entre leve, moderado ou pesado. A norma NBR15 é utilizada como referência, pois estabelece o consumo calórico de acordo com as características das operações que estão sendo realizadas, conforme o Quadro 3.

Quadro 3 – Taxas de metabolismo de acordo com o NR15.

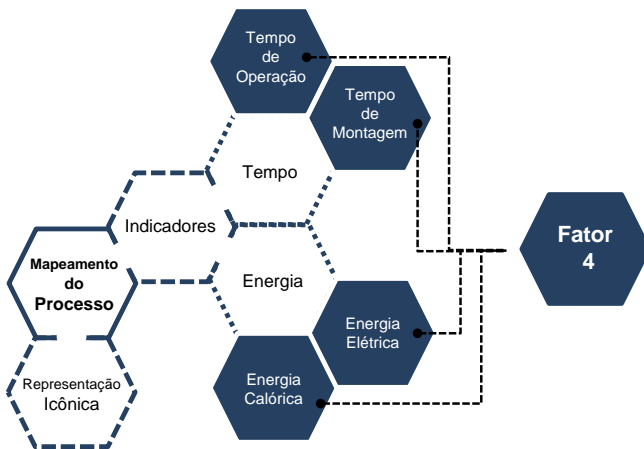
Taxas de Metabolismo por tipo de atividade		kcal/h
	Sentado em repouso	100
Trabalho Leve	Sentado, movimentos moderados com braços e tronco	125
	Sentado, movimentos moderados com braços e pernas	150
	De pé, trabalho leve, em máquina ou bancada, principalmente com os braços	150
Trabalho Moderado	Sentado, movimentos vigorosos com braços e pernas	180
	De pé, trabalho leve em máquina ou bancada, com alguma movimentação	175
	De pé, trabalho moderado em máquina ou bancada, com alguma movimentação	220
	Em movimento, trabalho moderado de levantar ou empurrar	300
Trabalho Pesado	Trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar pesos	440
	Trabalho fatigante	550

Fonte: (BRASIL, NR15)

3.2.3.4 A aplicação do Fator 4

Como citado no referencial bibliográfico, o objetivo da aplicação do Fator 4 é de utilizar apenas 25% dos recursos voltados à produção. Então, este fator é aplicado à primeira geração de dados, atendendo a condição de “meta a ser alcançada”. Ou seja, os tempos de operação e montagem, assim como as energias elétricas e calóricas são reduzidos a 25%. Os valores derivados assim como o custo também podem ser reduzidos utilizando o mesmo princípio. A Figura 16 apresenta a aplicação do Fator 4.

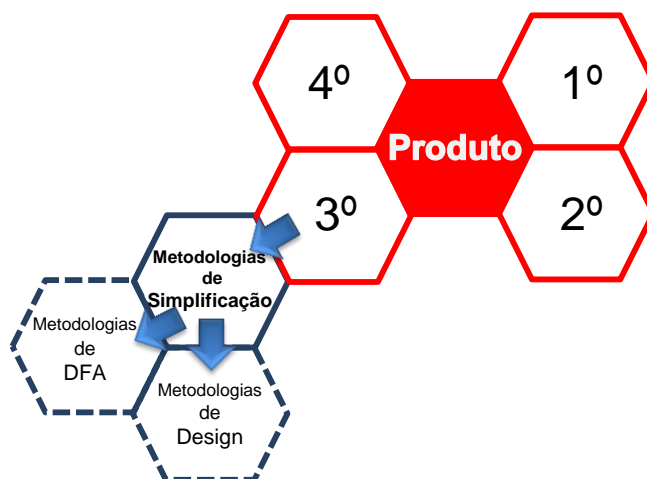
Figura 16 – O Fator 4 e sua aplicação junto aos indicadores no intuito de diminuir 25% dos valores mensurados.



3.2.5 3ª Etapa - Aplicação das metodologias de *Design* e DFA voltadas à simplificação

A aplicação leva em conta duas condições tanto nas metodologias de design quanto de DFA. Duas divisões conceituais são utilizadas, uma abarca os **efeitos** (equivalem ao resultado esperado) e a outra os **princípios** (ações iniciais para se alcançar os efeitos) que devem ser observados para que se chegue ao resultado. Então, *in loco*, em um primeiro momento, apenas os efeitos são observados e posteriormente os princípios são aplicados. A Figura 17 apresenta de forma simplificada esta classificação.

Figura 17 – O produto e as metodologias de simplificação tanto de Design quanto de DFA.



Uma das práticas utilizadas foi a de utilizar os “efeitos” por serem em menor número de modo a diminuir a complexidade da análise e assim não considerar uma gama grande de itens a observar. Posteriormente, a análise segue com a aplicação dos princípios. Os dados gerados são alocados em planilhas onde cada produto ou componente possa ser avaliado e estudado individualmente. As diretrizes para a simplificação são conhecidas e parte-se para a retirada dos componentes e na realização dos ajustes necessários tanto no produto quanto na operação. O Quadro 4 apresenta a planilha envolvendo os princípios e efeitos de Design e o Quadro 5 concerne aos princípios e efeitos de DFA que são previstos para a utilização.

Quadro 5 – Efeitos e princípios de Design com seus correspondentes ambientais, sociais e econômicos. Os círculos verdes indicam quando há relação.

	Ambiental			Econômica			Social			Diminuições			Ambiental		
	Econômica			Social			Econômica			Social			Econômica		
	Social			Econômica			Social			Econômica			Social		
	Princípios														
	Efeitos														
1	1 a) Simplificar														
	1 Não multiplicar componentes sem necessidade														
	2 Diminuir o peso físico														
	3 Diminuir o peso visual														
	4 Diminuir o tempo de montagem														
	5 Manter a equivalência funcional														
2	Navalha de Occam														
	1 Diminuir a atividade mental para desenvolver as operações de produção.														
	2 Minimizar o ruído visual														
	3 Segmentar as informações														
	4 Automatizar tarefas que exijam cálculos complexos														
	5 Indicar operações que compõem uma tarefa														
	6 Minimizar a distância dos movimentos														
	7 Minimizar a distância dos movimentos														
	8 Automatizar tarefas repetitivas														
3	Carga de Desempenho														
	1 Organizar a informação de forma hierárquica e lógica														
	2 Indicar claramente o status da operação														
	3 Indicar operações que possam ser realizadas														
	4 Minimizar movimentos														
	5 Minimizar o tempo														
	6 Maximizar a visibilidade														
4	Carga de Desempenho														
	1 Organizar a informação de forma hierárquica e lógica														
	2 Indicar claramente o status da operação														
	3 Indicar operações que possam ser realizadas														
	4 Minimizar movimentos														
	5 Minimizar o tempo														
	6 Maximizar a visibilidade														
5	Visibilidade														
	1 Organizar a informação de forma hierárquica e lógica														
	2 Indicar claramente o status da operação														
	3 Indicar operações que possam ser realizadas														
	4 Minimizar movimentos														
	5 Minimizar o tempo														
	6 Maximizar a visibilidade														

Fonte: adaptado de Lidwell et al.(2010).

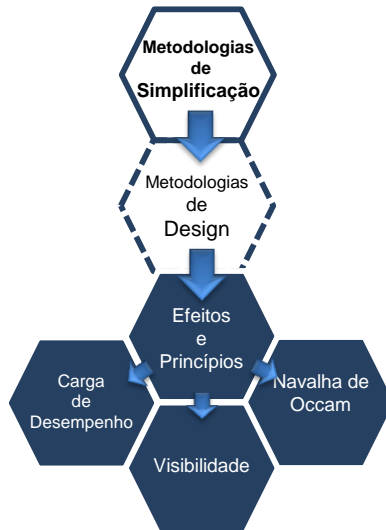
Estes quadros foram criados levando em consideração os conceitos apresentados na literatura no que se refere às metodologias de Design e de DFA. Reunidas as suas principais diretrizes, foram alocadas em planilhas obedecendo aos princípios de simplificação, visibilidade e carga de desempenho. Os conceitos foram reduzidos em palavras mais significativas e em menor número. Os efeitos traduzem “o que se deseja”, ao passo que os princípios o “como fazer” com que estes efeitos sejam atingidos. Assim, atende-se a condição da simplificação. A visibilidade é percebida na disposição da informação nas planilhas, os efeitos na coluna à esquerda e os princípios na coluna seguinte. Elas indicam o que dever ser feito e o que pode ocorrer. No que se refere à carga de desempenho, a carga cognitiva foi levada em consideração de modo a diminuir a quantidade de atividade mental – memória e quantidade de informações necessárias. Ou seja, poucos comandos devem ser necessários nesta etapa. Para facilitar, foram adotados círculos coloridos para aumentar a percepção e indicar a escolha realizada.

A fim de adequar os efeitos e princípios as dimensões de sustentabilidade e seus indicadores, fez-se uma correlação utilizando-se a seguinte pergunta: *este princípio interfere neste indicador?* Por exemplo: *não multiplicar componentes sem necessidade interfere na quantidade de componentes?* Respostas positivas fizeram com que uma marcação pudesse ser feita e assim, foi criada uma correlação com os indicadores e as dimensões de sustentabilidade. Desta forma se estabeleceu com que cada um dos termos tanto de design quanto de DFA, apresentasse um correspondente aos indicadores e às dimensões mensuradas. Assim, a análise foi realizada de forma sucessiva junto aos demais itens de modo a permitir correlacionar efeitos e princípios com os indicadores e as dimensões eles representam.

3.2.5.1 Como as metodologias de Design são aplicadas

A planilha que envolve a aplicação dos métodos de design abarca ao todo quatro efeitos e dezenove princípios os quais foram derivados das metodologias citadas no referencial bibliográfico. Estas metodologias são a Navalha de Occam, carga de desempenho e visibilidade. A escolha das metodologias partiu do princípio de sua aplicação direta sobre o produto e terem essencialmente embutidas em sua definição o conceito de simplificação. Ainda, possuem uma relação com os conceitos de DFA. A Figura 18 apresenta sua composição e metodologias envolvidas.

Figura 18 – Simplificação com a utilização de metodologias de Design. As setas, indicam a direção das ações.



A aplicação foi realizada posteriormente à escolha do produto a ser estudado, e tendo em mãos sua lista de materiais (BOM) e seu fluxo de processo mapeado. Junto com a equipe foram indicados os efeitos esperados e os princípios relacionados. A partir de então são feitas mudanças no produto com vistas ao melhor resultado quanto à porcentagem de sustentabilidade adquirida.

O Quadro 6 apresenta um exemplo de resultado de aplicação. Na planilha os pontos em vermelho (localizados a esquerda) indicam o que deve ser modificado em busca da sustentabilidade. Os que não são citados são eliminados de modo que a atenção fique dirigida apenas aos pontos em questão.

Quadro 6 – Exemplo de aplicação em planilha dos efeitos e princípios de design. As circunferências indicam o “o quê” e o “como”.

Métodos de Design			
O quê	Efeitos	Como	Princípios
●	Simplificar	● Não multiplicar componentes sem necessidade	
		● Diminuir o peso físico	
		● Manter a equivalência funcional	
●	Minimizar a carga cinemática	● Reduzir operações para completar uma tarefa	
		● Minimizar a amplitude dos movimentos	

3.2.5.2 Como as metodologias de DFA são aplicadas

A aplicação da metodologia abarca dezessete efeitos e quarenta e nove princípios. Segue o procedimento semelhante ao aplicado às metodologias de design. A diferença entre elas consiste no maior número de efeitos, e a relação direta com os conceitos de mecânica, principalmente elementos de máquinas. A Figura 19 apresenta os componentes da metodologia de DFA.

Figura 19 – Metodologia de DFA e seus componentes como minimizar, armazenar, manipular, fixar e controlar. As setas indicam a sequencia de aplicação.



A análise ocorre posteriormente à aplicação das metodologias de design. Com a mesma equipe, são indicados os efeitos esperados e que atendam as condições do produto sem comprometer a sua função. Conhecidos os efeitos, os princípios são observados e, a partir de então, se propõe a modificação de modo a tornar o produto mais simples com uma porcentagem de sustentabilidade adquirida alta. Estes dados são alocados em planilha conforme o Quadro 7.

Quadro 7 – Exemplo de aplicação de metodologia de DFA em planilha, observando a condição “o quê” e “como”.

Metodologia de DFA			
O quê	Efeitos	Como	Princípios
●	Minimizar número de componentes		Projetar peças com múltiplas funções
	Minimizar a variedade de componentes	●	Projetar modularidade nas submontagens
	Utilizar ferramentas especiais		Montar em espaços abertos
	Minimizar distâncias de movimentação	●	Manipular componentes com acesso e a vista
●	Minimizar movimentos complexos		Montar de cima para baixo
			Montar em uma única direção
			Montar sobre base ou plataforma (Gabarito) rígida e estável
		●	Minimizar o uso de ferramentas diferentes ou especiais
			Minimizar o uso de dispositivos e gabaritos de montagem
			Projetar componentes com vistas a automação
	Facilitar o armazenamento	●	Prever o empilhamento com facilidade em uma única posição
●	Facilitar o empilhamento		Fabricar componentes em tiras (indústria eletrônica)
			Fabricar componentes em grupos

3.2.6 4ª Etapa - Resultados oriundos da simplificação e a definição do percentual de sustentabilidade adquirida

Neste momento já são conhecidos os tempos de operação e de montagem, a quantidade de componentes, a energia elétrica consumida e seu custo, juntamente com a energia calórica consumida e seu custo, bem como o custo unitário dos componentes. Estes valores mensurados indicam a totalidade consumida juntamente com os custos correspondentes.

Então, as modificações são sugeridas e o produto é simplificado. Com base nos novos valores obtidos de tempo, energia e da quantidade de materiais, sabe-se de antemão qual a economia proporcionada com a retirada dos componentes e a simplificação da operação de montagem. Assim, se obtém o percentual de sustentabilidade adquirida partindo das diretrizes de design e DFA.

As medições iniciais prevalecem sobre o produto em sua forma original de produção, ou seja, sem alterações tanto de produção quanto de projeto. A condição atual do produto indica a sua produção e montagem e, ainda, a mão de obra dedicada para a sua realização. A quantidade e os materiais necessários não são alterados. Obtém-se neste momento uma visão geral do produto e sua relação com seu processo de produção. Esta condição é apresentada pelas 1ª e 2ª etapas.

Após terem sido aplicadas as teorias de simplificação tanto de design quanto de DFA, cria-se uma nova condição do produto com relação ao seu processo de produção e montagem. A simplificação que ocorre deve permitir a equipe agir diretamente sobre os indicadores mensurados e neste momento a 3ª etapa está completa. Para finalizar, as dimensões ambientais, econômicas e sociais passam a ter seu percentual

calculado e definido, correspondendo à 4ª etapa. Este percentual refere-se ao quanto se economizou de recursos se comparado à condição inicial. Por exemplo, se a produção de determinado componente inicialmente levava 100s, e com a simplificação passa a demandar 80s, significa que obteve uma economia de 20%. Então, como defende este trabalho, ele adquiriu 20% de sustentabilidade quando comparado a sua condição inicial. Os valores economizados dos indicadores constituintes de cada dimensão são somados e a média informará o percentual da dimensão. As três dimensões somadas geram uma média que dá origem ao percentual de sustentabilidade adquirido (PSA). A Figura 20 apresenta esta ação e a Figura 21, um exemplo de apresentação dos valores médios das dimensões em conjunto com o índice PSA.

Figura 20 – As etapas, as dimensões de sustentabilidade e a indicação da atuação do PSA.

