

**UNIVERSIDADE PAULISTA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**OTIMIZAÇÃO DOS RECURSOS FINANCEIROS E  
AMBIENTAIS DE EMPRESAS: PROPOSTA DE CUSTEIO  
BASEADO EM ATIVIDADES MODIFICADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

**HEITOR FEITOZA MARINHO NETO**

**SÃO PAULO  
2019**

**UNIVERSIDADE PAULISTA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**OTIMIZAÇÃO DOS RECURSOS FINANCEIROS E  
AMBIENTAIS DE EMPRESAS: PROPOSTA DE CUSTEIO  
BASEADO EM ATIVIDADES MODIFICADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Feni Dalano Roosevelt Agostinho.

Área de concentração: Sustentabilidade em Sistemas de Produção.

Linha de Pesquisa: Avanços em Produção Mais Limpa e Ecologia Industrial.

Projeto de Pesquisa: Ecologia industrial: aplicação de conceitos visando à sustentabilidade.

**HEITOR FEITOZA MARINHO NETO**

**SÃO PAULO  
2019**

**Marinho Neto, Heitor Feitoza.**

Otimização dos recursos financeiros e ambientais de empresas : proposta de custeio baseado em atividades modificada / Heitor Feitoza Marinho Neto. - 2018.

48 f. + CD-ROM.

Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista, São Paulo, 2018.

Área de concentração: Sustentabilidade em Sistemas de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Feni Dalano Roosevelt Agostinho.

1. Custeio baseado em atividades. 2. Contabilidade em emergia. 3. Empresas sustentáveis. 4. Desenvolvimento sustentável. I. Agostinho, Feni Dalano Roosevelt (orientador).  
II. Título.

**HEITOR FEITOZA MARINHO NETO**

**OTIMIZAÇÃO DOS RECURSOS FINANCEIROS E  
AMBIENTAIS DE EMPRESAS: PROPOSTA DE CUSTEIO  
BASEADO EM ATIVIDADES MODIFICADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovado em: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

---

Prof. Dr. Feni Dalano Roosevelt Agostinho  
Universidade Paulista (UNIP)

---

Prof. Dr. Biagio Fernando Giannetti  
Universidade Paulista (UNIP)

---

Prof. Dr. Anselmo Ramalho Pitombeira Neto  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

## **DEDICATÓRIA**

À Talita Marinho, grande incentivadora.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar a Deus.

À minha esposa Talita, minha filha Rebeca pelo apoio, estímulo e compreensão durante todo o tempo em que me dediquei ao curso.

A meu sogro Inácio.

À minha mãe, que mesmo distante colaborou com este projeto.

Ao professor doutor Feni Agostinho que, com paciência e dedicação, me orientou. Juntos finalizamos este trabalho de pesquisa.

Aos professores doutores Biagio F. Giannetti e Cecilia Maria Villas Bôas de Almeida, pelos momentos dedicados a apoiar, incentivar e ensinar os seus alunos, com grande vocação e entusiasmo.

À Profa. Dra. Silvia H. Bonilla, pela amizade, pelos conhecimentos passados e pelas boas conversas, que me ajudaram e me incentivaram neste caminho.

À CAPES/PROSUP, pelo apoio por meio da bolsa de estudos de Mestrado.

Aos amigos que com muita inteligência contribuíram para que este trabalho fosse construído.

## RESUMO

Usualmente, *stakeholders* avaliam o desempenho econômico da empresa de acordo com informações sobre custo de produção, lucro e receita bruta, onde a técnica de gestão mais considerada é o Custo Baseado em Atividades (CBA). Desta forma, decisões sobre aumento ou diminuição na quantidade produzida, no “mix” de produtos, na abertura ou fechamento de empresas, na abertura de capital para atrair investidores, entre outros, são baseados quase que exclusivamente sobre indicadores de desempenho econômico. Porém, as empresas vêm sendo cada vez mais pressionadas por governos e consumidores a terem uma visão mais holística de seu sistema de produção, onde aspectos sociais e ambientais também passam a receber importância nas decisões. Um grande avanço neste sentido são os objetivos de desenvolvimento sustentável como estabelecidos pela ONU, e mais especificamente, pelos relatórios de sustentabilidade do *Global Reporting Initiative* (GRI). Mesmo reconhecendo a importância da sustentabilidade, dificilmente as empresas deixarão de considerar o CBA como suporte às suas decisões. Desta forma, uma alternativa seria a inclusão de aspectos de sustentabilidade dentro do já aceito e utilizado CBA. Neste sentido, este trabalho objetiva propor um CBA modificado que também inclua aspectos ambientais e que dê suporte a decisões em busca de maior sustentabilidade. Para isso, o modelo conceitual de sustentabilidade “entrada-estado-saída” (*input-state-output*, ISO) é considerado para dar suporte às três diferentes abordagens de CBAs consideradas (*energia*, econômico e ambiental). Diferentes direcionadores são considerados na alocação dos custos de acordo com os diferentes CBAs, especificamente, fluxos de *energia* para o CBA<sub>energia</sub>, econômicos para o CBA<sub>\$</sub>, e emissões de CO<sub>2</sub> para o CBA<sub>emissões</sub>. A programação por metas é utilizada para estabelecer restrições de lucro e capacidade produtiva em cada CBA, e obter uma solução satisfatória do “mix” de produtos. Finalmente, o CBA sustentável é proposto pela união dos três CBAs e o “mix” sustentável de produtos é obtido. Para melhor entendimento, este procedimento é aplicado em um estudo de caso de produção de engrenagens mecânicas. Os resultados mostram que os diferentes CBAs aplicados individualmente indicam diferentes “mix” de produtos, o que era esperado uma vez que diferentes direcionadores para alocação de custos são considerados; enquanto o CBA<sub>\$</sub> indica um “mix” para maximizar o lucro, os CBAs *energia* e emissões indicam um “mix” que minimize a demanda por *energia* e as emissões de CO<sub>2</sub> respectivamente. Finalmente, a união das três perspectivas resultou um “mix” chamado sustentável, que deveria ser considerado para apoiar decisões em busca de maior sustentabilidade nos sistemas de produção.

**Palavras-chave:** Custo Baseado em Atividades; Contabilidade em Energia; Empresas Sustentáveis; Desenvolvimento Sustentável.

## ABSTRACT

Stakeholders usually base their assessment of a company's economic performance on information on production costs, profits, and gross revenue. The Activity-Based Costing (ABC) is the most frequently used management technique. Decisions on increase/decrease in the amount produced, on the mix of products, on opening/closure of companies, on the opening of capital to attract investors, among others, are, therefore, based almost exclusively on economic performance indicators. Companies, however, have been hard pressed by governments and consumers towards adopting a more holistic view of their production systems, whereby social and environmental aspects will bias the decisions. UNO's Sustainable Development Goals, and the *Global Reporting Initiative* (GRI) are huge advancements in this sense. Even though they recognize the importance of sustainability, companies will hardly ever stop considering ABC as a decision supporter. Thus, the inclusion of sustainability into ABC presents itself as an alternative. This work aims to put forward a modified ABC that includes sustainability-related aspects to support sustainability-aware decision-making. For that purpose, the conceptual *input-state-output* sustainability model (ISO) is considered to support the three ABC approaches taken into consideration (*emergy*, economic, and environmental). Different drivers are considered as for cost allocation in accordance with the three ABCs, specifically, *emergy* flows for  $ABC_{\text{energy}}$ , economic for  $ABC_{\$}$ , and  $\text{CO}_2$  emissions for  $ABC_{\text{emissions}}$ . Goal Programming is used to establish profit restrictions and production capacity in each one of the ABCs, as well as to obtain a satisfactory solution for the mix of products. Finally, the proposed sustainable ABC results from the combination of the three ABCs. For better understanding, such procedure is applied to a case study involving mechanical gear production. Results show that when individually applied, each ABC indicates a different mix of products, as expected, as different cost-allocation drivers are considered: while  $ABC_{\$}$  indicates a profit-maximizing mix,  $ABC_{\text{energy}}$  and  $ABC_{\text{emissions}}$  indicate *emergy* and  $\text{CO}_2$  emission-minimizing mixes, respectively. The combination of all three perspectives, however, resulted in a mix called sustainable, that should be considered as far as supporting decision-making towards higher production systems sustainability is concerned.