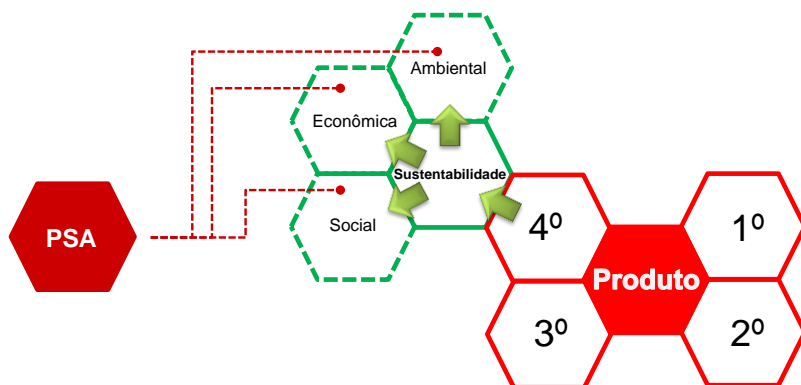
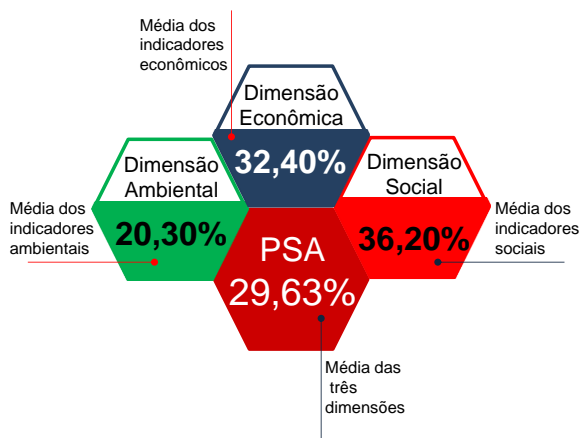


Figura 21 - Exemplo de apresentação dos valores médios das dimensões de sustentabilidade em conjunto com o índice PSA



A relação existente entre PSA e o Fator 4 diz respeito à meta que o PSA deve alcançar. O Fator 4 prescreve que apenas 25% dos recursos devem ser utilizados para que um produto existente se torne sustentável. Então, a redução deve ser em torno de 75%. Desta maneira, quanto mais próximo ou maior a 75% o PSA um produto adquirir, maior a sua sustentabilidade se considerada as dimensões ambientais, econômicas e sociais.

Logo, posterior à aplicação do método, o processo de produção passa a ser executado de acordo com as melhorias realizadas. O tempo e energia consumidos podem ser novamente mensurados a título de verificação. Um novo fluxograma de processo de produção passa a ser executado.

Todavia, a adoção do método pode seguir outras partes do produto em caso de modularidade, ou até mesmo novamente sobre o mesmo produto. Quanto maior o percentual de sustentabilidade adquirida, mais sustentável o produto. Entretanto, no que se refere à comparação, esta deve ser feita sobre o mesmo produto, não sendo recomendada a comparação de produtos ou processos de outras naturezas. É apresentado no APÊNDICE B uma representação gráfica do método em sua totalidade.

4 ESTUDOS DE CASO

A metodologia partiu do pressuposto de atender características das empresas quanto aos seus processos e a variedade dos seus produtos. Uma das aplicações atendeu à produção de cadeiras de madeira – denominada Empresa A - e a outra, a produção de implementos e máquinas agrícolas – chamada de Empresa B, sempre tendo em vista a montagem dos produtos. A primeira aplicação atendeu as características de produção em série, enquanto a segunda abarcou a produção sob encomenda, de acordo com a demanda (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

A escolha destes processos levou em consideração a pluralidade do método e a necessidade em aplicar os conceitos de sustentabilidade em produtos de naturezas distintas e com diferentes níveis de complexidade e número de componentes. O número de componentes entre as empresas estavam entre 10- 1100 componentes.

Estas são empresas de micro – Empresa A - a pequeno porte – Empresa B, de acordo com a classificação do SEBRAE (2012). A empresa fabricante de cadeiras está no mercado há 53 anos enquanto a fabricante de implementos agrícolas há 4 anos. Esta diferença com relação ao tempo de atuação de cada uma delas foi importante para perceber as reações com relação às melhorias dos seus produtos e a interação que existe entre um processo consolidado (no caso das cadeiras) e outro em regime de formação de mercados (no caso dos implementos agrícolas).

4.1 FÁBRICA DE CADEIRAS – EMPRESA A

4.1.1 Informações sobre a empresa

A empresa submetida à primeira aplicação do método foi fundada em 6 de março de 1960. Em tempos de alta demanda já produziu 3600 cadeiras por mês. Dados atuais indicam que fabrica por mês aproximadamente 1200 cadeiras.

Em seu portfólio de produtos apresenta 8 modelos de cadeiras conforme apresentado no Quadro 8.

Quadro 8 – Modelos de cadeiras produzidos pela Empresa A.

Produtos
Banqueta alta
Banqueta alta com encosto
Banqueta baixa Cadeira normal
Cadeira de balanço
Cadeira de três ripas
Cadeira infantil para refeições
Cadeira infantil pequena
Cadeira normal

Fonte: Empresa A.

A Figura 22 apresenta os modelos produzidos em madeira e com empalhamento manual.

Figura 22– As cadeiras produzidas e finalizadas para entrega.



Fonte: Empresa A.

4.1.2 O produto em estudo - cadeira normal

A aplicação do método será sobre a cadeira normal (Figura 23), cuja demanda é constante, além de permitir um acompanhamento mais detalhado do seu processo de produção. As demais cadeiras seguem processos semelhantes com pequenas variações no que confere ao número de componentes e operações realizadas. O processo de empalhamento, no entanto, segue as mesmas operações para todos os modelos, diferindo nas dimensões do assento e a quantidade de corda a ser utilizada.

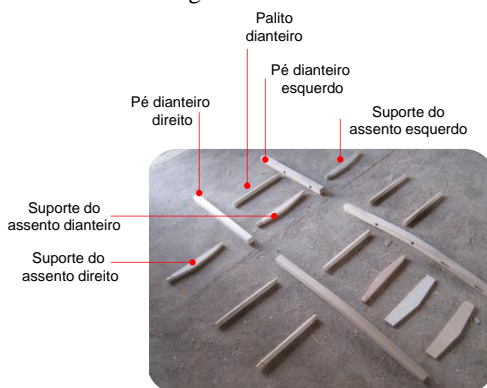
Figura 23 – A “cadeira normal” é produto que sofreu a aplicação do método.



Fonte: Empresa A.

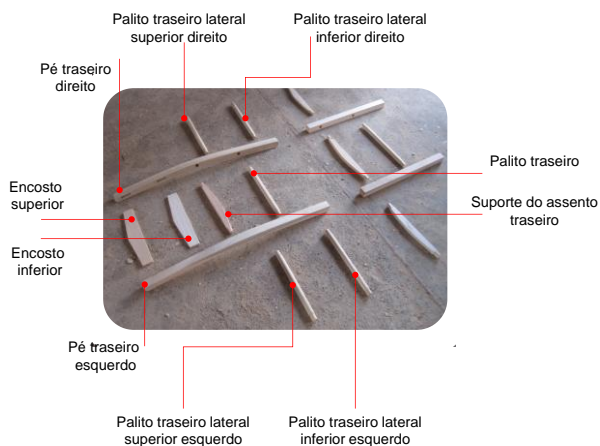
Componentes da cadeira são apresentados nas Figuras 24 e 25. Os componentes dos pés dianteiros pela Figura 24 e os componentes dos pés traseiros pela Figura 25

Figura 24 – Componentes da cadeira – pés dianteiros e seus componentes dispostos de acordo com a montagem.



Fonte: Adaptado de Empresa A.

Figura 25 – Componentes da cadeira – pés traseiros e seus componentes. Observa-se ainda, as disposições e os rasgos e furos de encaixe.

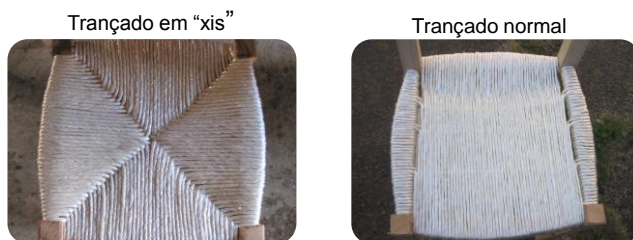


Fonte: Adaptado de Empresa A.

A cadeira é produzida em madeira de eucalipto da espécie *E. grandis* (BIOMASSA, 2013), o qual é utilizado para postes, carpintaria, caixas, celulose e geração de energia.

O empalhamento do assento ocorre de forma manual e pode ser realizado de duas formas: uma normal e outra em “xis”. A Figura 26 apresenta os formatos de trançado.

Figura 26– Formas do trançado do assento da cadeira.



Fonte: Empresa A.

De acordo com o formato do trançado, há um tempo e uma quantidade de material (corda) a ser utilizado. O material da corda pode ser composto somente por plástico celofane (Figura 27), ou papelão envolvido por plástico celofane (Figura 28).

Figura 27 – Corda em plástico celofane com o detalhe do miolo do mesmo material.



Fonte: Empresa A.

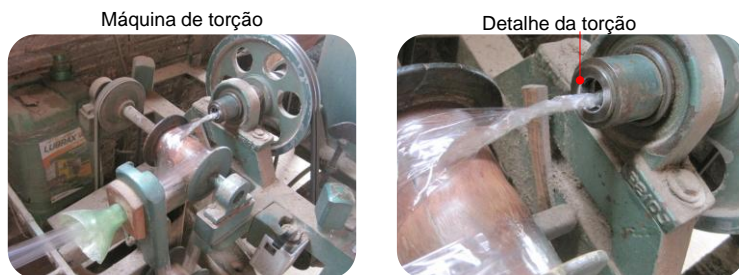
Figura 28 – Corda em papelão envolvido por plástico celofane com o detalhe do miolo em papelão.



Fonte: Empresa A.

A primeira corda é produzida na empresa, na qual há uma máquina que realiza a torção do plástico celofane (Figura 29), enquanto a segunda é comprada de terceiros.

Figura 29 – Máquina para a torção do plástico celofane para transformar em corda. Detalhe do bocal de entrada para a torção.



Fonte: Empresa A.

O trançado ocorre com a ajuda de um grampo, com uma quantidade de corda envolvida. Este grampo tem a função semelhante a uma agulha e sua função é transpassar os “suportes do assento” junto à estrutura da cadeira e, assim, formar assento. A Figura 30 apresenta o grampo e o seu carregamento com corda.

Figura 30 – O grampo para ajudar do transpasse da corda para trançar, e no detalhe, a ferramenta abastecida com corda.



Fonte: Empresa A.

O martelo de madeira com um design específico (Figura 31) é a ferramenta utilizada para o ajuste das cordas no empalhamento, o qual possui três funções distintas: bater, afastar e ajustar as cordas.

Figura 31 – Martelo de madeira para trançar assentos e suas funções.



Fonte: Empresa A.

A Figura 32 apresenta o trançado sendo realizado, suas partes internas e a colocação inicial da corda junto aos suportes.

Figura 32 – O trançado normal em execução, à relação entre fios e a disposição das cordas junto ao suporte do assento.



Fonte: Empresa A.

Apenas dois pregos com cabeça de 15mm, galvanizados, são utilizados na parte superior dos pés traseiros para prender a estrutura dos pés traseiros (Figura 33). São pregados junto ao encosto superior da cadeira e de acordo com informações da empresa, sua função é fazer com que a estrutura dos pés traseiros na parte superior não sofra afastamento.

Figura 33 – O prego com cabeça e o seu formato, utilizado para manter fixa a parte superior dos pés traseiros.



Fonte: Empresa A.

A cola de origem animal é utilizada para prender os palitos nos pés traseiros e dianteiros, os suportes do assento e os encostos, é composta de base natural e é aquecida no local durante alguns minutos antes de sua aplicação (Figura 34).

Figura 34 – O aspecto físico da cola antes do derretimento. Sua função é a fixação dos componentes na cadeira.



Fonte: Empresa A.

A cola animal é um adesivo a base de água do qual o colágeno, um polímero natural, é o principal componente. Através da hidrólise do colágeno, ele é separado e processado até a transformação em cola, que depois de seca é moída, apresentando uma granulometria que varia de 10 a 20mesh e também 30mesh. Ainda, é totalmente segura quanto ao seu manuseio, é atóxica, reciclável, biodegradável e não poluente (INCOGEL, 2013).

4.1.3 Aplicação do Método sobre a cadeira normal

A aplicação do método é descrita a seguir, de acordo com as quatro etapas definidas no processo de elaboração. De modo a simplificar a aplicação e visualização do método, planilhas foram criadas para o acondicionamento dos dados em cada etapa.

O Quadro 9 apresenta a lista de materiais (BOM), que inclui a classificação dos componentes para produção e componentes comerciais.

Quadro 9 – Lista de materiais da cadeira normal apresentando as quantidades e os nomes dos componentes.

		BOM			
		Componentes	Quantidades	Componentes para a produção	Componentes comerciais
1 Montagem	Pés Dianteiros	Pé dianteiro direito	1	●	
		Pé dianteiro esquerdo	1	●	
		Suporte do assento dianteiro	1	●	
		Suporte do assento esquerdo	1	●	
		Suporte do assento direito	1	●	
		Palito dianteiro	1	●	
2 Montagem	Pés Traseiros	Pé traseiro direito	1	●	
		Pé traseiro esquerdo	1	●	
		Suporte do assento traseiro	1	●	
		Palito traseiro	1	●	
		Palito lateral superior direito	1	●	
		Palito lateral superior esquerdo	1	●	
		Palito lateral inferior direito	1	●	
		Palito lateral inferior esquerdo	1	●	
		Encosto superior	1	●	
		Encosto inferior	1	●	
		Pregos	2		●
	Total		18		
3 Montagem	Assento	Corda para empalhamento Normal	650g	●	●
		Corda para empalhamento em "xis"	940g	●	●
		Cola	5g		●

Fonte: adaptado de Empresa A.

O Quadro 10 mostra uma lista de materiais mais sucinta, indicando as montagens, os componentes dos pés dianteiros, traseiros e a montagem. Acrescenta-se a esta lista, o custo dos componentes envolvidos.

Quadro 10 – Lista de materiais simplificada a qual apresenta as montagens, seus principais componentes e o custo.

	BOM Atual		
	Componentes	Quantidades	Custo (R\$)
1 Montagem	Pés Dianteiros	6	1,67
2 Montagem	Pés Traseiros	10	2,63
3 Montagem	Assento	650g	2,60

Fonte: adaptado de Empresa A.

A Figura 35 apresenta a cadeira e seus componentes. Como não há um setor de projetos na empresa, o recurso fotográfico foi utilizado para o registro.

Figura 35 – A cadeira, seus componentes e a sua localização na estrutura.



Fonte: Empresa A.

O mapeamento consiste na representação iconográfica da condição inicial. A Figura 36 apresenta a legenda com o nome das operações, a Figura 37 o processo mapeado dos pés dianteiros, a Figura 38 dos pés traseiros e a Figura 39 do assento, ou seja, o trançado.

Figura 36 – Legenda das operações da produção da cadeira, sua representação icônica e o nome dos equipamentos.