**Key words:** Acitivity-Based Costing, Energy Accounting, Sustainable Companies, Sustainable Development

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PROPOSTAS SOBRE ALTERAÇÕES NO PROCEDIMENTO TRADICIONAL DE CUSTEIO BASEADO EM ATIVIDADES.....	13
TABELA 2 - DADOS PARA APLICAÇÃO DO CBA E DIRECIONADORES DE CUSTOS DE CADA ATIVIDADE. FONTE: REZAIZE; OSTADI E TORABI, (2008).....	22
TABELA 3 - QUANTIDADES MÍNIMAS E MÁXIMAS ANUAL DE PRODUTOS UTILIZADAS COMO RESTRIÇÕES....	23
TABELA 4 - VETOR PROPORACIONALIDADE UTILIZADO PARA ALOCAR FLUXOS DE EMERGIA EM DIVISÕES TIPO "SPLIT" .....	25
TABELA 5 - CONTABILIDADE AMBIENTAL EM EMERGIA DA EMPRESA PRODUTORA DE ENGRANAGENS CONSIDERADA COMO ESTUDO DE CASO (FONTE: REZAIZE, OSTALDI E TORABI, 2008).....	25
TABELA 6 - TABELA COM QUANTIDADES MÍNIMAS E MÁXIMAS E A EMERGIA DAS ATIVIDADES E PRODUTOS.	26
TABELA 7 - RESULTADO DA APLICAÇÃO O CBA <sub>EMERGIA</sub> NO ESTUDO DE CASO CONSIDERADO.....	27
TABELA 8 - RESULTADO DA APLICAÇÃO O CBA <sub>\$</sub> NO ESTUDO DE CASO CONSIDERADO .....	28
TABELA 9 - DADOS RETIRADOS DO ECOINVENT® PARA ELABORAÇÃO DO ORÇAMENTO EM QUILOGRAMAS DE EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> .....	29
TABELA 10 - EMISSÕES POR PRODUTO, REPRESENTANDO QUANTO CADA PRODUTO É RESPONSÁVEL POR EMITIR EM KGCO <sub>2EQ</sub> /UNIDADE. ....	30
TABELA 11 – RESULTADO DA APLICAÇÃO O CBA <sub>EMISSÕES</sub> NO ESTUDO DE CASO CONSIDERADO. ....	31
TABELA 12 - RESTRIÇÕES E VARIÁVEIS OBTIDAS DURANTE APLICAÇÃO DO MODELO ISO. DADOS UTILIZADOS NA MODELAGEM MATEMÁTICA.....	32
TABELA 13 – RESULTADO DA APLICAÇÃO O CBA <sub>SUSTENTÁVEL</sub> NO ESTUDO DE CASO CONSIDERADO. ....	34
TABELA 14 - ORÇAMENTOS ALCANÇADOS EM CADA VISÃO DO CBA.....	35
TABELA 15 - RESULTADOS DOS CBA EM UNIDADES. OBTIDOS ATRAVÉS DA PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA DISPOSTOS PARA COMPARAÇÃO.....	36

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE ADAPTADO DE (GIDDINGS; HOPWOOD; O'BRIEN, 2002) .....	5
FIGURA 2 - PIRÂMIDE INVERTIDA QUE REPRESENTA AS ETAPAS DO MODELO CONCEITUAL ISO. FONTE: (COSCIEME ET AL., .....	6
FIGURA 3 - DETALHAMENTO DA ALOCAÇÃO DO CBA. FONTE TSAI ET AL (2012). ....	7
FIGURA 4 - DIAGRAMA DE ENERGIA DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO. A DESCRIÇÃO DOS SÍMBOLOS PODE SER VISUALIZADA NO ANEXO 1. FONTE ODUM (1996) .....	9
FIGURA 5 - EXEMPLO DE UMA CADEIA DE PRODUÇÃO REPRESENTANDO AS ETAPAS CONSIDERADAS NA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA REALIZADA DO BERÇO AO TÚMULO. ....	11
FIGURA 6 - REPRESENTAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MODELO ISO E AS UNIDADES UTILIZADAS EM CADA ETAPA PARA FORMULAR AS EQUAÇÕES NA MODELAGEM MATEMÁTICA .....	15
FIGURA 7 - ETAPAS DO PROCEDIMENTO PARA DEFINIÇÃO DO MIX DE PRODUTOS COM ASPECTOS AMBIENTAIS. ....	16
FIGURA 8 - EXEMPLO DE CBA EMERGIA APLICADO A UM SISTEMA GENÉRICO. R = RECURSOS EXTERNOS. FONTE: MARINHO NETO ET. AL. (2018).....	17
FIGURA 9 - VARIÁVEIS UTILIZADAS NA MODELAGEM PARA OBTENÇÃO DO CBA SUSTENTÁVEL .....	20
FIGURA 10 - REPRESENTAÇÃO DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO RETIRADOS DO TRABALHO DE REZAIE; OSTADI; TORABI (2008);.....	21
FIGURA 11 - DIAGRAMA DE ENERGIA DO SISTEMA DE PRODUÇÃO UTILIZADO NESTE TRABALHO. “VETOR” SIGNIFICA A PORCENTAGEM UTILIZADA PARA ALOCAR A EMERGIA TOTAL, CUJOS VALORES SÃO APRESENTADOS NA TABELA 5 .....	24

## SUMÁRIO

---

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo Geral	4
1.2. Objetivos Específicos	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Sustentabilidade: definição, conceitos e modelos	4
2.2. Custo Baseado em Atividades (CBA)	7
2.3. Contabilidade ambiental em energia	8
2.4. Avaliação do Ciclo de Vida	11
2.5. Alterações no CBA	12
3. PROPOSTA DE PROCEDIMENTO	15
3.1. Entrada: custo baseado em atividades com direcionadores em energia (CBA <sub>energia</sub> )	16
3.2. Estado: custo baseado em atividades tradicional, com direcionadores econômicos (CBA <sub>\$</sub> )	18
3.3. Saída: custo baseado em atividades com direcionadores em emissões de CO <sub>2</sub> (CBA <sub>emissões</sub> )	18
3.4. Modelagem utilizada na programação por metas	19
4. APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO EM UM ESTUDO DE CASO	21
4.1. Descrição do estudo de caso	21
4.2. Aplicação do CBA <sub>energia</sub>	23
4.3. Aplicação do CBA <sub>\$</sub>	27
4.4. Aplicação do CBA <sub>emissões</sub>	28
4.5. Aplicação do CBA <sub>sustentável</sub>	31
5. CONCLUSÕES	37
6. PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS	38
7. REFERÊNCIAS	39
8. ADENDOS	43
8.1. Apêndice 1. Modelagem LINGO11® para obter o “mix” de produtos de acordo com os direcionadores e restrições do CBA <sub>sustentável</sub>	43
8.2. Anexo 1. Símbolos utilizados para elaborar diagramas de energia	46
8.3. Anexo 2. Tabela Custo Tradicional	47

## 1. INTRODUÇÃO

---

**“A liberdade nos bens comuns traz a ruína a todos”**

(HARDIN, 1968, p.1244, tradução nossa).

Esta declaração representa, desde os anos 60, as preocupações sobre os limites do crescimento humano, reconhecendo que os seres humanos vivem em um planeta finito com disponibilidade limitada de recursos (Meadows et al., 1972; 2004). De acordo com Franz e Campbell (2005), a ética ecológica representada pela “responsabilidade sobre a vida” pode ser exemplificada como: (i) a vida humana é dependente do sistema de suporte à vida; (ii) nós deveríamos proteger a vida humana e; (iii) assim, não deveríamos fazer nada que colocasse em perigo o sistema de suporte à vida. Franz (2001) afirma que a “responsabilidade sobre a vida” é apoiada pela obrigação do homem em proteger o sistema de suporte à vida, ou seja, uma ética de cuidados ecológicos. Os avanços para entender a relação entre o ser humano e a natureza foram realizados com maior intensidade durante os últimos cinquenta anos. Entre outros especialistas, Odum (1996) argumenta que o capital natural e os serviços do ecossistema são a verdadeira fonte de riqueza, apesar da crença comum de que trabalho humano e dinheiro representassem essa riqueza.

Embora análises baseadas em aspectos sociais e econômicos sejam consideradas importantes para determinados objetivos, as análises baseadas em variáveis biofísicas merecem certo destaque porque conseguem incorporar ou contabilizar fluxos que as métricas socioeconômicas tradicionais não conseguem. Adicionalmente, estas métricas não consideram que o planeta possui restrições físicas de disponibilidade de recursos para o crescimento (ativos e estilo de vida) da sociedade (Schumacher, 1973). Nesse sentido, diagnósticos de sistemas de produção através da obtenção de indicadores de sustentabilidade em bases biofísicas (por exemplo, avaliação do ciclo de vida (ISO 14000, 2006; ISO 14044, 2006), contabilidade ambiental em emergia (Odum, 1996) e pegada ecológica (WACKERNAGEL e REES, 1996) devem ser considerados importantes para apoiar a decisões rumo à uma sociedade sustentável. Embora reconhecidamente importantes no estudo da sustentabilidade, essas ferramentas com base biofísica ainda têm um uso prático restrito, principalmente no que diz respeito ao gerenciamento de empresas de qualquer escala. Embora perceba-se avanços na divulgação de práticas de sustentabilidade pelas empresas (por exemplo, o *global reporting initiative*, GRI), os gestores

baseiam suas decisões principalmente sob indicadores econômicos, cujo padrão dificilmente será alterado, pelo menos a curto e médio prazos.