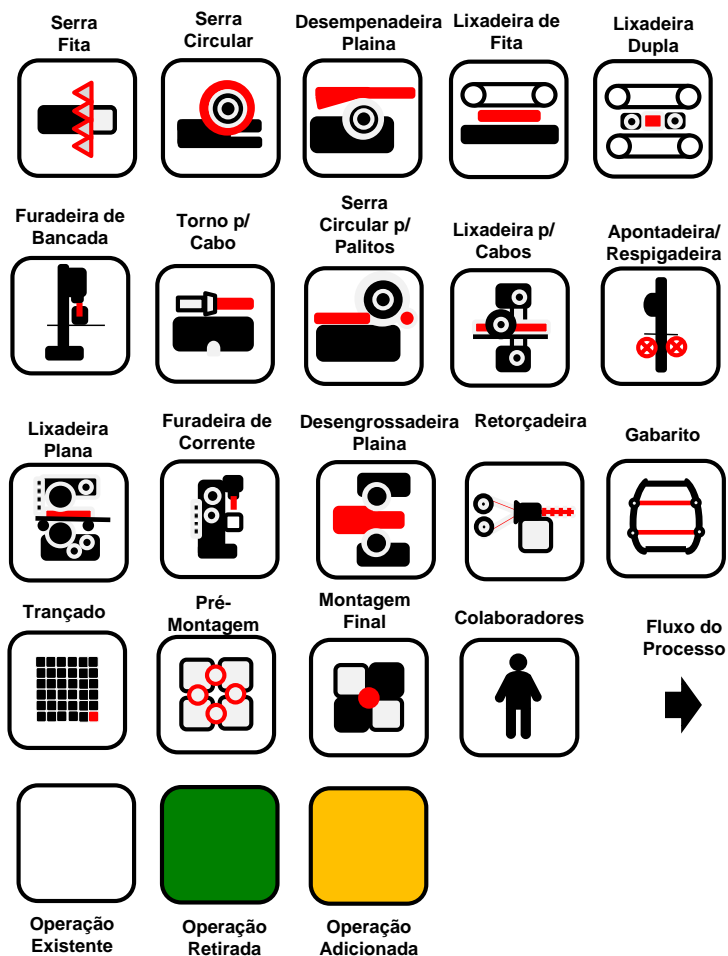
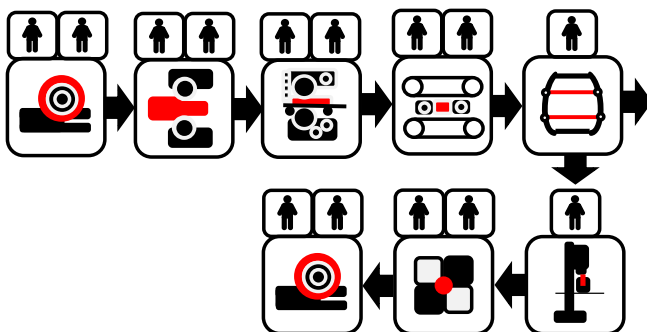
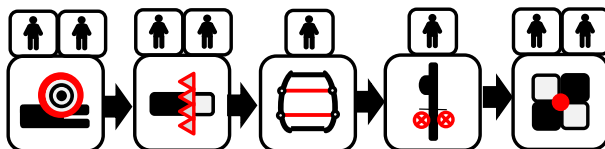


Figura 37 – Operações relacionadas ao processo de produção do pé dianteiro, representadas de acordo com o fluxo.

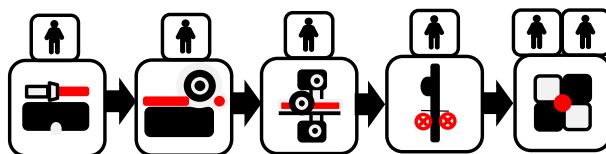
Mapeamento – pés dianteiros



Mapeamento – Suporte do assento



Mapeamento – Palito



Mapeamento – Encosto

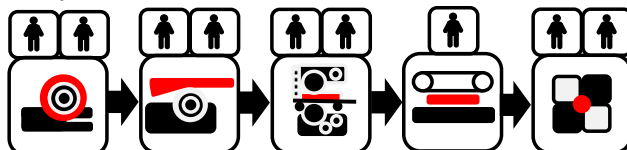
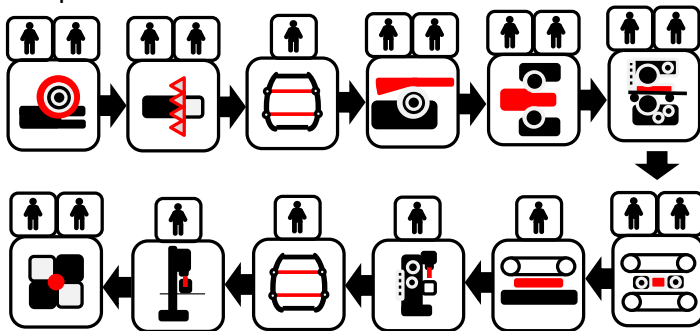
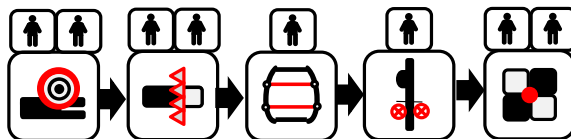


Figura 38 – Operações do pé traseiro, seu fluxo de produção e na parte superior, a quantidade de colaboradores envolvidos.

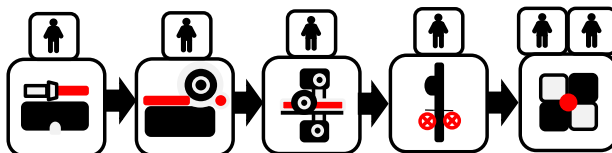
Mapeamento – Pés traseiros



Mapeamento – Suporte do assento



Mapeamento – Palito



Mapeamento – Encosto

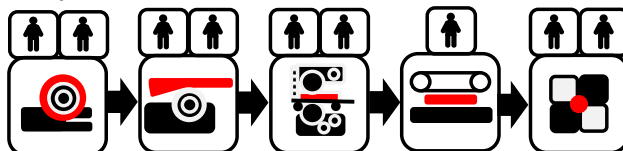
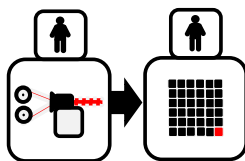


Figura 39 – Operações que envolvem o trançado do assento.

Mapeamento – Assento



Posterior ao mapeamento é feita a tomada de tempos, e os dados coletados junto ao processo de produção são armazenados. O Quadro 11 apresenta os dados.

Quadro 11– Entrada de dados do processo de produção.

Componentes	Tempo em segundos (s) das operações				Número de colaboradoras envolvidas nas operações				Operações Atuais				Índice comparado de Energia Elétrica com base no tempo de produção (kWh)	Custo da Energia Elétrica com base no tempo de produção (kWh)
	Montagem		Proteção		Montagem		Proteção		Custo dos colaboradores		Consumo de cabinas (kW por segundo)			
	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem		
1. Montagem	208,8	26,4	38	6	4,72	0,07	0,14	0,28						0,0053
2. Montagem	308	6	66	1	16,8	2,45	0,28	0,51						0,01743
3. Montagem	84,4	0	0	2	0	2,45	0,00	0,28						0,0397
Total	1475,46	117,8	105	18	16,5	2,64	0,40	0,51						

O Fator 4 é calculado e seus valores apresentados junto ao Quadro 12.

Quadro 12 – O cálculo do Fator 4 e o valor correspondente à utilização de somente 25% dos recursos.

Fator 4									
Tempo em segundos (s) das operações	Número de colaboradores envolvidos nas operações		Custo dos colaboradores		Consumo de calorías (KW por segundo)		Potência consumida de Energia Elétrica com base no tempo de operação de produção (kW/s)	Custo da Energia Elétrica com base no tempo de operação (kW/s)	Total
	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem			
368,865	29,45	26,25	4,5	4,125	0,66	23,7365	0,505825	0,2920015	0,009925

Na sequência aplicam-se as metodologias e Design e DFA com vistas à simplificação. O Quadro 13 e o Quadro 14 apresentam as diretivas utilizadas para a simplificação da cadeira em consenso com a equipe da empresa. A

Quadro 13 – Os efeitos desejados de Design.

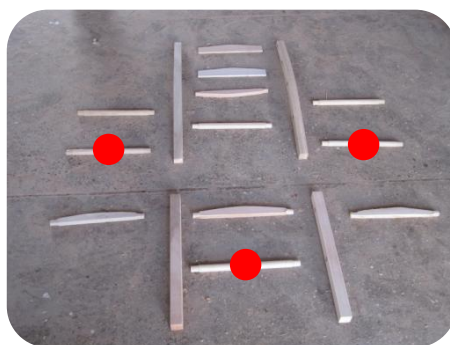
Design	
O quê	Efeitos
●	Simplificar

Quadro 14 – Efeitos de DFA em consenso com a equipe.

DFA	
O quê	Efeitos
●	Minimizar número de componentes

A **primeira simplificação** deve levar em consideração a retirada do palito dianteiro do pé dianteiro, o palito inferior direito, juntamente com o palito inferior esquerdo, pertencentes ao pé traseiro. A Figura 40 apresenta os componentes retirados.

Figura 40 – Na primeira simplificação os palitos foram retirados e estão sinalizados com um círculo vermelho.



Fonte: adaptado de Empresa A.

A partir de então, novos dados são definidos junto ao processo de produção, resultando em uma nova lista de materiais com as quantidades modificadas (Quadro 15), sendo necessária uma nova tomada de tempos de montagem e produção, colaboradores envolvidos, energia elétrica e calórica, os quais são mostrados no Quadro 16.

Quadro 15 – Lista de materiais – BOM - posterior à simplificação.

	BOM Modificada		
	Componentes	Quantidades	Custo (R\$)
1 Montagem	Pés Dianteiros	5	1,55
2 Montagem	Pés Traseiros	8	2,35
3 Montagem	Assento	650g	2,60

Quadro 16 – Operações modificadas.

Componentes	Operações Modificadas									
	Tempo em segundos (s) das operações		Número de colaboradores envolvidos nas operações		Custo das Colaboradores		Consumo de Cabos (KW por segundo)		Modificadora de custo de Energia Elétrica com base no tempo de operação (KW/s)	Custo da Energia Elétrica com base no tempo de operação (KW/s)
	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem		
1 Montagem	197,3	22	35	0,06	4,32	0,06	14,17	0,13	0,27	0,01
2 Montagem	392,78	36,56	60	0,09	11,97	0,09	65,63	0,23	0,36	0,01
3 Montagem	884	0	0	0	0	2,45	0,00	0,09	0,00	0,00
Total	1474,08	56,56	95	15	16,19	2,6	80,00	0,45	0,63	0,02

Segue então um novo mapeamento do processo indicando quais as operações foram modificadas. A Figura 41 apresenta o processo mapeado dos pés dianteiros, a Figura 42 dos pés traseiros e a Figura 43 do assento. Deve-se observar que as operações marcadas em verde são as retiradas.

Figura 41 – Novo mapeamento do processo com as operações que abarcam os pés dianteiros.

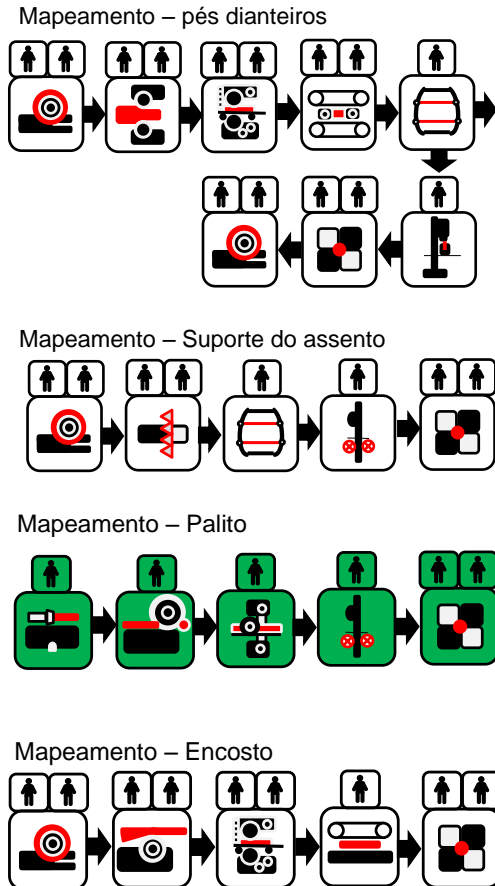


Figura 42 – Mapeamento posterior à modificação do número de componentes dos pés traseiros.

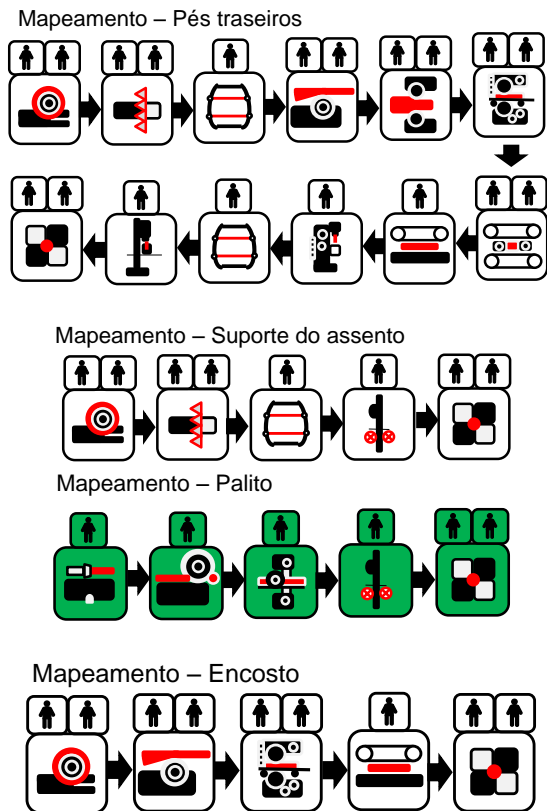
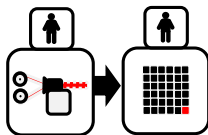


Figura 43 – O mapeamento do assento não sofre modificações nesta primeira simulação.

Mapeamento – Assento



Com os novos valores, as dimensões são então calculadas. Assim, o Quadro 17 apresenta a dimensão ambiental, o Quadro 18 a dimensão econômica e o Quadro 19 a dimensão social.

Quadro 17 – A dimensão ambiental e seus indicadores.

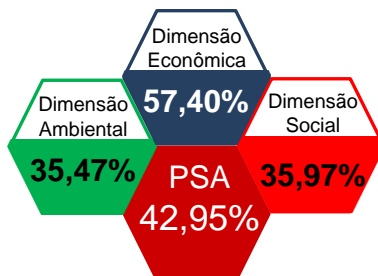
Dimensão Ambiental									
Indicadores									
	Tempo em segundos (s) das operações atuais		Tempo em segundos (s) das operações modificadas		Previsão, em kWh, de Energia Elétrica com base no tempo de operação de processo (kWh/s)	Custo da Energia Elétrica com base no tempo de operação (R\$/s)	Potência, em kW, de Energia Elétrica com base no tempo de operação de processo (kW/s)	Custo da Energia Elétrica com base no tempo de operação (R\$/s)	Custo da Energia Elétrica com base no tempo de operação (R\$/s)
	Produção	Montagem	Produção	Montagem					
1 Montagem	206,9	26,4	197,3	22	0,28	0,01	0,27	0,01	0,01
2 Montagem	374,56	91,4	362,78	36,56	0,37	0,01	0,36	0,01	0,01
3 Montagem	894	0	894	0	0,51	0,02	0,00	0,00	0,00
Total	1475,46	117,8	1474,08	68,56	1,17	0,04	0,63	0,02	0,02
Total									
% Adquirido									
Tempo em (s) das operações de produção	0,09								
Tempo em (s) das operações de montagem	50,29								
Energia elétrica	46,75								
Custo da energia elétrica	46,74								

Quadro 19 – A dimensão social, seus indicadores e os valores resultantes.

Dimensão Social											
	Tempo em seguros (s) das operações atuais			Tempo em seguros (s) das operações modificadas			Consumo de calorías (kW por segundo) (atuais)			Consumo de calorías (kW por segundo)(modificadas)	
	Produção	Montagem		Produção	Montagem		Produção	Montagem		Produção	Montagem
1 Montagem	206,9	26,4		197,3	22		13,52	0,14		14,17	0,13
2 Montagem	374,56	91,4		382,78	36,56		81,43	1,80		85,83	0,23
3 Montagem	894	0		894	0		0,00	0,09		0,00	0,09
Total	1475,46	117,8		1474,08	58,56		94,95	2,02		80,00	0,45
T total										35,97	
% Adquirido										% Adquirido	
Tempo em (s) de operação de produção										0,09	
Tempo em (s) de operação de montagem										50,29	
Consumo de calorías em produção										15,74	
Consumo de calorías em montagem										71,75	

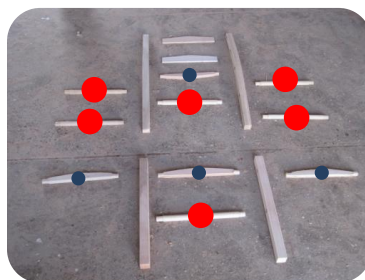
Então, define-se o percentual de sustentabilidade adquirida (PSA), e os resultados obtidos são mostrados na Figura 44.