Sustentabilidade é o conceito central que cada vez mais deve ser considerado pelos diferentes sistemas antrópicos, onde diversos aspectos devem ser trabalhados conjuntamente para alcançar o mesmo objetivo: garantir que as futuras gerações tenham condições de se desenvolverem. Recentemente, a Organização das Nações Unidas (ONU, <http://www.agenda2030.org.br/>) estabeleceu uma agenda, a Agenda 2030, fornecendo os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável e um *framework* com indicadores para serem considerados, monitorados e possibilitar que os objetivos sejam alcançados. Especificamente, os objetivos “8” (trabalho decente e crescimento econômico), “9” (indústria, inovação e infraestrutura) e “12” (consumo e produção responsáveis) estariam mais fortemente relacionados aos sistemas de produção industriais.

Avanços em busca de obter diagnóstico mais abrangentes que reconheçam a importância do capital natural estão sendo realizados pela inclusão de indicadores biofísicos nos processos de decisão de empresas. Thorton (2013), por exemplo, enfatiza a importância da “contabilidade verde” pela sugestão de incorporação da chamada obrigação da “aposentadoria de ativos” (AROs) como parte das técnicas de contabilidade. Em resumo, as AROs são uma alternativa de contabilizar a permissão que as empresas têm de funcionar em troca de ações/melhorias/recuperação do ambiente natural após seu fechamento. Com base na ideia de que emergia de um fluxo ou armazenamento é uma medida de valor, qualidade e riqueza real, a emergia pode ser considerada como uma medida adequada do capital natural. Sob essa perspectiva, Bimonte e Ulgiati (2002) propuseram uma abordagem de tributação ambiental (Envitax) como forma de quantificar e taxar as empresas que liberam resíduos acima das capacidades e/ou concentrações estabelecidas por lei. Campbell (2005; 2013) propôs uma contabilidade baseada em emergia em substituição à contabilidade tradicional. Para o autor, emergia e emdólares – uma medida monetária baseada em emergia – se adequam de forma lógica nos padrões de contabilidade financeira e poderiam fornecer subsídios a políticas públicas sobre aspectos de cobranças mais precisas de débitos aos sistemas antrópicos em busca de reconhecer o capital natural como verdadeira riqueza. De qualquer forma, mesmo existindo alguns avanços em quantificar, taxar, e até mesmo adicionar débitos ambientais dentro do tradicional padrão de contabilidade como padronizado pela *International Financial Reporting* (IFRS), a questão sobre quem irá receber e gerenciar este dinheiro recebido para ser aplicado na manutenção do capital natural ainda carece de uma apropriada resposta.

Ao invés de taxar empresas devido à sua inapropriada conduta em relação ao meio ambiente, isto é, agindo depois do problema ocorrer - uma ação usualmente gerida por agentes

externos à empresa como órgãos de fiscalização - uma promissora alternativa para evitar essa conduta seria, talvez, a inclusão de variáveis de sustentabilidade nas ferramentas de gestão consideradas pela própria empresa. Entre outras, o Custo Baseado em Atividades (CBA; Cooper e Kaplan, 1988) aparece como a mais promissora uma vez que esta ferramenta de gestão é aceita e amplamente utilizada pelas empresas no mundo. O CBA é um método utilizado internamente pelas empresas e útil para criar cenários em simulação (Saraiva Júnior, 2010) considerando o custo do produto, o volume de produção e a diversificação de produtos, fornecendo subsídios para decisões quanto ao aumento de lucro de uma empresa. É importante enfatizar que o CBA não está diretamente relacionado à planilha contábil da empresa, assim ele não está sujeito às normas contábeis internacionais e não pode ser considerado como referência para cálculo de impostos a serem pagos ao governo.

Com tudo isso, este trabalho foca na incorporação de indicadores de sustentabilidade no CBA. Esforços neste sentido foram desenvolvidos por Tsai et al. (2010; 2012; 2014), Yang (2016) e Bagliani e Artini (2012) ao integrarem os custos ambientais e o inventário de emissões ao CBA tradicional. Entretanto, em nenhuma dessas abordagens, a qualidade de energia é reconhecida como faz a contabilidade em energia, assim como apenas direcionadores são alterados e nenhuma técnica multicritério é utilizada para integrá-los. Entende-se que a energia total demandada pelos sistemas produtivos deve ser considerada como indicador da sustentabilidade, precisamente, utilizada como direcionador para alocar custos dentro do CBA.

A hipótese deste trabalho é de que o procedimento proposto para um novo entendimento e uso do CBA resultaria em decisões otimizadas da direção de um balanço entre o desempenho econômico ambiental de empresas.

## **1.1. Objetivo Geral**

Propor e aplicar um método que integre aspectos de sustentabilidade no custeio baseado em atividades (CBA) tradicionais visando subsidiar decisões baseadas em variáveis econômicas e financeiras.

## **1.2. Objetivos Específicos**

- a) Caracterizar a estrutura e uso do CBA tradicional baseado em aspectos econômicos.
- b) Propor o uso de fluxos em energia como direcionadores do CBA.
- c) Propor um CBA que integre aspectos financeiros e ambientais (chamado CBA<sub>sustentável</sub>) e aplicá-lo em um estudo de caso.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

---

### **2.1. Sustentabilidade: definição, conceitos e modelos**

Segundo a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, ou *World Commission on Environment and Development* (WECD), define-se como desenvolvimento sustentável (DS) o desenvolvimento que atende às necessidades a geração presente sem comprometer o alcance as necessidades das futuras gerações. Esta definição é oriunda da Comissão Brundtland pelo relatório Nossa Futuro Comum (*Our Common Future*) em 1987 (BRUNDTLAND, 1987) e não deixa claro como deve ser sua abrangência ou escopo. No entanto, Pope (2007) direciona este termo - desenvolvimento sustentável - para uma estrutura que leva em consideração aspectos ambientais, econômicos e sociais, na qual têm estes a mesma importância em um processo decisório. Outros estudos utilizam a definição de sustentabilidade para descrever métricas e como executar avaliações de sustentabilidade em projetos nas regiões de Perth na Austrália (POPE, 2007) e no Canadá (GIBSON, 2006).

Para explicar o conceito de sustentabilidade foi utilizada a ilustração do *Triple Bottom-Line* (TBL) como um modelo, para exemplificar as dimensões ambiental, social e econômica que deveriam ser levadas em consideração pelo tomador de decisão. No entanto, ao mesmo tempo em que este modelo apresenta uma maneira de identificar as três dimensões ele é reducionista e

segmentário por não explicar qual dimensão estaria prevalecendo entre as outras ou qual aspecto da dimensão (POPE; ANNANDALE; MORRISON-SAUNDERS, 2004 e GIBSON, 2006). Na tentativa de encontrar um modelo que melhor exemplificasse o conceito de sustentabilidade foi adicionada mais uma dimensão ao TBL, a felicidade. Este novo modelo foi denominado *Quadruple Bottom Line* (QBL). O autor Fonseca (2015) ainda enumera que Aristóteles, Filósofo grego 384-322 AC, já defendia a felicidade como sendo o principal objetivo e virtude para o propósito da vida.

Giddings; Hopwood e O'brien (2002) criticam em seu trabalho a forma com que o TBL é descrito e estabelece que os círculos simétricos do TBL não representam a importância devida de cada setor, nem definem que peso cada um deve ter. Acrescentam que o modelo deveria estar descrito com círculos sobrepostos onde a economia está contida no conjunto sociedade, que por sua vez está contido no meio ambiente, Figura 1. Sendo assim, uma maneira mais adequada de representar o conceito de desenvolvimento sustentável na qual a sociedade e a economia só existem dentro do meio de ambiente.