Figura 44 – O resultado do PSA com a retirada dos palitos de acordo com os parâmetros que envolvem a primeira modificação.



Mais dois índices de PSA foram calculados para o produto chamado “cadeira normal”, sendo que a **segunda modificação** teve seu índice PSA obtido levando em consideração a retirada de todos os palitos e a substituição dos suportes do assento iniciais por uma simplificação em seu formato. A Figura 45 apresenta como isto foi realizado, onde os círculos vermelhos indicam o que foi retirado e os azuis o que foi substituído.

Figura 45 – Componentes retirados pela segunda modificação onde os círculos vermelhos (maiores) indicam o que foi retirado e os azuis (menores) o que foi substituído.



Fonte: adaptado de Empresa A.

O método foi aplicado conforme os passos realizados junto primeira modificação. Na sequência, são apresentadas as dimensões ambientais (Quadro 20), econômicas (Quadro 21) e sociais (Quadro 22) adquiridas.

Quadro 20 – Valores correspondentes à dimensão ambiental.

Dimensão Ambiental									
Indicadores									
	Tempo em segundos (s) das operações atuais		Tempo em segundos (s) das operações modificadas		Previsão de consumo de Energia Elétrica com base no tempo de operação de produção (kWh)	Custo da Energia Elétrica com base no tempo de produção (kWh)	Previsão de consumo de Energia Elétrica com base no tempo de produção (kWh)	Custo da Energia Elétrica com base no tempo de produção (kWh)	Previsão de consumo de Energia Elétrica com base no tempo de produção (kWh)
	Produção	Montagem	Produção	Montagem					
1 Montagem	206,9	26,4	190,1	22	0,28	0,01	0,27	0,01	0,01
2 Montagem	374,56	91,4	337,67	22,65	0,37	0,01	0,34	0,00	0,00
3 Montagem	694	0	694	0	0,51	0,02	0,00	0,00	0,00
Total	1475,46	117,8	1421,97	44,65	1,17	0,04	0,61	0,01	0,01
Total									
% Adquirido									
Tempo em (s) das operações de produção	3,63								
Tempo em (s) das operações de montagem	61,93								
Energia elétrica	47,45								
Custo da energia elétrica	73,66								
Total									
% Adquirido									
Tempo em (s) das operações de produção	46,67								

Quadro 21 – A dimensão econômica e seus valores.

Dimensão Econômica Indicadores									
	Tempo em segundos (s) das operações (Atuais)		Tempo em segundos (s) das operações (Modificadas)		Política com soma de Energia Elétrica com base no tempo de produção (Atuais) (kWhs) (Modificadas)	Política com soma de Energia Elétrica com base no tempo de operação (kWhs) (Modificadas)	Custo da Energia Elétrica com base no tempo de operação (kWhs) (Modificadas)	Custo da Energia Elétrica com base no tempo de produção (kWhs) (Modificadas)	
	Produção	Montagem	Produção	Montagem					
1 Montagem	208,9	28,4	190,1	22	0,28	0,01	0,27	0,01	
2 Montagem	374,56	91,4	337,87	22,85	0,37	0,01	0,34	0,00	
3 Montagem	894	0	894	0	0,51	0,02	0,00	0,00	
Total	1475,46	117,8	1421,97	44,85	1,17	0,04	0,61	0,01	
% Adquirido									
Tempo em (s) das operações de Produção		363							
Tempo em (s) das operações de Montagem		47,43							
Tempo em (s) das operações de Asseio		47,63							
Custo da energia elétrica		70,66							
Total		46,67							

Dimensão Econômica Indicadores					
	Número de colaboradores envolvidos nas operações (Atuais)		Número de colaboradores envolvidos nas operações (Modificadas)		
	Produção	Montagem	Produção	Montagem	
1 Montagem	38	6	4,42	0,07	
2 Montagem	95	10	12,08	0,12	
3 Montagem	47	1	4,7	0,01	
Total	105	18	16,5	0,24	
% Adquirido					
Número de colaboradores a produção		64,29			
Número de colaboradores na montagem		85,33			
Custo dos colaboradores na produção		51,17			
Custo dos colaboradores na montagem		51,17			

Dimensão Econômica Indicadores					
	Número de colaboradores envolvidos nas operações (Atuais)		Número de colaboradores envolvidos nas operações (Modificadas)		
	Produção	Montagem	Produção	Montagem	
1 Montagem	6	5	0,71	0,05	
2 Montagem	10	2,63	1,27	0,26	
3 Montagem	6509	2,60	6509	2,60	
Total	16	6,90	10,00	6,28	
% Adquirido					
Número de colaboradores		105,00			
Custo dos colaboradores		91,00			

Dimensão Econômica Indicadores					
	Número de colaboradores envolvidos nas operações (Atuais)		Número de colaboradores envolvidos nas operações (Modificadas)		
	Produção	Montagem	Produção	Montagem	
1 Montagem	4,11	5	0,51	0,06	
2 Montagem	11,52	5	1,43	0,06	
3 Montagem	15,63	12	1,99	0,06	
Total	31,26	32	3,93	0,18	
% Adquirido					
Número de colaboradores		82,34			
Custo dos colaboradores		82,34			

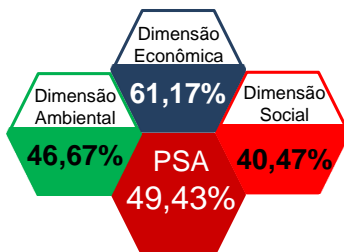
Quadro 22 – Valores calculados para atender à dimensão social.

Dimensão Social									
	Tempo em segundos (s) das operações atuais		Tempo em segundos (s) das operações modificadas		Consumo de calorías (KW por segundo) (atuais)		Consumo de calorías (KW por segundo) (modificados)		
	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem	
1 Montagem	206,9	26,4	180,1	22	13,52	0,14	12,80	0,13	
2 Montagem	374,56	91,4	337,87	22,85	81,43	1,80	65,61	0,21	
3 Montagem	894	0	894	0	0,00	0,09	0,00	0,09	
Total	1475,46	117,8	1421,97	44,85	94,95	2,02	78,41	0,43	
Total									
% Adquirido									
40,47									

Tempo em (s) de operação de produção	3.63
Tempo em (s) de operação de montagem	61.93
Consumo de calorías em produção	17.42
Consumo de calorías em montagem	78.89

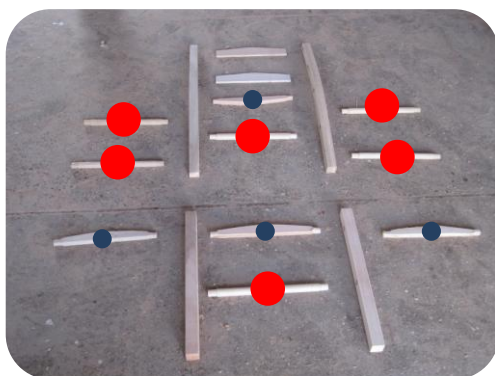
O índice PSA calculado com base nos valores das dimensões é apresentado junto a Figura 46.

Figura 46 – Índice PSA calculado proveniente da modificação do suporte do assento.



Uma **terceira modificação** envolveu mudanças nas operações de empalhamento do assento. O empalhamento foi substituído por um assento estofado, fabricado por terceiros, sendo apenas aparafusado à estrutura da cadeira. Os palitos continuam ausentes e o novo formato dos suportes do assento é que confere a sustentação. A Figura 47 apresenta as alterações efetuadas, onde os círculos vermelhos indicam o que foi retirado e os azuis o que foi substituído.

Figura 47 – Componentes retirados pela terceira modificação. A exclusão está representada pelos círculos sobre eles.



Fonte: adaptado de Empresa A.

Da mesma forma, o método foi aplicado conforme os passos realizados na primeira e a na segunda modificação. Assim sendo, são apresentadas as dimensões ambientais (Quadro 23), econômicas (Quadro 24) e sociais (Quadro 25) adquiridas provenientes da terceira modificação.

Quadro 23 – A dimensão ambiental e seus valores oriundos dos indicadores.

		Dimensão Ambiental									
		Indicadores					Indicadores				
		Tempo em segundos (s) das operações atuais			Tempo em segundos (s) das operações modificadas			Profecia consumida de Energia Elétrica com base no tempo de operação de produção (KWh)	Custo da Energia Elétrica com base no tempo de operação (KWh)	Profecia consumida de Energia Elétrica com base no tempo de produção (KWh)	Custo da Energia Elétrica com base no tempo de operação (KWh)
		Produção	Montagem		Produção	Montagem					
1 Montagem		206,9	26,4		190,1	22		0,28	0,01	0,27	0,01
2 Montagem		374,56	91,4		337,87	22,85		0,37	0,01	0,34	0,00
3 Montagem		894	0		0	0		0,51	0,02	0,00	0,00
Total		1475,46	117,8		527,97	44,85		1,17	0,04	0,61	0,01
		Total									
		% Adquirido									
		61,61									
		% Adquirido									
		61,61									
		61,61									
		47,45									
		73,68									

Quadro 25 – Valores que indicam a dimensão social adquirida.

Dimensão Social												
Tempo em segundos (s) das operações finais			Tempo em segundos (s) das operações intermédias			Consumo de cabolas (KW por segundo e (quilo)			Consumo de cabolas (KW por segundo (por pessoa))			
	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem
1 Montagem	81,4	0	102,2	0	0,14	0,22	0,14	0,22	0,14	0,22	0,14	0,22
2 Montagem	374,56	91,4	337,87	22,86	81,43	1,80	65,61	0,21	65,61	0,21	0,21	0,21
3 Montagem	894	0	0	0	0,00	0,09	0,00	0,09	0,00	0,09	0,00	0,00
Total	1475,46	117,8	527,97	44,85	94,85	2,02	78,41	0,34	78,41	0,34	0,34	0,34

Tempo em (s) de operação de produção	64,23
Tempo em (s) de operação de montagem	61,03
Consumo de cabolas em produção	17,42
Consumo de cabolas em montagem	83,34
Total	56,73
% Adquirido	56,73

Um novo formato de assento é criado (Figura 48), sendo estofado, composto internamente de espuma e externamente coberto com couro artificial. A base é de madeira compensada. Seu aspecto estético passa a ser mais contemporâneo e seu processo de produção é terceirizado.

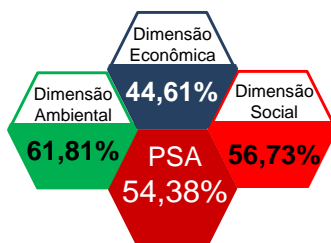
Figura 48 – A nova proposta de estrutura e assento estofado com espuma e coberto por tecido.



Fonte: Empresa A.

Com as dimensões calculadas é apresentado então o índice de sustentabilidade adquirida conforme a Figura 49.

Figura 49 – Índice PSA oriundo da modificação decorrente da substituição do trançado do assento pelo formato estofado.



Percebe-se que os resultados sofrem modificações em todas as dimensões do Tripé da Sustentabilidade. Uma discussão mais detalhada será realizada no item 4.3, o qual trata das análises dos resultados.

4.2 INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE MÁQUINAS E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS – EMPRESA B

4.2.1 Informações sobre a empresa

A Empresa B é uma empresa de máquinas e implementos agrícolas voltados às necessidades do homem do campo. A empresa produz nove produtos e quatro acessórios, todos voltados à utilização em atividades do campo. O Quadro 26 apresenta os produtos, e o Quadro 27 os acessórios com algumas de suas características.

Quadro 26 – Produtos e suas características técnicas, produzidos pela Empresa B.

Produtos	Características
Empacotadora	Fabricada para embalar fardos cilíndricos de pasto em filme plástico. Acionamento com motor estacionário e de fácil operação. Deslocamento manual ou mecanizado no local de armazenamento dos fardos. Baixo custo operacional e de manutenção simples.
Ancinho 600	Permite efetuar operações de esparramar e enleirar com o mesmo equipamento. A alteração de funções realizada manualmente. Com regulagem de altura, mantém o material arejado, facilitando a desidratação. Forma leiras alinhadas e homogêneas de modo a facilitar o recolhimento.
Segadora AGS 1600	Projetada para o corte das plantas forrageiras, sem danificar a estrutura. Mecanismo acionado com baixa demanda de energia. Realiza o corte com dupla ação dos mecanismos ativos (dedos e lâminas) o que melhora a qualidade de corte e a velocidade de brotamento das plantas. Mecanismo resistente ao choque com pedras.
Enfardadora	Enfarda forrageiras desidratadas e emurchechidas. Recolhe a forragem enleirada, efetua a prensagem e amarração dos fardos secos ou pré-secos de forma mecanizada. Tractionado com equipamento tratorizado de pequeno porte. Produz fardos com dimensões que permitem o manuseio manual, dispensando o equipamento tratorizado no fornecimento aos animais.
Carretas Agrícolas Metálicas	Adequadas as necessidades do campo. Apresentam tubo descarregador de grãos acoplado como opcional. Chassi em tubos retangulares fechados garantindo alta resistência e maior vida útil. Cubos extra reforçados com 20Kg, diâmetro do eixo de 65mm. Capacidade de carga: 5, 6, 7, 8 e 10 toneladas.
Plantadora Adubadora de Arraste	Distribuição de peso que mantém o equilíbrio da plantadeira garantindo qualidade da sementeira. Plantio direto e convencional de diversas culturas com ótima plantabilidade. Linha de adubo automático garantindo alta performance mesmo em solo adverso. Melhor em resistência e acompanhamento do perfil do terreno.
Plantadora Adubadora Hidráulica	Plantio direto e convencional de diversas culturas com ótima plantabilidade. Linha de adubo automático garantindo alta performance mesmo em solo adverso. Dosador de adubo universal de alta precisão. Linha de adubo com giro vertical sem interferência com a linha da semente.
Conjunto de Pá Frontal Hidráulico	Facilidade de acoplamento. Instalação totalmente independente da estrutura do trator. Agilidade em comandos e movimentos. Adaptado a qualquer marca e/ou modelo de trator.
Plataforma para Três Pontos	Acoplado ao 3º ponto em qualquer marca e/ou modelo de trator. Sistema com extrema facilidade para bascular. Estrutura tubular extra reforçada.
Plaina Traseira	Acoplado ao 3º ponto em qualquer marca e/ou modelo de trator. Espessuras estruturais adequadas para o trabalho pesado do campo. Alta resistência ao desgaste.
Enleirador Agrícola	Enleira solos extremamente irregulares devido ao seu chassi e haste em ângulo. Arraste para a limpeza de lavouras, retirada de tocos e pedras. Acoplado ao 3º ponto e/ou acoplamento frontal ao conjunto de pá.
Garfo Desensilador	Retira, carrega e descarrega silagem e feno tanto de trincheira quanto de superfície. Braços e mandíbula hidráulicos, desarme mecânico. Adaptado a qualquer marca e/ou modelo de trator.
Raspadora de Pocilga	Automação do trabalho braçal. Alto propelida. Facilidade de operação.

Fonte: Empresa B.

Quadro 27 – Acessórios da Empresa B e algumas de suas características técnicas.

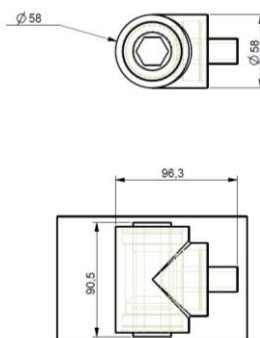
Acessórios	Características
Carrinho linha Cantoneira	Capacidade de carga: 70 litros. Altura: 45 cm. Largura: 78 cm.
Plataforma para	Capacidade de carga: 100 Kg. Dimensões: 40 x 60 cm. Altura: 1,20 m.
Plataforma de Transporte	Capacidade de carga: 400, 600 e 800 Kg. Largura: 60 cm. Comprimento: 1,20 m
Plataforma Baixa	Capacidade de carga: 100 e 150 Kg. Largura: 45 cm. Altura: 1,30 m.