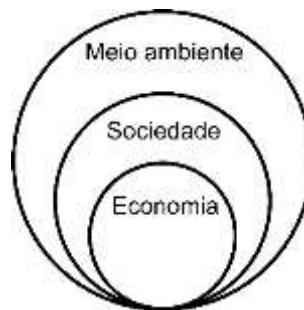


Figura 1- Conceito de Sustentabilidade adaptado de (GIDDINGS; HOPWOOD; O'BRIEN, 2002)

O conceito de sustentabilidade como defende Neri et al. (2017) foi levado para empresas onde se desenvolveram novos termos para contextualizar a sua aplicação. Os termos são sustentabilidade corporativa (SC), sustentabilidade industrial (SI) e sustentabilidade na manufatura (SM). De acordo com a literatura (Lozano, 2013), a SC está relacionada à estratégia, o SM está relacionado ao sistema de produção (TAYLOR; GARETTI; TAISCH, 2012), enquanto SI refere-se a planta industrial e necessita de ações envolvendo materiais, produtos, processos, plantas e sistemas de produção (TONELLI; EVANS; TATICCHI, 2013). Ainda assim, através dos conceitos de SC, SI e SM, Neri et al. (2017), realizaram um levantamento literário em que se constatou a existência de aspectos de sustentabilidade para as áreas de saúde e segurança ocupacional, ecoeficiência e eficiência energética. Neste estudo ainda o autor propõe novos aspectos e fórmulas para mensurar o SC, SI e o SM para todas as áreas industriais e aplica esta estrutura em nove empresas.

De acordo com Trianni; Cagno e Neri (2017) existe a necessidade de elencar e descrever o que se precisa mensurar para que não ocorra uma falsa interpretação do que se está avaliando.

Fizeram isto através da ferramenta *Industrial Sustentável Measures* (ISM). Além disso, ressaltaram a necessidade de realizar comparações mais justas e baseadas em práticas que influenciam na sustentabilidade industrial por meio das atividades: eficiência energética, produção mais limpa, ecoeficiência, saúde e segurança ocupacional. Tonelli, Evans e Tatihhi (2013) incluem também as ações de prevenção de poluição.

O trabalho de Pulselli et al., (2015) explica que o modelo conceitual “Entrada-Estado-Saída” (*Input-State-Output*, ISO) de sustentabilidade é retratado como uma pirâmide inclinada na qual se pode representar as trocas que ocorrem entre as fases da pirâmide que respeitam a lógica, a física, a relação, e a ordem termodinâmica como ilustrado na Figura 2. Deste modo, é possível estabelecer as fases Entrada, Estado e Saída, como indicadores de cada fase. Como aplicação deste estudo foi realizada a análise de países com dados oriundos do *World Development Indicators* (WDI) de 2008 no qual se retiraram os indicadores Gini para o estado e o GDP para a saída e acrescentando da literatura a emergia *per capita* de cada país como entrada. Dessa forma, é possível realizar comparações por meio de análises de grupo, *clusters*. O modelo conceitual ISO influenciou Bastianoni; Coscieme e Pulselli (2016) a aplicar em seu trabalho a *entrada* como o fluxo em emergia necessário para suportar o crescimento do GDP em diferentes países.

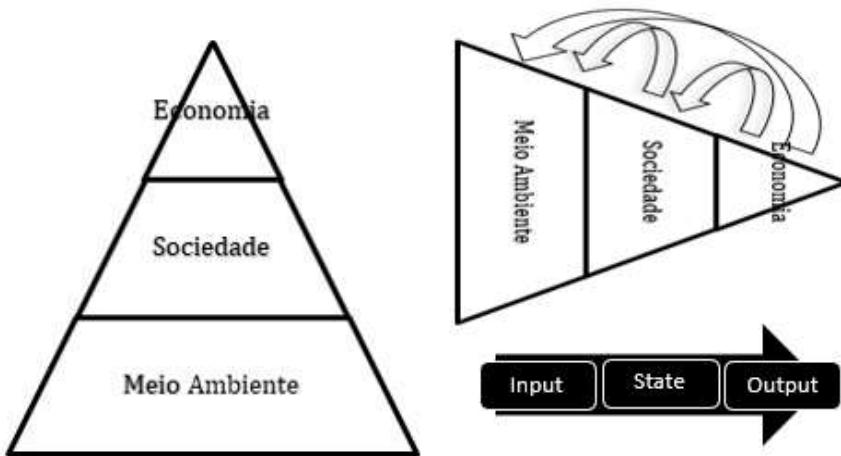


Figura 2 - Pirâmide invertida representando as etapas do modelo conceitual ISSO. (COSCIEME et. al., 2013)

Este trabalho utiliza o modelo conceitual de sustentabilidade, *Entrada-Estado-Saída* (ISO), proposto por Pulselli; Coscieme e Bastianoni (2011), no qual há três dimensões representadas por seus limites, relações e unidades de medida. A *entrada* representada em seu modelo por emergia, representa o fluxo de entrada, a matéria, o serviço ambiental prestado para o seguinte setor, o *estado* medido em eco-exergy em que existem interações. Este, por sua vez gera a *saída* que deste sistema são os serviços ambientais oferecidos. A representação serve para exemplificar a funcionalidade de um sistema ecossistêmico. Apresenta as direções dos fluxos de matéria e quantifica uma entrada e uma saída, tornando possível avaliar a eficiência dos sistemas.

## 2.2. Custeio Baseado em Atividades (CBA)

Custos, segundo Martins (2003), é um gasto que ocorre na compra de um produto ou serviço qualquer, que gera sacrifício financeiro e desembolso para a entidade. Tal gasto influencia diretamente a rentabilidade dos produtos (TSAI et. al., 2008). Os sistemas de custos tradicionais alocam os custos de forma igualitária, isto é, os custos totais são distribuídos igualmente pelo total de produtos independentemente de sua energia incorporada, material, ou complexidade de processo. Esta abordagem normalmente resulta na falta de informação detalhada para suportar um melhor gerenciamento, o que afeta decisões relativas: quantidade de produtos produzidos, estratégia de vendas e margem de lucro por produto (PONISCIAKOVA; GOGOLOVA; INVANKOVA, 2015).

Os custos são classificados em relação ao produto como diretos ou indiretos. O custo direto é aquele que pode ser apropriado integralmente ao produto e o indireto necessita de uma base de alocação antes de ser incorporado ao produto (RIBEIRO, 2013).

Na tentativa de reduzir as distorções de alocações de custos, Cooper e Kaplan (1988) desenvolveram o sistema de custeio baseado em atividades (CBA). O modelo CBA aloca todos os custos indiretos da empresa aos produtos através de uma abordagem diferente em relação aos sistemas tradicionais de contabilidade de custos. Para isso, o CBA utiliza direcionadores de alocação de custos em duas etapas de acordo com a Figura 3, onde: (i) os custos são alocados para as atividades por meio de direcionadores de recursos e (ii) as atividades são alocadas aos produtos por meio de direcionadores de custo.

O trabalho de Kaplan e Anderson (2007) enumeram as vantagens do CBA: (1) identificação precisa dos custos aos produtos, especificamente Custos Indiretos (CI); (2) informação mais precisa sobre o valor agregado e não valor agregado dos custos pela identificação dos direcionadores de custos; (3) direta alocação dos custos para os processos que consomem os recursos; (4) identificação das etapas que não agregam valor ao produto.

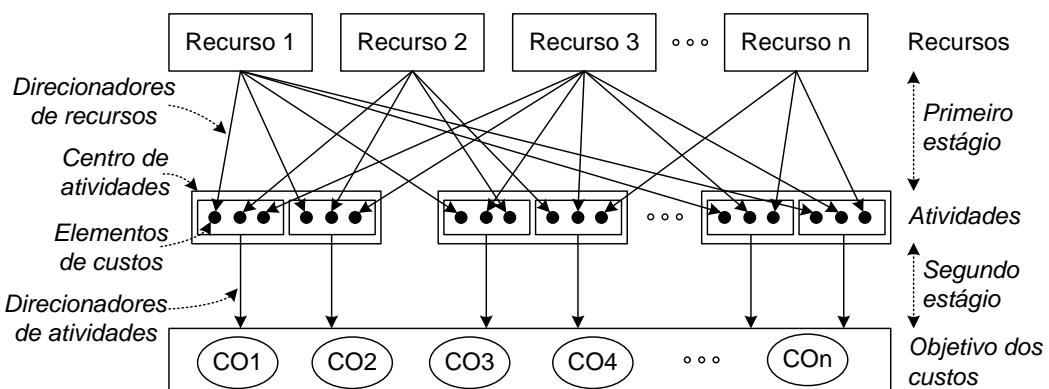


Figura 3 - Detalhamento da alocação do CBA. Fonte: Tsai et al. (2012).

Para obter um CBA efetivo se torna importante a utilização de direcionadores de custos que tenham uma relação causal com atividade e o produto, quanto mais forte for a relação causal mais precisos serão os resultados, o que dará suporte a uma decisão melhor baseada (COOPER; KAPLAN, 1988). Os direcionadores de custos mais tradicionais utilizados no CBA estão relacionados a: tempo de produção, potência de máquina, área ocupada e horas de trabalho. Eles ajudam a entender qual produto deverá ser eliminado, que material deverá ser trocado e que processo deverá ser modificado para trazer mais lucratividade para empresa. Ellis-Newman e Robinson (1998) argumentam que o CBA apoia os tomadores de decisão para melhorar ou eliminar todas as atividades menos eficientes da empresa, resultando em um aumento de eficiência e lucratividade.

### **2.3. Contabilidade ambiental em emergia**

A contabilidade ambiental em emergia é um método proposto por Odum (1996) capaz de quantificar toda energia utilizada direta e indiretamente para obtenção de um bem ou serviço. A emergia solar de um produto é a energia solar necessária para a obtenção deste produto, expressa em unidades de emergia solar (ODUM, 1996). Assim, a emergia é representada como Solar Energy Joule (sej). Além disso, Odum criou esquemas gráficos para representar cada particularidade de sua teoria. A Tabela de energia no Anexo 1 ilustra os significados de cada símbolo e suas utilizações. O diagrama revela sua importância ao estabelecer os limites do sistema que influenciam e que se quer avaliar.

Este método permite distinguir, entre os recursos utilizados, quais são renováveis (R), não-renováveis (N), humanos (S) e materiais (M). Torna-se possível classificar estes recursos em: recursos da natureza (I) representado pelos recursos R + N e os recursos econômicos (F), representados por S + M (ODUM, 1996), de acordo com a Figura 4. Além disso, possibilita medir a qualidade da energia, em uma cadeia hierárquica de energia no espaço e no tempo pelo Valor Unitário de Emergia (UEV).

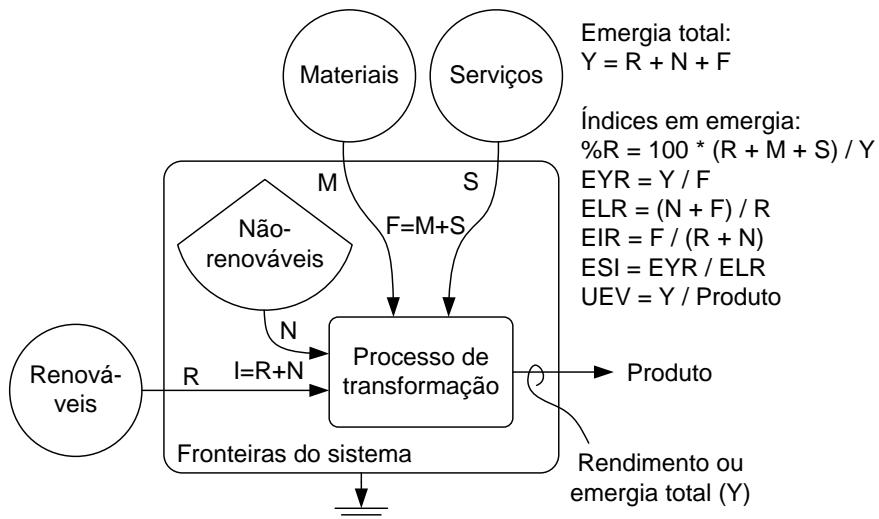


Figura 4 - Diagrama de energia de um sistema de produção. A descrição dos símbolos pode ser visualizada no Anexo 1. Fonte Odum (1996)

O Valor Unitário de Energia (UEV em inglês, *Unit Energy Values*), calculado com base na emergia necessária para gerar uma unidade de saída, é o indicador capaz de medir a intensidade de emergia (BROWN; RAUGEI; UGLIATI, 2012). A transformidade (sej/J) é um tipo de UEV, assim como a emergia por unidade de massa gerada na produção (sej/g), a emergia por unidade de produto econômico (sej/\$) e a emergia por unidade de trabalho diretamente utilizada no processo (sej/h ou seja\$/h) (BROWN; UGLIATI, 2004). A classificação dos recursos em uma única unidade o seja, permite que se estabeleçam os seguintes índices:

*Energy Yield Ratio(EYR)*: é a emergia do fluxo de saída Y (produto, processo ou produto) dividida pela soma das energias do fluxo de emergia proveniente da economia (F). É um indicador de retorno de energia sobre o investimento realizado (energia líquida do sistema)  $EYR = Y/F$  ou  $(R+N+F)/F$ .

*Environmental Investment Ratio (EIR)*: composto pela razão entre a emergia do fluxo F e os fluxos de emergia provenientes do ambiente, N e R. Um índice baixo indica que o ambiente provê mais recursos para o processo que a economia (materiais e serviços)  $EIR = F/(N+R)$ .

*Environmental Loading Ratio (ELR)*: indica a razão entre os fluxos de investimento econômico e de recursos não renováveis e a emergia associada ao fluxo de recursos renováveis. Avalia o stress imposto ao ambiente, quanto menor o valor, menor o stress causado.  $ELR = (N + F) / R$

*Sustainability Index(ESI)*: agrupa o rendimento energético e a carga ambiental. Maior será a sustentabilidade de um sistema com alto rendimento em emergia e baixa carga ambiental  $ESI = EYR / ELR$ .

Percentual de recursos renováveis %R: indica a porcentagem de fluxo de energia que é proveniente de fontes renováveis. Sistemas com alto valor deste índice são mais sustentáveis ( $R/Y \times 100\%$ ).

Emergia vem sendo aplicada como métrica para permitir avaliar diferentes sistemas, assim como realizado por Agostinho et. al., (2008), ao comparar o sistema de produção mais sustentável entre três pequenas propriedades rurais, onde uma delas aplicava conceitos de agroecológica no cultivo, enquanto as demais utilizam os conceitos tradicionais de cultivo, utilizando produto químicos. Aplicou-se os conceitos de emergia por Agostinho et. al., (2013) para avaliar qual o melhor direcionamento para o lixo sólido urbano da cidade de São Paulo. Comparou-se as Plantas de Coleta e Seleção de Tratamento de Resíduos (PCSTR) e os Aterros Sanitários, sugerindo que as Plantas de Seleção e Tratamento de Resíduos devem receber incentivos políticos e as cidades deveriam melhorar a sua coleta seletiva para diminuir o volume de resíduos depositados nos Aterros Sanitário, para uma futura redução destes Aterros. Agostinho, Ambrósio e Ortega (2010) aplicaram a contabilidade em emergia aliada a um Sistema de Informação Geográfico para medir o desempenho ambiental das bacias de Mogi-Guaçu e Pardo e realizadas no ambiente entre as bacias, as áreas urbanas e a produção agrícola. Aplicou-se emergia para avaliar o tamanho de parques urbanos e o serviço ambiental que oferecem aos centros urbanos aos quais pertencem, neste caso os serviços ambientais foram avaliados utilizando emergia (ALMEIDA et al., 2018). No trabalho de Di Agustini et al. (2018) comparou-se empresas de água rotuladas como sustentáveis ambientalmente pela BM&FBOVESPA, com os indicadores da contabilidade de emergia EYR, ELR e SI. Avaliou-se também, utilizando a contabilidade em emergia a eficiência ecológica de Centro de Dados Remotos e a utilização de Máquinas Virtuais (Di Salvo et. al., 2017).

A contabilidade ambiental em emergia segue cinco regras definidas por (Brown, 2015, p. 273): Regra 1 – Emergia é a energia disponível (exergy) que é usada nas transformações direta e indiretamente para fazer um produto ou serviço; Regra 2 – Em processos que contenham somente uma saída, toda a emergia é carregada pelos processos de saída; Regra 3 (Split) – Quando um caminho do processo se divide é atribuído a cada ramo uma porcentagem do total de fluxo de energia disponível ou massa, no caminho antes da divisão; Regra 4 – Em processos que contenham dois ou mais co-produtos toda emergia disponível na entrada é carregada por cada co-produto; Regra 5 – Dentro de um sistema a emergia não pode ser contada duas vezes (a) os feedback não podem ser contadas duas vezes; (b) co-produtos quando reunidos não podem ter um valor maior que a fonte que os gerou. Estas regras são diferentes de métricas já conhecidas e utilizadas como análise de emergia, balanços de material e energia.

## 2.4. Avaliação do Ciclo de Vida

Avaliação de ciclo de vida (ACV) tornou-se uma ferramenta bem conhecida e amplamente aplicada nos meios acadêmico e industrial para a pesquisa e desenvolvimento de produtos (AGYEKUM; FORTUIN; VAN DER HARST, 2017) definida pela Sociedade de Toxicologia Ambiental e Química (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry - SETAC*) como uma ferramenta utilizada para avaliar a carga ambiental, associados aos produtos, processos ou atividades. Essa ferramenta identifica e quantifica a energia e os materiais utilizados e a matéria liberada para o meio ambiente, avaliando e implementando as oportunidades para melhorias ambientais (BARTON, 1996).