Fonte: Empresa B.

4.2.2 Aplicação do método sobre a caixa de transmissão da Plantadeira adubadora de arraste

O método de simplificação é aplicado sobre um componente que faz parte da transmissão da plantadeira de arraste. Observa-se que não está se analisando todo o equipamento, mas um módulo, uma parte do produto em virtude da quantidade de componentes. Vale lembrar que a aplicação deve funcionar como o efeito borboleta, onde a análise de um componente pode ser replicada aos demais. A Figura 50 apresenta a carcaça que abarca os componentes e suas dimensões.

Figura 50 – A carcaça da caixa de transmissão e suas dimensões principais.

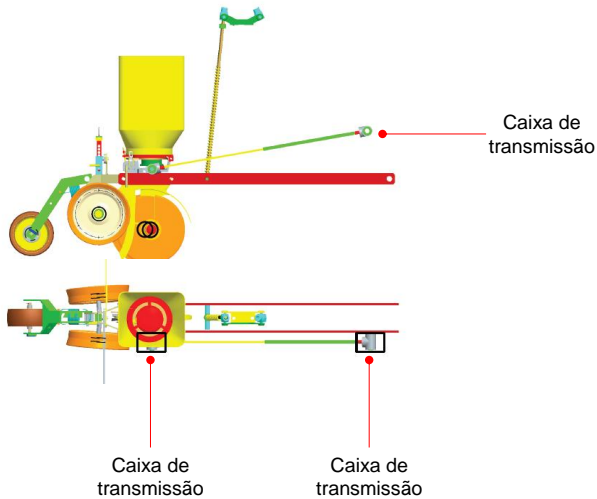


Fonte: adaptado de Empresa B.

Na Figura 51 a caixa de transmissão é mostrada conforme a sua localização junto às linhas de semente da plantadeira. Cada linha é

composta de duas caixas de transmissão e de acordo com o seu número, indicam o tamanho da plantadeira.

Figura 51 – A caixa de transmissão e sua posição em uma das linhas da plantadeira de arraste.



Fonte: adaptado Empresa B.

O Quadro 28 apresenta a lista de materiais (BOM), que inclui uma classificação entre componentes para a produção e componentes comerciais. O Quadro 29 mostra uma lista de materiais mais sucinta, a qual inclui os componentes que serão analisados, abrindo mão de alguns componentes comerciais.

Quadro 28 – Lista de materiais BOM – constituintes da caixa de transmissão sob estudo.

BOM			
Componentes	Quantidades	Componentes para a produção	Componentes comerciais
Rolamento 6906 ZZ	2		●
Rolamento 6204 ZZ	1		●
Anel elástico I - 47	3		●
Graxeira M6 x 1R	1		●
Carcaça	1		●
Pinhão	1	●	
Coroa	1	●	
Eixo	1	●	

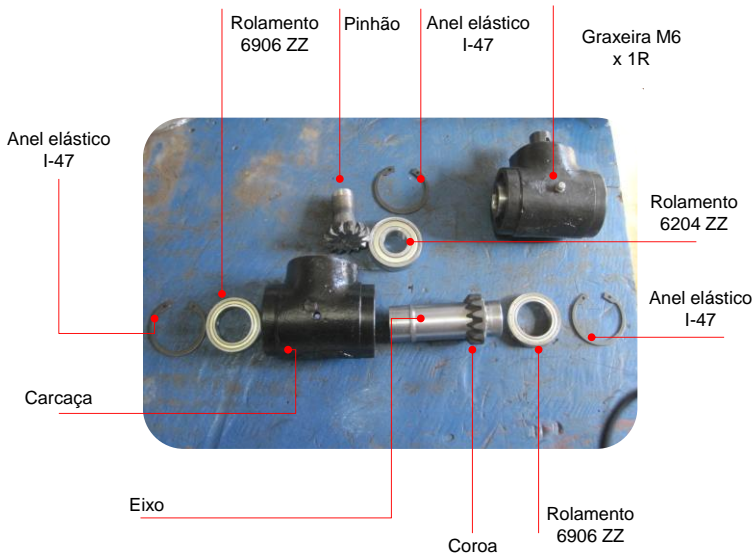
Quadro 29 – Lista de materiais simplificada onde apenas componentes sujeitos a produção são representados.

BOM		
Componentes	Quantidades	Componentes para a produção
Pinhão	1	●
Coroa	1	●
Eixo	1	●

Reitera-se que tanto o pinhão quanto a coroa são componentes produzidos por terceiros. No entanto, a coroa é que sofre operações de adequação junto ao processo de produção. Em virtude desta característica, o pinhão não será considerado junto à análise por sofrer apenas operação de montagem junto à carcaça.

A Figura 52 apresenta a caixa de transmissão e seus componentes.

Figura 52 – A caixa de transmissão e seus componentes, apresentados junto à posição de montagem.



Fonte: adaptado de Empresa B.

O mapeamento consiste na representação iconográfica da condição inicial, que corresponde a uma sequência dos equipamentos que fazem parte do processo de produção. A Figura 53 mostra a legenda das operações, enquanto a Figura 54 apresenta o processo mapeado da montagem da caixa de transmissão, mais especificamente da montagem eixo-coroa, por ser o objeto de estudo.

Figura 53 – Legenda – apresentação dos ícones das operações da Empresa B e sua nomenclatura.

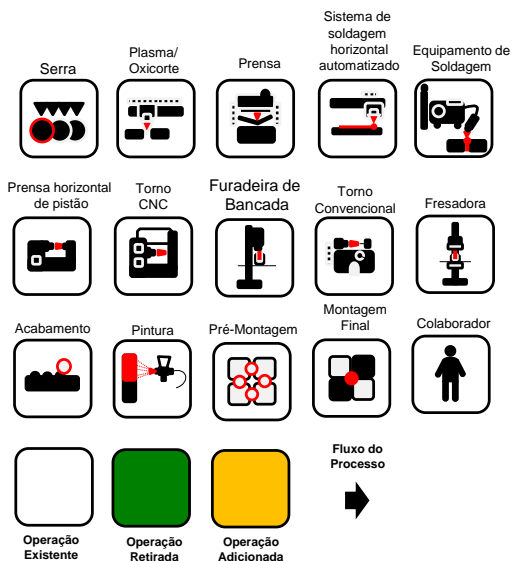
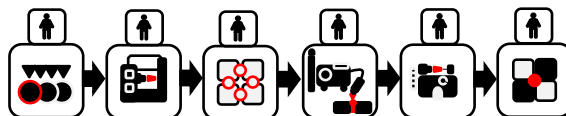


Figura 54 – Mapeamento do processo de produção e montagem para a junção do eixo junto à coroa.



Posterior ao mapeamento é feita a tomada de tempos, e os dados coletados junto ao processo de produção são armazenados. O Quadro 30 apresenta estes dados.

Quadro 30 – Entrada de dados do processo de produção oriundas da medição *in loco*.

Componentes	Operações Atuais										Potência consumida de Energia Elétrica com base no tempo de operação (KW/s)	Custo da Energia Elétrica com base no tempo de operação (KW/s)
	Tempo em segundos (s) das operações		Número de colaboradores envolvidos nas operações		Custo dos colaboradores		Consumo de calorías (kW por segundo)		Produção	Montagem		
	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem				
Coroa	32	842	4	4	0,51	13,29	0,12416	3,26696			0,03704	0,06
Eixo	120		4		1,89		0,46836				0,1164	0,21
Total	152	842	8	4	2,40	13,29	0,59276	3,26696			0,14744	0,27

Posteriormente, o Fator 4 é calculado e seu resultado é apresentado no Quadro 31.

Na sequência aplicam-se as metodologias de Design e DFA com vistas à simplificação. O Quadro 32 e a Quadro 33 apresentam as diretrizes utilizadas para a simplificação da caixa de transmissão definidas em trabalho junto à equipe da empresa.

Quadro 32 – Resultados da aplicação dos efeitos de Design desejados junto aos componentes, realizado pela equipe.

Design	
O quê	Efeitos
●	Simplificar
●	Minimizar a carga cinemática

Quadro 33 – Efeitos de DFA apontados pela equipe, posterior a análise do produto.

DFA	
O quê	Efeitos
●	Minimizar número de componentes
●	Minimizar a variedade de componentes
●	Utilizar ferramentas especiais
●	Minimizar distâncias de movimentação
●	Minimizar movimentos complexos
●	Facilitar o armazenamento
●	Facilitar o empilhamento
●	Facilitar a manipulação dos componentes
●	Identificar até a posição de inserção
●	Captar até a posição de inserção
●	Orientar até a posição de inserção
●	Movimentar até a posição de inserção
●	Facilitar a inserção
●	Facilitar a fixação de componentes
●	Prever o controle de posicionamento final na
●	Garantir o fácil acesso de instrumentos de medida
●	Evitar a desmontagem para medir componentes

A simplificação deve levar em consideração a junção da coroa ao eixo. Logo, em conjunto com a equipe de análise da empresa, como pinhão e coroa são produzidos por microfusão, optou-se por um componente composto por eixo e coroa derivado do mesmo processo. Esta escolha considera a eliminação parcial da usinagem e soldagem, a diminuição do tempo do colaborador envolvido na montagem parcial, e ainda, precisão dimensional e bom acabamento. A geometria da peça fica equivalente à apresentada na Figura 55.

Figura 55 – A geometria do componente proposto eixo-coroa sujeito ao processo de microfusão.



Fonte: adaptado de Empresa B.

Tem-se então uma nova lista de materiais com as quantidades modificadas (Quadro 34) e novos tempos de montagem e produção, de colaboradores envolvidos, de energia elétrica e calórica (Quadro 35).

Quadro 34 – BOM posterior à aplicação das metodologias de simplificação.

BOM Modificada		
Componentes	Quantidades	Custo
Coroa + Eixo	1	18,05
Total	1	18,05

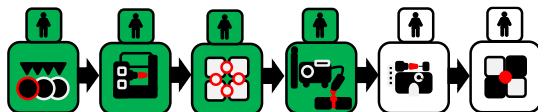
O custo de R\$ 18,05 foi obtido mediante orçamento proveniente da empresa fornecedora de componentes de microfusão.

Quadro 35 – Os novos valores decorrentes das operações modificadas.

Componentes	Operações Modificadas										
	Tempo em segundos (s) das operações		Número de colaboradores envolvidos nas operações		Custo dos Colaboradores		Consumo de Calorias (kV por segundo)			Potência consumida de Energia Elétrica com base no tempo de operação do aparelho (KW/s)	Custo da Energia Elétrica com base no tempo de operação do aparelho (KW/s)
	Previsão	Montagem	Previsão	Montagem	Previsão	Montagem	Previsão	Montagem	Previsão		
	32	15	1	1	0,13	0,06	0,03194	0,03194	0,08	0,006	
Cores + eixo											
Total									0,08	0,006	

Segue então um novo mapeamento do processo indicando quais operações foram modificadas. A Figura 56 apresenta o processo mapeado modificado.

Figura 56 – Mapeamento posterior à modificação simbolizado pelos ícones na cor verde.



Com os novos valores, as dimensões ambiental, econômica e social são então calculadas, as quais são mostradas nos Quadros 36, 37 e 38, respectivamente.

Quadro 36 – A dimensão ambiental, seus indicadores e valores correspondentes.

Dimensão Ambiental									
Indicadores									
Tempo em segundos (s) das operações atuais	Tempo em segundos (s) das operações modificadas		Potência consumida de Energia Elétrica em operação de produção (KW/s)	Custo da Energia Elétrica com base no tempo de operação (KW/s)	Potência consumida com base e no tempo de operação de produção (KW/s)	Custo da Energia Elétrica com base e no tempo de operação (KW/s)	Tempo em segundos (s) das operações atuais	Tempo em segundos (s) das operações de produção	
	Produção	Montagem						Produção	Montagem
Correa + eixo	32	842	0	15	0,03104	0,056001244	0	15	0,006
Correa	120	0	0	0	0,1164	0,210004667	0	0	0
Total	152	842	32	15	0,14744	0,06	32	15	0,006

Tempo em (s) das operações de produção	78,95
Tempo em (s) das operações de montagem	89,22
Energia elétrica	45,74
Custo da energia elétrica	89,29

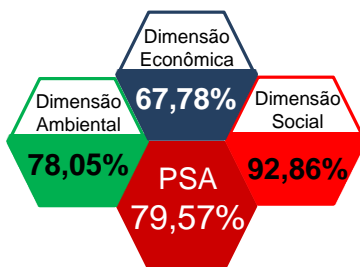
Total	76,05
% Adquirido	76,05

Quadro 38 – Definição dos valores junto à dimensão social.

Dimensão Social									
	Tempo em segundos (s) de operações atuais		Tempo em segundos (s) de operações produzidas		Consumo de cablores (KW por segundo) (atuais)		Consumo de cablores (KW por segundo) (produzidas)		
	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem	
Coroa	32	842	32	15	0,12416	3,22636	0,03104	0	0,07465
Enro	120	0	0	0	0,6656	0	0	0	0
Total	152	842	32	15	0,78976	3,22636	0,03104	0	0,07465
Adquirido	Tempo em (s) de operação de produção		Tempo em (s) de operação de montagem		Consumo de cablores em produção		Consumo de cablores em montagem		Total Adquirido 92,86
	78,95		89,23		84,74		89,55		
	32		15		0,12416		3,22636		
	120		0		0,6656		0		

Então, se calcula o percentual de sustentabilidade adquirida (PSA) tendo como referência a junção dos componentes eixo e coroa para um único componente produzido através de microfusão. A Figura 57 apresenta os resultados.

Figura 57 – O índice PSA resultante da junção da coroa ao eixo em um processo de micro fundição.

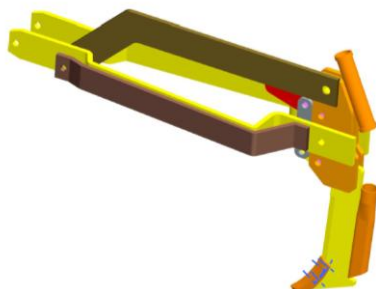


4.2.3 Aplicação do Método sobre o sulcador

Neste caso a simplificação foi efetuada na quantidade de materiais envolvidos o que reflete por sua vez na forma construtiva e na quantidade de operações. Todavia, serão apresentados os processos simplificados com a utilização de metodologias de Design e DFA, em conjunto com o mapeamento de processos. No final, os resultados numéricos com relação à quantidade de material e custo. O intuito neste exemplo é mostrar as diferenças de percepção visual da simplificação concomitante aos dados quantitativos.

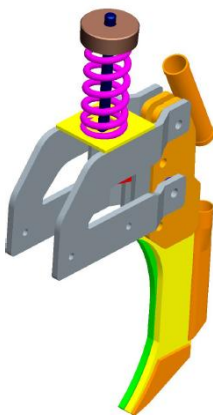
A Figura 58 apresenta o sulcador em seu formato original, enquanto o mesmo sulcador, com uma proposta simplificada, é mostrado na Figura 59.

Figura 58 – Formato original do sulcador composto de 6 componentes sujeitos a modificação.



Fonte: Empresa B.

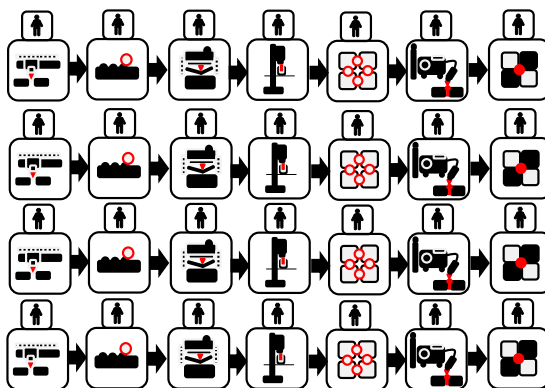
Figura 59 – Formato modificado do sulcador mediante a simplificação de sua estrutura.



Fonte: Empresa B.

As operações no processo de produção do sulcador original são apresentadas na Figura 60.

Figura 60 – Operações realizadas junto ao sulcador original.



Na sequência as metodologias de Design e DFA são aplicadas conforme o Quadro 39 e o Quadro 40.

Quadro 39– Os efeitos de design desejados para proporcionar a simplificação.

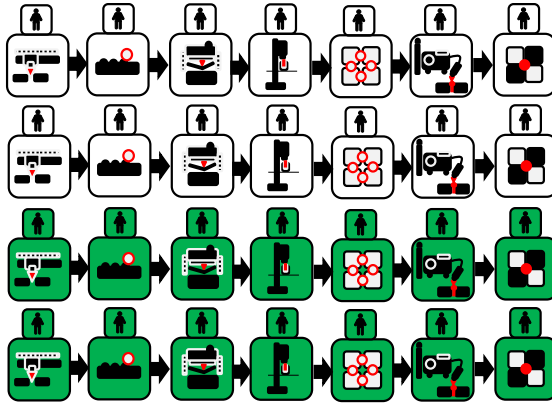
Design	
O quê	Efeitos
●	Simplificar
●	Minimizar a carga cognitiva
●	Minimizar a carga cinemática

Quadro 40 – As diretrizes de DFA consideradas junto à simplificação considerando tanto o número de componentes quanto ao processo de montagem.

DFA	
O quê	Efeitos
●	Minimizar número de componentes
●	Minimizar a variedade de componentes
●	Minimizar movimentos complexos
●	Facilitar a manipulação dos componentes
●	Identificar até a posição de inserção
●	Captar até a posição de inserção
●	Orientar até a posição de inserção
●	Movimentar até a posição de inserção
●	Facilitar a inserção
●	Facilitar a fixação de componentes
●	Prever o controle de posicionamento final na
●	Garantir o fácil acesso de instrumentos de medida

Posterior à aplicação das técnicas, a Figura 61 apresenta as operações necessárias para o novo sulcador.

Figura 61 – Mapeamento com a simplificação das operações sendo que as marcadas em verde são eliminadas.



Com a simplificação do sulcador, obtiveram-se alguns resultados com relação a sua quantidade de material e de custo. O Quadro 41 apresenta estes valores.

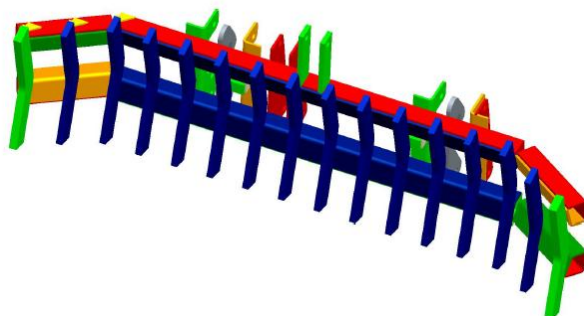
Quadro 41 – Valores obtidos com a modificação do sulcador em termos da quantidade de material e de custo.

	Quantidade de Componentes	Matéria prima (kg)	Custo (R\$)
Sulcador atual	6	47	258,5
Sulcador simplificado	3	12,5	68,75

4.2.4 Aplicação do método sobre o enleirador

O caso de enleirador fugiu a regra do método no que diz respeito à diminuição da quantidade de componentes, surgindo à necessidade de adaptação do estudo voltado à sua simplificação. Neste caso, nenhum componente foi retirado em virtude de o produto atender as necessidades dos clientes e não apresentar histórico de problemas ocorridos em sua estrutura. A Figura 62 apresenta o enleirador e seus componentes.

A Figura 62 - Enleirador e seus componentes, hastes e bases de suporte.





Fonte: Empresa B.

Mesmo sabendo que uma simulação da retirada de alguns componentes possa ser realizada, manteve-se a restrição em virtude de uma característica do método que é de realizar a retirada física de componentes. Esta “não retirada” levou em consideração os históricos de problemas os quais são muito baixos e a semelhança estrutural com enleiradores de diferentes marcas já consolidados no mercado. Então, a questão envolvia tornar o processo mais sustentável sob a dimensão social onde a atenção esteve voltada aos procedimentos de trabalho do colaborador.


















Sabe-se que a montagem em condições normais leva aproximadamente 12240 segundos (equivalente há 204 minutos). Com a adoção de um gabarito para definir a posição das hastes, se leva aproximadamente, 7560 segundos (126 minutos). Partindo-se destes dados, determinou-se a dimensão social da melhoria, levando em conta somente este aspecto. No Quadro 42 são mostrados os valores iniciais.

Os Quadros 43 e 44 apresentam as aplicação das metodologias de Design e DFA.

Quadro 43 – Os efeitos de design necessários à simplificação definidos pela equipe.

Design	
O quê	Efeitos
	Minimizar a carga cognitiva
	Minimizar a carga cinemática

Quadro 44 – DFA e seus efeitos voltados à melhoria das condições de trabalho do colaborador.

DFA	
O quê	Efeitos
	Minimizar número de componentes
	Minimizar a variedade de componentes
	Utilizar ferramentas especiais
	Minimizar distâncias de movimentação
	Minimizar movimentos complexos
	Facilitar o armazenamento
	Facilitar o empilhamento
	Facilitar a manipulação dos componentes
	Identificar até a posição de inserção
	Captar até a posição de inserção
	Orientar até a posição de inserção
	Movimentar até a posição de inserção
	Facilitar a inserção
	Facilitar a fixação de componentes
	Prever o controle de posicionamento final na
	Garantir o fácil acesso de instrumentos de medida
	Evitar a desmontagem para medir componentes

Após a aplicação das metodologias de simplificação, os novos valores de montagem são calculados e são apresentados no Quadro 45.

Quadro 45 – Os dados da montagem após a simplificação.

Operações Modificadas										
Componentes	Tempo em segundos (s) das operações		Número de colaboradores envolvidos nas operações		Custo dos Colaboradores		Consumo de Calorias (kW por segundo)		Potência consumida de Energia Elétrica com base no tempo de operação de produção (kW/s)	Custo da Energia Elétrica com base no tempo de operação (kW/s)
	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem		
Enfiteador		7560		1		29,83				
Total	0	7560	0	1	0	29,83	0	7,3332	0	0

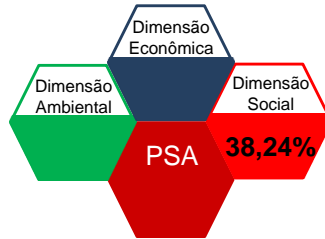
Partindo-se destes valores, calcula-se a dimensão social a qual é indicada no Quadro 46.

Quadro 46 – A dimensão social do enleirador.

Dimensão Social												
	Tempo em segundos (s) das operações atuais		Tempo em segundos (s) das operações modificadas		Consumo de cabides (KW por segunfo) (atuais)		Consumo de cabides (KW por segunfo)(modificadas)					
	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem	Produção	Montagem
Enleirador	0	12240	0	7560	0	0	0	0	0	0	0	7.332
Total	0	12240	0	7560	0	0	0	0	0	0	0	7.332
% Adquirido	Total 38,24											
Tempo em (s) de operação de montagem	38,24											
Consumo de cabriças em montagem	38,24											

Desta forma, a Figura 63 apresenta a sua posição dentro do PSA e o valor obtido.

Figura 63 – A dimensão vista junto às demais dimensões que definem o PSA.



4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

No método proposto, a coleta de dados efetuada inicialmente, concomitante às simplificações dos produtos, permitiu chegar aos dados de entrada que contribuíram para toda a análise que foi feita posteriormente. Os métodos de simplificação de Design e de DFA foram aplicados diretamente sobre os produtos, atendendo as condições de efeito e princípio. Os efeitos sendo identificados em primeira instância e os princípios utilizados como parâmetros para análise posterior, mais precisa e conceitual. No entanto, para simplificar e não gerar uma carga cognitiva alta de análise, primeiramente foram vistos os efeitos e, depois, com base nas escolhas realizadas, os princípios foram aplicados e então, buscou-se decidir quais melhor atendiam a situação em estudo.

A tomada de dados foi feita usando-se uma planilha (Quadro 47), a qual permite a captação completa de dados necessária para abastecer os primeiros quadros do método.

Quadro 47 – Planilha para a tomada de dados iniciais junto às operações.

Quantidades	Componentes	Operação "n"			
		Tempo em (s)	Número de Colaboradores envolvidos na operação	Consumo de Calorias	Potência consumida de Energia Elétrica com base no tempo de operação
	Total	0	0	0	0

O conteúdo desta planilha é importante para atender as dimensões de sustentabilidade por meio da medição dos seus indicadores. A adoção da planilha mantém a organização dos dados e permite uma análise completa sendo aplicada a todas as operações que fazem parte do processo de produção.

O método teve a sua aplicação em várias situações junto aos produtos. No caso da cadeira foi analisado o produto em sua totalidade em virtude da sua simplicidade, e depois foram realizadas algumas experimentações de modo a trocar e simplificar componentes. Quanto aos implementos agrícolas, foram analisados implementos enquanto que a caixa de transmissão da semente foi analisada em sua totalidade. No sulcador foram utilizadas as metodologias de Design e DFA junto à representação icônica do seu processo, enquanto o enleirador teve uma análise dirigida à sua condição social. O intuito nestes casos é mostrar que o método proposto tem as suas nuances e pode ser aplicado de acordo com a necessidade da empresa.

O índice denominado “percentual de sustentabilidade adquirida” (PSA) atendeu a proposta inicial do trabalho. Ele pode ser mensurado em conjunto com as dimensões e seu valor é um indicativo de sustentabilidade de um produto. No entanto, algumas observações são importantes no que concernem os produtos e as formas de comparação. O PSA deve ser aplicado sobre o mesmo produto e que passa por operações iguais. Embora que no âmbito do produto, diferentes valores de PSA podem ser mensurados. Deve-se considerar a relação do PSA com o Fator 4, ou seja, deve estar próximo a 75% ou acima deste valor em detrimento da utilização de 25% dos recursos. Isto significa que as dimensões de sustentabilidade ambiental, econômica e social estão sendo atendidas. Reitera-se que uma análise completa do produto permite indicar se o mesmo atende as dimensões de sustentabilidade.

A representação icônica das operações comunica como os processos podem ser simplificados em termos de visibilidade. Eles proporcionam uma visualização do que resulta de uma simplificação e, intuitivamente, quais os possíveis ganhos em cada uma das dimensões. Alguns estudos de caso deste trabalho apresentaram sua representação icônica posterior à simplificação mostrando a quantidade de operações que podem ser eliminadas da produção. Durante os procedimentos de mensuração, a representação icônica permitiu manter o foco nos processos, tendo sempre à disposição a visão da produção, contribuindo para uma tomada de decisão apropriada. O intuito da utilização dos ícones foi testar uma representação que pudesse ser do entendimento de

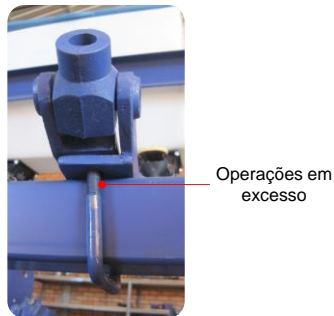
todos que participam do processo de produção, mais familiarizados com os seus equipamentos. Entendidos os ícones, automaticamente as operações são definidas. Sua construção levou em consideração aspectos do equipamento e a função desempenhada, de maneira a simplificar e tornar mais próxima à representação do processo estudado.

4.3.1 A simplificação e os dados obtidos

Aplicado o método permitiu a obtenção dos valores das dimensões de sustentabilidade e o índice PSA. A simplificação considera os aspectos do produto e do processo de modo a atender as necessidades e interesses da empresa.

Dentre os métodos disponíveis no contexto do DfX, se preferiu trabalhar com a avaliação dos procedimentos de montagem, no caso, DFA. Como referência a Figura 64, se observa ao final da montagem uma operação de tornear desnecessária. Neste exemplo, há excesso de usinagem para produzir a rosca, percebido somente posterior à montagem.

Figura 64 – Exemplo de inadequação de projeto, percebida durante a montagem.



Fonte: adaptado de Empresa B.

A princípio essa rosca possui uma participação reduzida no produto, mas o processo para produzi-la tem uma significativa contribuição quando se considera duzentas ou trezentas unidades produzidas por dia. Logo, neste caso, recomenda-se que a usinagem deva ser realizada somente na área necessária para o aperto. Fatos como

este são observados em processos de produção e podem ser identificados efetuando-se uma análise mais apurada da montagem.

No estudo de caso que envolveu a cadeira normal, se percebeu que os valores quanto às dimensões do tripé de sustentabilidade e seus índices PSA iniciaram baixos, e ao longo das simplificações os índices foram aumentando, mas mantiveram-se entre 30% e 60%. A dimensão econômica foi a que teve os valores mais altos. No entanto, vale lembrar que as três dimensões precisam apresentar valores próximos ou maiores que 75%. Assim, mais modificações podem ser propostas de modo a se conseguir valores mais altos. O empalhamento (trançado do assento) pode ser analisado sob a ótica dos formatos de trançado e até de novos tipos de corda. A energia calórica consumida durante esta operação pode ser reduzida com a adoção de novos formatos de corda, ou até mesmo mediante melhorias na condição ergonômica do trabalho do colaborador. Quanto ao material da cadeira, de acordo com pesquisas e junto aos colaboradores, o eucalipto apresenta uma boa relação custo benefício, além de ser um recurso renovável.

A caixa de transmissão contemplava apenas uma parte de um grande produto, no caso, a plantadeira. Cada linha de plantio que forma a estrutura da plantadeira apresenta duas “caixas de transmissão da semente”. É um dos componentes que costuma atrasar a montagem e, portanto, sujeito a uma análise detalhada do seu processo de montagem. Aplicados os métodos de simplificação, se optou por combinar o eixo e a coroa de maneira a tornarem-se um único componente, o que levou a um índice PSA de 79,57%. Contribuiu para este elevado valor a redução na quantidade de operações resultante da adequação da coroa ao eixo. No entanto, sabe-se que mais benefícios podem ser alcançados com mudanças estruturais na carcaça e demais componentes. Esta modificação será efetuada e dentro em breve as caixas terão a dupla eixo-coroa em um único componente produzido por microfusão.

O sulcador teve mudanças estruturais que vieram com a simplificação das hastes de apoio e do processo de fixação dos componentes junto à plantadeira. Fato percebido onde se teve uma redução de 73,40% em relação à quantidade de material e de custo de material. Ainda, de seis componentes passou para três componentes. Do protótipo ao produto consolidado, ele já está sendo produzido pela empresa. A Figura 65 apresenta seu protótipo, e a Figura 66 mostra o sulcador montado para teste.

Figura 65 – O protótipo do sulcador sendo montado em uma plantadeira para verificação de dimensões e aspectos de montagem.



Fonte: adaptado de Empresa B.

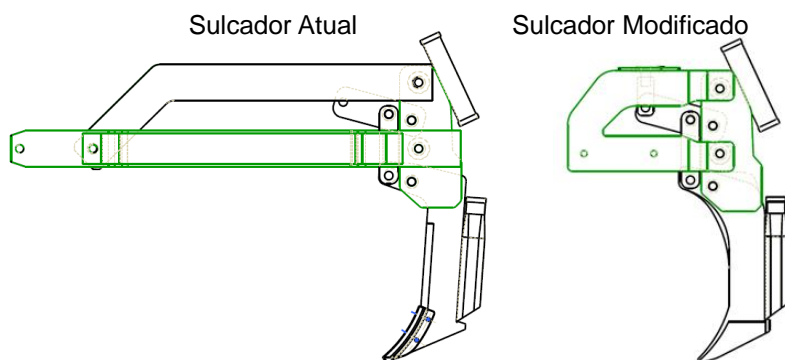
Figura 66– O sulcador instalado em uma plantadeira para a realização de teste em campo.



Fonte: adaptado de Empresa B.

Para fins de comparação, dois desenhos dos sulcadores são apresentados pela Figura 67, onde se percebe a mudança de projeto.