ACV é baseada na *International Standardization Organization* (ISO) que divulga as normas da série 14040 e está traduzida também para a Associação Brasileira de Normas Técnicas. Na norma ISO a ACV é definida em quatro fases: 1) definição de objetivo e escopo; 2) análise do inventário; 3) avaliação do impacto e 4) interpretação. A primeira fase define o propósito do estudo e como será medido, além de sua aplicação metodológica, a definição do produto, e os limites do sistema do produto em questão. Na segunda fase examina-se o processo no sistema do produto e quantificam-se para cada processo seus dados de entradas e saídas, isto é, os dados do inventário. Estes dados incluem todos os recursos naturais extraídos do meio ambiente que entram no processo, bem como as emissões de gases que influenciam no efeito estufa e os materiais liberados de volta no meio ambiente. A terceira etapa, avaliação do impacto, categoriza os dados do impacto ambiental em uma ou mais categorias de impacto. Na última fase avalia os resultados das fases anteriores de acordo com o objetivo do estudo e elabora conclusões e ou recomendações.

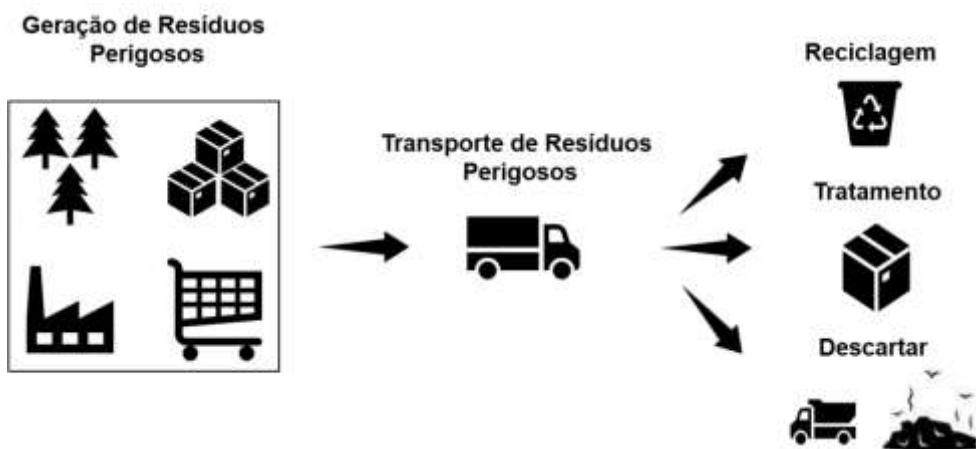


Figura 5 - Exemplo de uma cadeia de produção representando as etapas consideradas na avaliação do ciclo de vida realizada do berço ao túmulo. Fonte: <https://www.epa.gov/learn-basics-hazardous-waste>

O inventário de ciclo de vida obtido na segunda etapa descreve o sistema de produção e quantifica todos os fluxos de emissões para o meio ambiente como também todos os fluxos de recursos consumidos. A avaliação do impacto utiliza Fatores de Caracterização simbolizados em impactos ambientais como mudança climática, depreciação dos recursos, acidificação, radiação ionizante ou toxicidade humana (ESNOUF et al., 2018). Existem bancos de dados disponíveis que armazenam as informações obtidas em ACV que podem ser utilizados para comparações ou para disponibilizar informações já coletadas a fim de que as novas avaliações sejam mais completas. Um destes bancos é o Ecoinvent®, patrocinado e desenvolvido por pesquisadores do governo suíço, que guarda e processa mais de 2500 estudos de casos (FRISCHKNECHT; REBITZER, 2005).

A Avaliação de Ciclo de Vida tem diversas aplicações. Alguns autores a direcionam para seus objetivos específicos, por exemplo: como reduzir os impactos no meio ambiente, para realizar escolhas entre tipos de construções, processos e materiais capazes de mitigar as quantidades de CO<sub>2</sub> que compõe parte dos gases do efeito estufa, a fim de escolher entre projetos que fossem mais benéficos para o meio ambiente (TSAI et al., 2014). Agyekum; Fotuin e Van Der Harst (2017) compararam os materiais alumínio, ferro e bambu para a fabricação de bicicletas em Ghana, utilizando a ferramenta de Avaliação de Ciclo de Vida e apresentaram os impactos ambientais e sociais causados a partir da utilização de cada material. Koroneos e Nanaki (2012) aplicaram a Avaliação de Ciclo de Vida associada com sua viabilidade econômica, a fim de estabelecer qual estrutura de aquecimento de água por energia solar é mais viável e emite menos poluente. Garcia-Perez; Sierra-Perez e Boschnart-Rives (2018) avaliaram qual é a melhor forma de reduzir o consumo de energia em prédios, utilizando a adequação das estruturas de conforto térmico para novas estruturas e utilizaram especificações mais modernas e aplicações acessíveis na área urbana de Barcelona. Iglesias et al. (2012) avaliaram uma forma de produção de biodiesel com um menor impacto no ambiente. Foi proposta uma quantidade maior de plantas de beneficiamento ao invés de somente uma centralizada. Além da matéria prima utilizada não ser convencional como o óleo de cozinha já utilizado que iria para o lixo. Esta conclusão foi proposta a partir da ACV em conjunto com um CBA modificado que utilizava o Potencial de Aquecimento Global dos produtos como direcionadores de custos.

## 2.5. Alterações no CBA

O custeio baseado em atividades ao longo de sua utilização sofreu modificações para que se adequasse às empresas de diferentes tipos e que estivesse alinhado com seus objetivos estratégicos. A Tabela 1 apresenta trabalhos que aplicaram o CBA modificado de acordo com as características de cada empresa.

Tabela 1 - Propostas sobre alterações no procedimento tradicional de custeio baseado em atividades

Autor	Ano	Alterações
EPA	1993	Sugere como alocar os custos aos produtos utilizando o CBA modificado dos setores que desenvolvem atividades ambientais como tratamento de efluentes e reciclagem
EPA	1995	Disponibiliza para pesquisa um estudo de caso aplicado na AT&T em que os direcionadores de custos que utilizam normalmente fatores econômicos são substituídos por fatores como quantidade de lixo reciclado e quantidade de água tratada
Schulze et al.	2012	Propõem um CBA em que os direcionadores de custos estão relacionados à redução dos desperdícios e utilização de matérias primas e insumos relacionados a embalagens com caixa e materiais plásticos. Propõe-se uma gestão por processos e até o redesenho de processos buscando a melhoria destes resultados e indiretamente melhorando a utilização de recursos naturais
Bagliani e Martini	2012	Desenvolveram uma metodologia para medir as pressões ambientais associadas à produção, por meio de técnicas de contabilidade de custos e da Pegada Ecológica. Utilizou como técnica de contabilidade de custos o CBA modificado com direcionadores de custos relacionados a pegada ecológica, para decidir qual forma de produção e produto forneceriam um menor impacto ao meio ambiente
Tsai et al.	2012	Utilizaram as emissões restritivas da União Europeia nos planos de voos de aeronaves: 1) nos sistemas de custeio, ao utilizarem Potencial de Aquecimento Global como direcionadores de custos, 2) nas avaliações multicritério, ao colocarem como restrições a quantidade de emissões em potencial de aquecimento global. Estas aplicações auxiliam ao tomador de decisão no direcionamento baseado em aspectos ambientais e financeiros.
Tsai et al.	2014	Utilizaram o CBA modificado com direcionadores de custos relacionados às emissões de CO <sub>2</sub> e aos resíduos deixados pelos produtos. Neste trabalho, o CBA modificado foi utilizado juntamente com uma ferramenta multicritério para fornecer ao gestor dados para que sua decisão fosse a que tivesse o menor impacto ambiental, a que trouxesse o maior lucro e o maior retorno social.
Carreras et al.	2016	Aplicaram o CBA que utilizou o custo de carbono como direcionador de custos em uma empresa produtora de papel. Utilizaram os custos ambientais direcionando os produtos de acordo com seu impacto ao meio ambiente e propondo uma forma de reduzir os impactos ambientais ao longo do tempo.
Yang; Lee e Chen	2016	Aplicaram o CBA modificado junto aos direcionadores de custos relacionados com a biocapacidade e avaliaram quais projetos poderiam fornecer um menor impacto ao meio ambiente. Aplicaram também uma ferramenta multicritério para apoiar a tomada de decisão baseada nas restrições destas emissões, a fim de escolher qual projeto apresentaria um menor impacto.
Marinho Neto et al.	2018	Aplicaram um CBA modificado com direcionadores em emergia e compararam os custos unitários obtidos com os custos do CBA tradicional, a fim de avaliar qual etapa do processo de produção pode ser melhorada e considerando não somente os fatores econômicos, mas também a utilização dos recursos em emergia

Nos trabalhos apresentados na Tabela 1 foram alterados os direcionadores de custos convencionais para aplicar direcionadores diferentes como emissões de CO<sub>2</sub>, como foi realizado por Tsai et al. (2014). As realizações ficaram por conta da troca de direcionadores de custos e normalmente utilizando o CBA tradicional e o modificado. Yang, Lee e Chen (2016) adicionam além dos CBA modificado uma ferramenta para tomada de decisão a fim de escolher qual projeto apresentaria um menor impacto ao meio ambiente medidos em gases potenciais do efeito estufa.

A partir destes trabalhos permitiu-se acrescentar mais um CBA modificado para definição de um método para aplicação em empresas, onde utilizou-se os direcionadores de custos em emergia (sej/ano), utiliza-se também o CBA tradicional, o CBA em emissões, como os trabalhos citados na Tabela 1, além de utilizar uma ferramenta multicritério para auxiliar na tomada de decisão. Este trabalho, por utilizar-se ao mesmo tempo de três CBA modificados e programação por metas, apresenta uma inovação entre os demais, além de apresentar um avanço científico.

### 3. PROPOSTA DE PROCEDIMENTO

---

Utiliza-se neste trabalho o modelo conceitual de sustentabilidade entrada-estado-saída - ISO para estabelecer as etapas do método representadas pela Figura 6. A entrada representada pelo CBA emergia utiliza-se dos direcionadores de custos em emergia quantificados na unidade seja que representam os esforços que a natureza realizou para disponibilizar os recursos para manufatura do produto. O estado representado pelo CBA tradicional utiliza-se de direcionadores de custos ligados a fatores monetários, representando quanto em dinheiro é necessário para obtenção dos produtos. A saída representada pelo CBA emissões é quantificado em  $\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ , tornando possível enxergar qual produto ou atividade da empresa emite mais gases do potencial de aquecimento global.

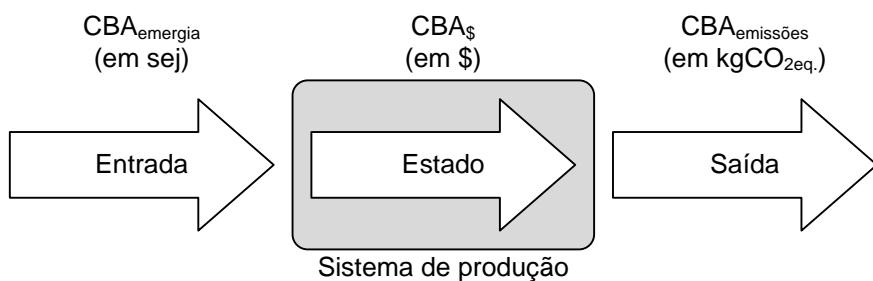


Figura 6 - Representação da aplicação do modelo ISO e as unidades utilizadas em cada etapa para formular as equações na modelagem matemática

O modelo conceitual de sustentabilidade Entrada-Estado-Saída (ISO) utilizado neste trabalho está descrito neste capítulo em que cada tópico representa uma etapa do procedimento descrito na Figura 6. A aplicação do CBA tradicional é o Estado, mas deve-se executá-la primeiro, pois os procedimento, custos, atividades, limites do sistema serão necessários para as outras etapas, CBA emergia e CBA emissões. Realiza-se baseado nos procedimentos e limites obtidos no CBA tradicional a Contabilidade em emergia do sistema para que se possa definir a emergia disponibilizada para cada atividade e que será o novo direcionador de custo em emergia, com estes valores obtém-se por meio de programação meta a quantidade de produtos que melhor utiliza os recursos em emergia, finalizando a etapa Entrada, o CBA emergia. Para a aplicação do CBA emissões Saída, realiza-se o inventário de emissões dos recursos e atividades obtidos na CBA tradicional. Obtém-se as emissões de cada atividade e produto para então aplicar a programação por meta e obter a quantidade de produtos que melhor utiliza os recursos em emissões. Realizados os três CBAs estas informações serão as entradas para a programação por metas, na qual obtém-se a quantidade de produtos que utiliza a todos os recursos da melhor maneira, denominado de CBA sustentável.

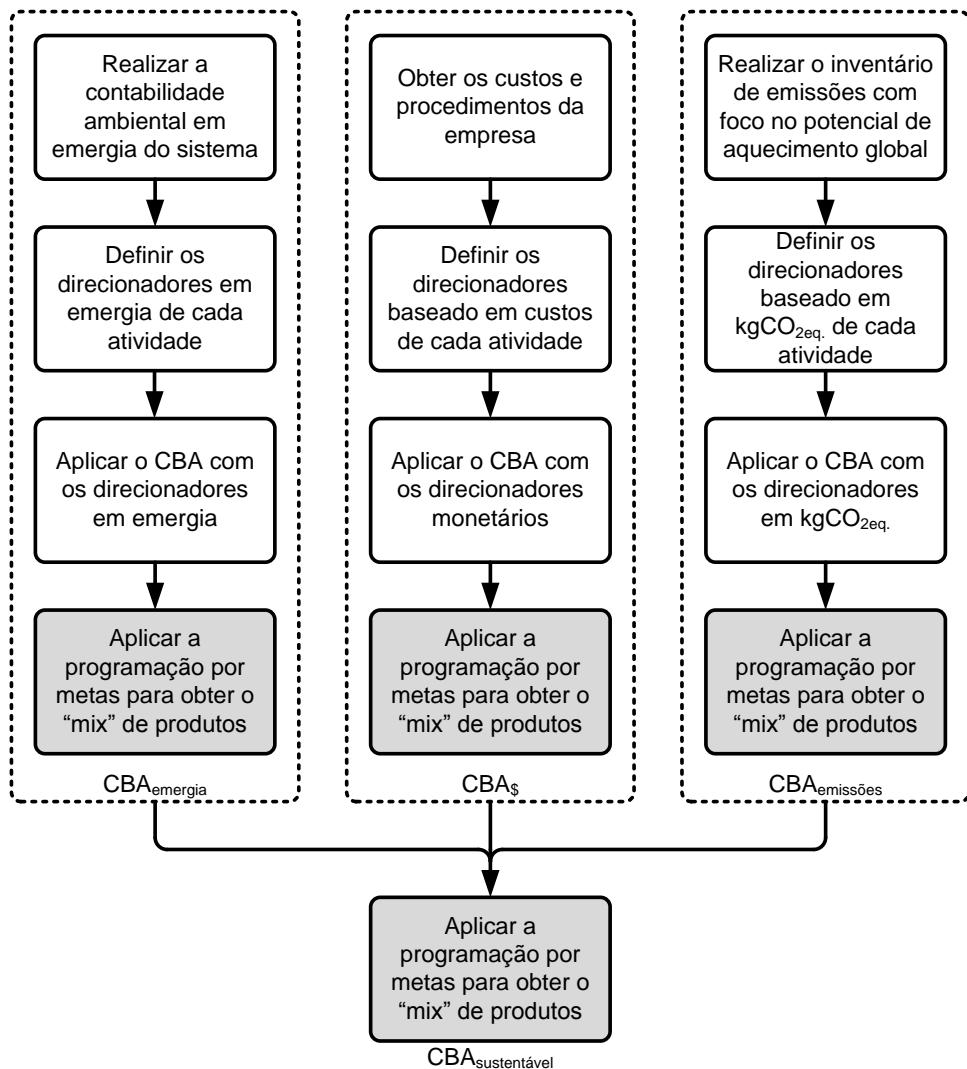


Figura 7 - Etapas do procedimento para definição do mix de produtos de acordo com os diferentes direcionadores.

### 3.1. Entrada: custeio baseado em atividades com direcionadores em emergia ( $CBA_{emergia}$ )

De acordo com a Figura 7 explicaremos neste tópico a aplicação do  $CBA_{emergia}$  para implementação do método. Neste trabalho aplicou-se o modelo ISO de sustentabilidade onde a *entrada* foi considerada a quantidade de produtos custeados pelo Custo Baseado em Atividades utilizando a emergia como direcionadores de custos, a fim de estabelecer a quantidade de produtos que melhor utiliza a quantidade de recursos em sej/ano. Abordagem similar foi utilizada por Marinho Neto et al. (2018). Os produtos com maiores aportes de custos são provenientes de uma maior utilização dos recursos em emergia. Realizou-se neste trabalho o que propõe Tsai; Lin e Chou (2010) quando em seu trabalho alocaram os custos indiretos dos setores denominados ambientais aos produtos utilizando como direcionadores de custos a quantidade dos subprodutos

(em unidades funcionais como kg ou kgCO<sub>2</sub>-eq) oriundos de sua produção, modelo também aplicado nos manuais da *Environmental Protection Agency* (EPA, 1995).