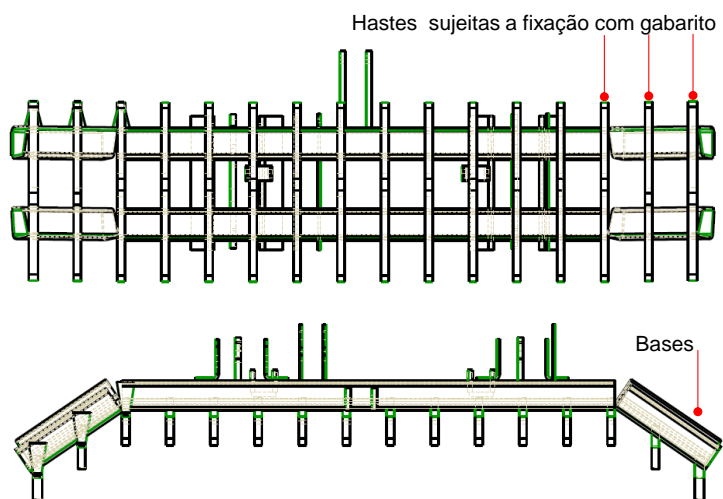
Figura 67 – Sulcador e seu formato antes e depois da simplificação de sua estrutura.



Fonte: adaptado de Empresa B.

Outro equipamento sujeito ao método, o enleirador, teve a sua análise voltada à dimensão social do tripé da sustentabilidade. Uma das premissas do método (como ele parte da montagem) é a retirada física de componentes no intuito de programar a simplificação. A simplificação sugerida parte da criação de gabarito para fixação das hastes e dos suportes. Sob o aspecto da montagem, ela pode alcançar 34,34% de aquisição com relação à dimensão social onde se percebe uma diminuição do esforço do colaborador. No entanto, mediante a análise *in loco*, sabe-se que o processo de soldagem manual dos suportes pode ser melhorado de modo a garantir velocidade na montagem sem depender da intervenção de maçaricos e pré-montagens contínuas. A Figura 68 apresenta o enleirador e suas partes sujeitas a fixação com gabarito.

Figura 68 – Desenho do enleirador com a indicação de suas hastes e bases de fixação.



Fonte: adaptado de Empresa B.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

A criação e a aplicação do método proposto permitiram chegar a algumas conclusões tanto de ordem qualitativa, quantitativa e de percepção. Os próximos parágrafos apresentam as conclusões do trabalho, as quais foram obtidas a partir de dados observados, bem como da discussão de ideias junto às pessoas (e empresas) que permitiram a simplificação dos seus produtos com vistas à sustentabilidade.

Considera-se que a forma de aplicação do método é relativamente simples, o qual parte da lista de componentes de um produto e posteriormente realizada uma análise do processo tendo como referência os indicadores oriundos de suas operações. Desta forma, escolhido o produto, uma análise quantitativa pode ser feita definindo-se no início da aplicação quais princípios devem ser considerados.

Após a primeira modificação, calcula-se o índice PSA (percentual de sustentabilidade adquirida) do produto e a partir dele, abre-se caminho para o cálculo de mais valores resultantes da aplicação do método. A cada modificação realizada um novo PSA é calculado, o que permite escolher o índice de maior valor. Ainda, a alteração no produto pode ser identificada tendo como referência as dimensões de sustentabilidade que foram atendidas e qual delas (ambiental, econômica ou social) apresenta um maior grau de importância para a empresa.

A escolha por micro e pequenas empresas para a validação do método vai ao encontro à liberdade de circulação e a troca de informações que ocorre junto ao processo e aos colaboradores. A facilidade de acesso junto aos processos, equipamentos e colaboradores, faz com que ideias sejam discutidas *in loco*. O tempo entre protótipo e produto final é menor. Assim, considera-se a característica de informalidade dessas empresas um ótimo campo para pesquisas e novas aplicações futuras do método. Um fato comprovado foi que, enquanto algumas melhorias estavam sendo realizadas devido à aplicação do método, as mudanças foram ocorrendo e protótipos foram construídos e testados em um curto espaço de tempo. Na aplicação junto à fábrica de cadeiras, por exemplo, o protótipo foi criado em aproximadamente três horas e o produto estava sendo comercializado no dia seguinte a mudança.

A necessidade em definir o produto para a aplicação do método ocorreu com base na demanda e na programação de produção das

empresas. Haja vista que a busca por melhorias em um produto pode partir de uma decisão da empresa, da sugestão dos colaboradores e também da necessidade compartilhada ou não junto aos clientes. Muitas vezes o projeto é antigo e precisa passar por uma reestruturação (em *design* e em processo), e esse pode ser o momento oportuno para uma análise do que pode ser modificado e de que forma as ações possam ser dirigidas. Naturalmente, o método pode ser aplicado quando a empresa ou o cliente sinaliza que o produto precisa mudar. Embora haja casos em que uma mudança possa ser necessária para atender a uma norma ou uma adequação visando um *design* mais contemporâneo.

A presença de componentes comerciais (externos) ou sujeitos à produção (internos) indicam o que deve ser priorizado. Esta não é uma regra, mas apenas o início de aplicação do método. Quanto ao número de componentes, a lista de materiais apresenta uma coluna que indica “componentes produzidos” e “componentes comerciais”. Durante a aplicação das metodologias de Design e de DFA, os dois tipos de componentes (comerciais ou produzidos) podem ser retirados da composição do produto. No entanto, quando se retiram “componentes produzidos”, isto resulta na eliminação das operações, o que gera tempos menores de produção, de montagem e de energias elétrica e calórica consumidas. Quando são eliminados elementos comerciais, diminui-se a quantidade e o custo. Cabe lembrar que neste trabalho, não foi analisada a pegada ecológica dos componentes, mas entende-se que a redução desses elementos possa gerar benefícios adicionais indiretos, como a economia de energia consumida na logística, na produção e no consumo de materiais.

O tempo de aplicação do método pode variar de acordo com a empresa e as características do produto analisado. Quanto maior a quantidade produzida, melhor o acompanhamento em virtude de observações mais precisas das operações, medições de consumo de energia sem riscos, e a observação mais acurada de aspectos de montagem que possam passar despercebidos. Não há impedimento quanto à análise simultânea de produtos.

Deve-se atentar quanto à clareza na definição do escopo (em qual produto o método vai ser aplicado e suas características) de modo a chegar aos resultados eliminando as incertezas decorrentes da produção.

A representação iconográfica permite levar em consideração a melhor visibilidade do processo de produção e as suas operações junto aos gestores e colaboradores. Os ícones permitem a visualização da complexidade da produção, ao passo que indicam quantas operações são retiradas e, em alguns momentos, acrescentadas ao processo. Percebem-

se com maior facilidade as interconexões entre as etapas e os equipamentos utilizados. Embora, durante a criação dos ícones deva ser observada a semelhança com os equipamentos em conjunto com a sua função. Além disso, engenheiros, administradores, designers e colaboradores compreendem como o processo funciona e quais as vantagens decorrentes da simplificação vista através do número de operações iniciais e finais.

A adoção do Fator 4 atende ao quesito meta, onde o produto deve consumir apenas 25% dos recursos. Este fator é aplicado diretamente sobre os valores do primeiro mapeamento de processo, nos indicadores de tempo de produção, de montagem, de energias elétrica e calóricas consumidas e ainda, sobre os custos. Reitera-se que ele pode ser aplicado sobre a quantidade de componentes. A questão é que em muitos produtos, o valor poderia ser muito pequeno como, por exemplo, um produto com seis componentes, ao qual aplicado o Fator 4, o valor seria 1,5 componentes, de modo a gerar dificuldade de compreensão e de visualização. Neste caso, sugere-se a aplicação sobre os indicadores do processo de produção. Ainda, tratando-se da quantidade de componentes, caso um produto apresente valores acima de cinquenta (fato percebido na plantadeira da Empresa B), sugere-se uma divisão modular do produto, onde módulos possam ser analisados e seus resultados finais somados.

Considera-se como ponto importante desta dissertação, a medição de energia calórica como indicador de sustentabilidade social. Esta medição permite trabalhar dentro das operações de produção e montagem com vistas diretas a ação dos colaboradores. O pressuposto que se defende sugere que quanto menor os gastos calóricos em detrimento de uma atividade laboral, mais sustentável socialmente um produto será. A adoção de um menor número de operações e de gabaritos de montagem faz com que a sustentabilidade adquirida de um produto sob a ótica social seja maior.

Sobre a criação do índice PSA – percentual de sustentabilidade adquirida -, entende-se que um único índice facilita a compreensão de como o produto pode se enquadrar no âmbito das dimensões de sustentabilidade. Ele informa a média decorrente do somatório das dimensões ambientais, econômicas e sociais e permite a comparação entre diversas propostas de simplificação de um produto. Esta dissertação trata de sustentabilidade adquirida, do quanto se alcançou tendo como base a comparação dos componentes iniciais de um produto com seus componentes finais posteriores a aplicação do método de simplificação. Logo, a comparação só é possível junto ao mesmo

produto não sendo recomendada a comparação junto a produtos com processos e de naturezas diferentes.

Mesmo sendo apresentados os resultados decorrentes da simplificação junto aos produtos (uma economia junto aos processos de produção considerando-se os indicadores mensurados) não significa que todas as sugestões sejam acolhidas. Há dependência quanto ao momento e necessidade de mudança. Quando se trata de sustentabilidade, entende-se de antemão que três dimensões devem fazer parte da sua composição as quais norteiam a aplicação deste método.

Os indicadores mensurados devem comunicar como dever ser feito, quais as quantidades, quanto custa e os ganhos que porventura devam aparecer. Logo, recomenda-se que as questões de sustentabilidade possam iniciar do produto pronto (físico) o qual é consumido pelo cliente e motivo de existência da empresa. Há percepção que exista um número maior de produtos já criados se comparado com produtos inéditos. Cabe então trabalhar no que existe analisar sua montagem e partir dela, simplificar.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As sugestões apresentadas nesta seção derivam de observações e reflexões junto aos processos de produção, por meio da leitura tanto de elementos de design quanto mecânicos e, também, partindo da percepção quanto às possibilidades de melhorias em componentes, processos e produtos. Elas não são restritas apenas à área de sustentabilidade:

- Quanto à montagem e fabricação com estudo das áreas de soldagem, deve-se avaliar como a soldagem pode ser mais sustentável e quais critérios (indicadores) podem ser adotados. Deve-se considerar operações de soldagem mais sustentáveis tendo como base a medição de energia elétrica e calórica consumidas durante o processo. Pode-se questionar se o formato geométrico dos cordões de solda implica em gastos maiores de energia. Realizar a inserção de diretrizes de DFA contemplando a pré-montagem por pontos de solda. Isto poderia incluir a localização, o tamanho do cordão e os parâmetros de consumo de energia destas ações. Deve-se citar que esse estudo atenderia as dimensões ambientais e econômicas.
- Durante a criação de gabaritos, pode-se avaliar quais as suas vantagens e desvantagens com relação à montagem de produtos e as questões ergonômicas. Outra consideração corresponde aos ganhos

obtidos com vistas à sustentabilidade de produtos com a utilização de gabaritos. Em que momento o gabarito pode ser utilizado como um indicador de uma provável automação? Qual seria o percentual de sustentabilidade de um gabarito tendo como indicador a sua dimensão social? Sobre o mesmo tema, pode-se desenvolver o design de um gabarito que possa ser acoplado a pontos de fixação e ajuste, segundo um modelo que seja flexível e permita a adaptação *in situ* dos componentes.

- Pode-se desenvolver um algoritmo que permita identificar qual sequência de montagem é mais eficaz e com o menor gasto de energia tanto elétrica quanto calórica, ao passo que calcula o percentual de sustentabilidade adquirida de um produto. Seu resultado deve apresentar cenários de montagens possíveis e sustentáveis. Nesse caso, podem-se identificar quais parâmetros podem nortear esse processo decisório.
- Como o design pode considerar desde o aperto de um parafuso à desmontagem de módulos de produtos, pode-se melhorar o *design* de ferramentas para a montagem (manuais ou automáticas) de modo a atender a dimensão social e econômica de sustentabilidade.
- Pode-se realizar pesquisa bibliográfica que inicie com a utilização de estudos de casos publicados sobre DFA fazendo uma análise dos seus resultados quanto aos critérios de sustentabilidade tendo como contrapartida a montagem de componentes. Esse estudo pode indicar qual o software que apresenta os melhores percentuais de sustentabilidade alcançada por meio dos componentes simplificados.
- Pode-se aplicar a engenharia reversa (desconstrução e construção de produtos) aos processos de montagem com vistas à sustentabilidade. Como a sustentabilidade pode ser mensurada tendo como parâmetro um produto não pertencente à empresa? Como definir as suas dimensões?
- Pode-se considerar formas de concatenar as dimensões de sustentabilidade mensuradas neste trabalho com ações voltadas à criação dos chamados “ecoselos”. Pode ser utilizada a forma de quantificação apresentada neste método, mas com possíveis ajustes. Embora já existam e estejam sendo aplicados em diversos setores industriais, pode-se desenvolver algo semelhante ao selo da PROCEL para controle de energia. Vale lembrar que este ecoselo deve atender às condições de sustentabilidade internas da empresa, com sua repercussão externa. Sabe-se que existem movimentos em outros países em busca da criação de um único selo.

- Pode-se expandir o método proposto a outras Dfx (*Design for x*), mas presume-se que o grau de complexidade poderá aumentar. Tendo em vista essa possibilidade, pode-se repensar formas de representação das variáveis de forma mais simplificada, atendendo aos conceitos sugeridos pelas metodologias de Design.
- Embora o método proposto seja aplicado de forma simples utilizando um software que gera planilhas, sugere-se o desenvolvimento de um software específico. O trabalho proposto pode ter como consequência o desenvolvimento de um software de simulação e de diagnóstico para avaliar produtos já existentes ou auxiliar na criação de novos produtos seguindo as diretrizes de sustentabilidade, utilizando do conceito de *Tripple Bottom Line*, e tendo como índice mensurador o PSA. Uma possível forma de implementação seria a utilização da linguagem Java devido à sua portabilidade (isto é, utilização em diferentes navegadores, sistemas operacionais e dispositivos móveis), além de ser de código livre, e possuir vasto suporte para aplicações locais e distribuídas ou para implementações que exijam interfaces gráficas complexas com alto desempenho no processamento.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, C. M. **Sustentabilidade: caminho ou utopia?** São Paulo: Annablume, 2006.
- ALBERTAZZI, A.; SOUSA, A. R. **Fundamentos de metrologia científica e industrial.** Barueri (SP): Manole, 2008. 408p.
- ALEXANDER, C. K.; SADIKU, M. N. O. **Fundamentos de circuitos elétricos.** 5. ed. São Paulo: McGraw Hill, 2013. xxiv, 901 p.
- AMBROSE, G.; HARRIS, P. **Fundamentos de design criativo.** 2. ed. Porto Alegre (RS): Bookman, 2012. 192 p.
- AMBROSE, G.; HARRIS, P. **Design Thinking.** Porto Alegre: Bookman, 2011. 200 p.
- ARAUJO, J., B. **Desenvolvimento de método de avaliação de desempenho de processos de manufatura considerando parâmetros de sustentabilidade.** Escola de Engenharia de São Carlos - USP. São Carlos, 2010. 193 p.
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. da. **Projeto integrado de produtos:** planejamento, concepção e modelagem. Barueri: Manole, 2008. xxvi, 601 p.
- BARROS, A. J. P.; LEHFELD, N. A. S. **Projeto de pesquisa:** propostas metodológicas. 19. ed. Petropolis, RJ: Vozes, 2010. 127 p.
- BALACEANU, C.; APOSTOL, D. **The Perspective of Concept Sustainability.** 5th World Conference on Educational Sciences - WCES 2013. Procedia - Social and Behavioral Sciences 116. Elsevier Ltd, 2013. 2257 – 2261 p. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 12 de outubro de 2013.
- BELLEN, H. M. van. **Indicadores de sustentabilidade:** uma análise comparativa. 2.ed. Rio de Janeiro (RJ): FGV, 2006. 253 p.
- BIOMASSA, CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM. **Banco de Biomassa – Eucalipto.** Disponível em:

<<http://cenbio.iee.usp.br/saibamais/bancobiomassa/vegetaislenhosos/energeticas.htm>> Acesso em: 20 de maio de 2013.

BLENGINI, G. A.; BUSTO M.; FANTONI M.; FINO D. **Eco-efficient waste glass recycling: Integrated waste management and green product development through LCA**. Turin (IT): Waste Management, 2012. 1000-1008 p.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. **Product Design for Manufacture and Assembly**. Second Edition Revised and Expanded. Florida (USA): Taylor & Francis Group, 2002. 698p.

BRASIL, Norma Regulamentadora NR 15 – **Atividade e Operações Insalubres**. Portaria SIT n.º 339, de 31 de outubro de 2012, MTE. Brasília, 2012.

BRASIL, PORTARIA N° 193, DE 05 DE DEZEMBRO DE 2006. **Altera os parâmetros nutricionais do Programa de Alimentação do Trabalhador – PAT**. Publicada no DOU de 07 de Dezembro de 2006

BRIDI, S. **Diário do Clima. Efeito do aquecimento global: um relato em cinco continentes**. 1. ed. São Paulo: Globo, 2012. 255 p.

BSI. **ISO 50001 – Sistema de Gestão de Energia**. Brasil. Disponível em
<www.bsibrasil.com.br/certificacao/sistemas_gestao/normas/iso50001/>
. Acesso em 03 de agosto de 2013.

CAMPOS, L. M. de S.; LERÍPIO, A. Á. **Auditoria ambiental: uma ferramenta de gestão**. São Paulo: Atlas, 2009. ix, 134 p.

CÂNDIDO, G. A.. **Desenvolvimento sustentável e sistemas de indicadores de sustentabilidade: formas de aplicações em contextos geográficos diversos e contingências específicas**. Campina Grande: Ed. da UFCG, 2010. 469 p.

CAVALLCANTI, C. **Sustentabilidade: mantra ou escolha moral?** Uma abordagem ecológico-econômica. Estudos avançados, vol. 26, n° 74. São Paulo, 2012. Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142012000100004&lang=pt>. Acesso em 03 de julho de 2012.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. 2a ed. Rio de Janeiro (RJ): Ed. da Fundação Getúlio Vargas, 1991. xvii, 430 p.

DIAS, G. F. **Pegada Ecológica e Sustentabilidade Humana**. São Paulo: Gaia, 2002. 263 p.

DISK DRIVE PRICES. **Disk Drive Prices (1955-2013)**. Disponível em <www.jcmit.com/diskprice.htm>. Acesso em 29 de novembro de 2012.

DYNIWICZ, A. M. **Metodologia da pesquisa em saúde para iniciantes**. 2. ed. rev. e ampl. São Caetano do Sul: Difusão Editora, 2009. 207p.

ECODESENVOLVIMENTO. **O que é a ISO 26000**. Brasil. Disponível em <www.ecodesenvolvimento.org/iso26000/o-que-e-iso26000>. Acesso em 24 de julho de 2013.

ELKINGTON, J. **Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business**. Capstone, 1999. 425 p.

ELKINGTON, J. **Enter the Triple Bottom Line**, 2004. Disponível em: <www.johnelkington.com/TBL-elkington-chapter.pdf>. Acesso em 17 de abril de 2013.

FERREIRA, J. C. E. – **Introdução a Manufatura Sustentável**. Apontamentos em sala de aula. UFSC, Florianópolis. Junho, 2012.

FIGUEIREDO, C. B.; FILHO, J. R. F. **Sustentabilidade da Indústria de Petróleo**. V Congresso Nacional de Excelência em Gestão. P. 1-17, 2009. Disponível em: <www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg5/anais/T8_0164_0800.pdf>. Acesso em: 04 de setembro de 2010.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia industrial: conceitos, ferramentas e aplicações**. São Paulo: E. Blucher, 2006. xv, 109 p.

He, Y.; Liu, B.; Zhang, X.; Gao, H.; Liu, X. *A modeling method of task-oriented energy consumption for machining manufacturing system*. Journal of Cleaner Production – n. 23, 2012, p. 167 - 174.

HOUAISS, A.; VILLAR, M. de S.; FRANCO, F. M. de M. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa:** [com nova ortografia da língua portuguesa]. 1. ed. Rio de Janeiro (RJ): Objetiva, 2009. LIX, 1986 p.

INCOGEL. *Home page*. **Produtos:** Aplicações da cola e gelatina industrial de origem animal. Disponível em: <<http://www.incogel.com/2009/07/produtos.html>>. Acesso em 10 de dezembro de 2013.

INMETRO. **Norma ABNT BNR ISO 26000.** Brasil. Disponível em <www.inmetro.gov.br/qualidade/responsabilidade_social/iso26000.asp> . Acesso em 24 de julho de 2013.

ISO. **ISO 50001 – Energy Management.** Genebra, Suíça. Disponível em <www.iso.org/iso/home/standards/management-standards/iso50001.htm>. Acesso em 29 de julho de 2013.

JACOBS, F. R.; CHASE, R. B. **Administração da produção e de operações:** o essencial. Porto Alegre (RS): Bookman, 2009. x, 424p.

KAZAZIAN, T. **Haverá a idade das coisas leves: design e desenvolvimento sustentável.** 2. ed. São Paulo: SENAC São Paulo, 2009. 194 p.

LEONARD, A.; CONRAD, A. **A História das coisas:** da natureza ao lixo, o que acontece com tudo que consumimos. Rio de Janeiro: Zahar, 2011. 302 p.

LIDWELL, W.; HOLDEN, K.; BUTLER, J. **Princípios universais do design:** 125 maneiras de aprimorar a usabilidade, influenciar a percepção, aumentar o apelo e ensinar por meio do design. Porto Alegre: Bookman, 2010. 272 p.

LONGONI, A.; GOLINI R.; CAGLIANO, R. **The role of New Forms of Work Organization in developing sustainability strategies in operations.** Int. J. Production Economics, nº 147, 2014. 147-160 p. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em 03 de janeiro de 2014.

LOVINS, A. B. **Reinventando o fogo: soluções ousadas de negócios na nova era da energia** / Amory B. Lovins e Rocky Mountain Institute. São Paulo: Cultrix, 2013. 375 p.

MARTÍNEZ-BLANCO, J.; LEHMANN, A.; MUÑOZ, P.; ANTÓN, A.; TRAVERSO, M.; RIERADEVALL, J.; FINKBEINER, M. **Application challenges for the social Life Cycle Assessment of fertilizers within life cycle sustainability assessment**. Journal of Cleaner Production, nº 69, 2014. 34-48 p. Disponível em: www.elsevier.com/locate/jclepro. Acesso em: 24 de janeiro de 2014.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da produção**. 2. ed. rev. São Paulo (SP): Saraiva, 2005. 562 p.

MARTINS, R. F. F.; VAN DER LINDEN, J. C. S. **Pelos caminhos do design: metodologia de projeto**. Londrina: Eduel, 2012. 538 p.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O Desenvolvimento de produtos sustentáveis**. São Paulo (SP): Editora da Universidade de São Paulo, 2011.

MATTOS, P. F. **Avaliação da Adequação do Almoço de uma Unidade de Alimentação e Nutrição (UAN) ao Programa de Alimentação do Trabalhador (PAT)**. Cadernos UniFOA, edição número 07, agosto de 2008. P. 54-59.

MESTRE, A.; VOGTLANDER, J. **Eco-efficient value creation of cork products: an LCA-based method for design intervention**. Netherlands: Journal of Cleaner Production, 2013. 101 a 114 p.

MLODINOW, L. **Subliminal – How your unconscious mind rules your behavior**. New York (USA) :Pantheon Books, 2012.

MILLER JR, G. T. **Ciência Ambiental**. Tradução *All Tasks*. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

MINIPA. **ET3200A – Alicates Digitais**. Disponível em < minipa.com.br/Produtos/ProdutoInterna?idCategoria=2&idSubCategoria=85&idProduto=106 >. Acesso em 15 de abril de 2013.

MORAES, D. de. **Metaprojeto: o design do design**. São Paulo: Blucher, 2010, 228 p.

MORRIS, R.. **Fundamentos de design de produto**. Porto Alegre: Bookman, 2010. 184 p.

NADAIS, A. **Monitoramento do consumo e distribuição de energia em utilidades, visando à redução de perdas**. Revista InTech. Disponível em: <www.br.endress.com>. Acesso em: 05 de outubro de 2012.

NESS, B.; URBEL-PIIRSALUA, E; ANDERBERGD, S; OLSSONA L. **Categorising tools for sustainability assessment**. Ecological Economist, nº 60, 2007. 498-508 p. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em 10 de novembro de 2013.

NORMAN, D. A. **The design of every day**. New York (USA): Perseus Books Group, 2002. 256 p.

NORMAN, D. A. **Emocional design**. New York (USA): Perseus Books Group, 2005. 257 p.

PAIVA, A. **Clima e pobreza desafiam os modelos de negócios**. Jornal Valor Online. Rio de Janeiro, 12 set. 2008. Entrevista.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. **Projeto na Engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. São Paulo (SP): Edgard Blucher, 2011. 412 p.

REIS, L. B. dos; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. 1. ed. Barueri: Manole, 2005. 415 p.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C. de; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo (SP): Saraiva, 2006. 542p.

SAMARA, T. **Elementos do design: guia de estilo gráfico**. Porto Alegre: Bookman, 2010. 272 p.

SAMARA, T. **Evolução do design**: da teoria à prática. Porto Alegre: Bookman, 2010. 272 p.

SEBRAE, **Anuário do trabalho na micro e pequena empresa: 2012. 5. ed.** / Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Org.); Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos [responsável pela elaboração da pesquisa, dos textos, tabelas, gráficos e mapas]. – Brasília, DF; DIEESE, 2012.

SEBRAE. **O que pensam as micro e pequenas empresas sobre sustentabilidade** – Série Estudos e Pesquisas – Brasília, DF, 2012. Disponível em <www.sebrae.com.br/estudos-e-pesquisas> Acesso em: 15 de fevereiro de 2013.

SICHE, R., AGOSTINHO, F., ORTEGA, E., ROMEIRO, A. **índice versus Indicadores**: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. Artigo. Ambient. soc, vol 10, n° 2. Campinas jul./dez 2007. Disponível em: <www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2007000200009&lang=pt>. Acesso em 18 de agosto de 2013.

SING, R. K.; MURTY, H. R.; GUPTA, S. K.; DIKSHIT, A. K. **Review An overview of sustainability assessment methodologies**. Ecological indicators 9. Elsevier, 2009. 189–212 p. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/ecolind>. Acesso em: 10 de novembro de 2013.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo (SP): Atlas, 2009. 703p.

SOUSA, A.; FORCELLINI, F. A.; BACK, N. **Estudo e análise dos métodos de avaliação da montabilidade de produtos industriais no processo de projeto** /. Florianópolis, SC, 1998. xxii, 238f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.

TECNO. **Catálogo OnLine**. Disponível em: www.catalogo.tecnoferramentas.com.br. Acesso em 02 de maio de 2013.

TOFFLER, A., 1928-. **A Terceira Onda**. 20. ed. Rio de Janeiro (RJ): Record, 1995. 491 p.

UNITED NATIONS – SUSTAINABLE DEVELOPMENT KNOWLEDGE PLATFORM. *Home page*. a) Disponível em < sustainabledevelopment.un.org/ >. Acesso em 21 de agosto de 2013.

UNITED NATIONS – SUSTAINABLE DEVELOPMENT KNOWLEDGE PLATFORM. *Home page*. b) Disponível em < www.uncsd2012.org/thefuturewewant.html >. Acesso em 05 de abril de 2013.

UNITED NATIONS – SUSTAINABLE DEVELOPMENT KNOWLEDGE PLATFORM. *Home page*. c) Disponível em < www.uncsd2012.org/allcommitments.html >. Acesso em 25 de abril de 2013.

VEIGA, J. E. **Indicadores de Sustentabilidade**. Dossiê Teoria Socioambientais. Estudos avançados, vol. 24, n° 68. São Paulo, 2010. Disponível em: <www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142010000100006&lang=pt>. Acesso em 28 de setembro de 2013.

VEZZOLI, C.; MANZINI, E.. **Design for environmental sustainability**. Berlin: Springer, 2007. xviii, 303 p.

VEZZOLI, C.; MANZINI, E.. **Design for Environmental Sustainability**. London: Springer-Verlag, 2008. ISBN 9781848001633 Disponível em : <[dx.doi.org/10.1007/978-1-84800-163-3](https://doi.org/10.1007/978-1-84800-163-3)>. Acesso em : 9 out. 2009.

WAYNE, V. **Os 50 + importantes livros em sustentabilidade**. São Paulo: Pierópolis, 2012. 272 p.

APÊNDICE A – EQUIPAMENTOS PARA MEDIÇÃO

Cronômetro digital de bolso

Um cronômetro foi utilizado para as medições do tempo na produção do componente e na montagem do produto final. O equipamento da marca Casio, modelo HS-60W-1DF (Black) o qual foi utilizado na mensuração é apresentado na Figura 69 (TECNO, 2013).

Figura 69 - Cronômetro CASIO, modelo HS-60W-1DF -Black.



Fonte: <http://catalogo.tecnoferramentas.com.br>.

Seu display indica horas, minutos e segundos, com segundo estado de medição: após o tempo decorrido o mesmo é travado e a divisão de tempo possui resolução de 1/100.

A repetição da medição levou em consideração a quantidade de componentes disponíveis e a disponibilidade do operador ao executar determinada operação. Fatores de medição foram levados em consideração como o conhecimento prévio dos componentes, as operações envolvidas, e o tempo disponibilizado pelas empresas para a tomada dos dados *in loco*.

Foram realizadas entre quinze e vinte medições de tempo de cada componente junto às operações, sendo calculado posteriormente o valor médio. As primeiras cinco foram eliminadas em função do ajuste e do entendimento dos movimentos do colaborador. Estas medições atendem a condição de monitoramento (registro passivo de um valor) de tempo, quantidade e energia. Ainda, estão voltadas ao controle (registro ativo) onde valores medidos são comparados (condição inicial e final) e referenciados (a meta passa a atender a condição do Fator 4). Posteriormente, são dispostos à investigação (ação sobre o valor no intuito de simplificar a tornar mais sustentável) junto às metodologias de simplificação de Design e DFA (ALBERTAZZI; SOUZA, 2008).

Alicate Amperímetro Digital-ET-3200A

Este alicate, que é mostrado na Figura 70, foi utilizado para medir a intensidade da corrente elétrica que estava abastecendo a máquina durante a operação, tendo como objetivo obter a leitura direta de entrada de energia na máquina. Esta mensuração foi realizada durante o processo de produção do componente. Este indicador atende as dimensões ambientais e econômicas propostas na metodologia.

Figura 70 – Alicate Amperímetro Digital.



Fonte: www.minipa.com.br.

O alicate amperímetro utilizado é um instrumento digital portátil, de acordo com a categoria II de segurança, com função de congelamento de picos e com LCD de 3½ dígitos. Ele realiza medidas de tensão DC e AC, corrente AC até 1000A, com resistência, testes de diodo e continuidade (MINIPA, 2013). Ele apresenta as seguintes características:

- Display: LCD 3½ dígitos, leitura máxima de 1999.
- Taxa de Amostragem: 3 vezes/s.
- Mudança de Faixa: Manual.
- Abertura de Garra: 50mm.
- Diâmetro do Condutor: 48mm.
- Alimentação: Uma bateria 9V. - Grau de Poluição: II.
- Dimensões: 248mm x70mm x38.5mm.
- Peso: Aprox. 337g (com a bateria).

A medição foi realizada com a colocação do alicate amperímetro junto aos três fios condutores na entrada de energia dos equipamentos. Cada um dos três fios teve a sua medição realizada separadamente. Ao todo, cinco medições por fio condutor foram realizadas em virtude da corrente elétrica não variar de forma significativa. Ressalta-se que foram observadas as condições de segurança para esta ação.

**APÊNDICE B – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO MÉTODO
EM SUA TOTALIDADE**