A contabilidade em energia realizada nesta etapa do trabalho serve para obter a energia dos produtos e os direcionadores de custos. No entanto, para obtenção dos direcionadores de custos a álgebra utilizada em energia não foi obedecida completamente à Regra 2. Deve-se, para obter os direcionadores de custos, considerar somente a energia adicionada a atividade não levando em consideração a energia das etapas anteriores. Esta memória estabelece que os processos a jusante são a soma dos processos a montante (ODUM, 1996). Para os direcionadores de custos de cada processo serão levados em consideração somente as entradas no determinado processo e que cumprisse uma das regras do Custo Baseado em Atividades que é a obrigatoriedade da relação de causalidade entre direcionador de custo e produto (COOPER; KAPLAN, 1988). A Figura 8 exemplifica a alteração na contabilidade em energia em que a atividade 1 utiliza 6 sej/ano enquanto, para atividade 2 utiliza 3 sej/ano. Convencionalmente quando se realiza uma contabilidade em energia a Atividade 2 seria: 6sej/ano mais 3sej/ano totalizando 9 sej/ano.

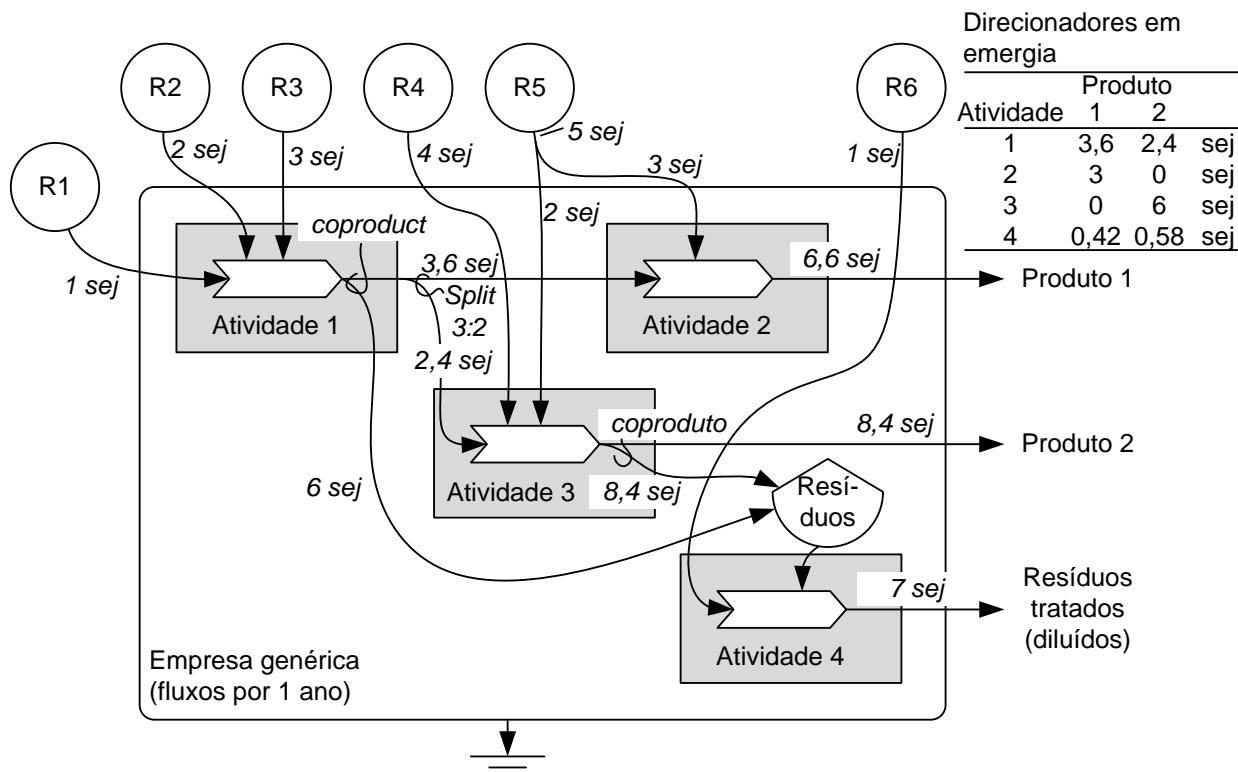


Figura 8 - Exemplo de CBA energia aplicado a um sistema genérico. R = recursos externos. Fonte: MARINHO NETO et. al. (2018).

Este CBA modificado propõe uma quantidade de produtos que satisfaz o orçamento em energia estabelecido pelos limites do sistema. Por sua vez, a quantidade de recursos em energia

deve ser utilizada como restrição para uma modelagem, a fim de propor uma melhor utilização destes recursos, como suporte para a uma decisão base na utilização dos recursos ambientais.

### **3.2. Estado: custeio baseado em atividades tradicional com direcionadores econômicos (CBA<sub>\$</sub>)**

A Figura 7 apresenta as etapas do procedimento proposto neste trabalho. Neste tópico apresentaremos as etapas para aplicação do CBA tradicional (CBA<sub>\$</sub>). Para aplicação do custeio baseado em atividades é necessário (BRUNI E FAMA, 2012): 1 - Mapear os processos e atividades; 2 - Definir os direcionadores de custos; 3 - Custear as atividades; 4 - Atribuir a atividades aos produtos. Estas etapas são seguidas da aplicação da programação por metas para definir a quantidade de produtos que melhor utiliza os recursos monetários.

O Custeio baseado em atividades possibilita que os produtos sejam custeados de uma maneira mais confiável, por utilizar os direcionadores de custos que devem ter uma relação de causa e efeito entre atividade e produto. Assim, de acordo com Martins (2008), a empresa poderá focar os esforços de produção nos produtos e serviços que melhor agregam valor e melhorar os que menos agregam. Nessa linha, segundo Nakagawa (2001, p. 69), o CBA pode ter duas visões: (i) visão de aperfeiçoamento de processos e; (ii) visão econômica de custeio.

Trabalhos foram realizados aplicando-se o Custeio Baseado em Atividades como o de Ben-Arieh (2003) que aplicou o sistema de custeio baseado em atividades como uma metodologia de estimativa de custos. Em seu trabalho definiu-se as etapas necessárias para aplicação do método e foi defendido que as formas tradicionais de estimativas de custos não são tão precisas. Anzai (2014) aplica o Custeio Baseado em Atividades em um hospital com objetivo de obter os custos envolvidos nos produtos do setor de radiologia hospitalar, e entender o impacto deste setor nos custos do hospital e ajustar os preços.

### **3.3. Saída: custeio baseado em atividades com direcionadores em emissões de CO<sub>2</sub> (CBA<sub>emissões</sub>)**

De acordo com a Figura 7 vamos apresentar as etapas do CBA emissões, Saída. Nesta etapa aplicaram-se os conceitos de avaliação de ciclo, com dados oriundos do banco de dados do Ecoinvent® para estabelecer as emissões de cada produto de forma unitária. Levou-se em consideração o potencial de aquecimento global em 100 anos em kgCO<sub>2</sub>-eq. Os processos de fabricação geram saídas como produtos e emissões (TSAL; HUNG, 2009), explicam em seu trabalho quando utiliza de direcionadores de custos medidos em quantidades como volume de

gases de efeito estufa, volume de lixo reciclado, área de solo contaminado e volume de água tratada. As decisões desta etapa serão orientadas a reduzir os impactos de emissões de gases potenciais do aquecimento global.

Posteriormente, foram modeladas as variáveis de decisão, suas unidades e fronteiras. As etapas seguidas a partir do modelo conceitual de sustentabilidade ISO servem para orientar o tomador de decisão quanto às decisões e comparações que utilizam diferentes métricas (BASTIANONI; COSCIEME; PULSELLI, 2016).

### **3.4. Modelagem utilizada na programação por metas**

A Figura 7 apresenta a programação por metas em todas os CBAs individualmente e posteriormente aplicadas sozinhas para obter o resultado em que melhor se utiliza todos os recursos obtidos nos CBAs anteriores: emergia, custos e emissões.

Programação por Metas (PM) é um ramo da otimização multi-objetivo baseado em programação linear ou não linear para resolver problemas multidimensionais e contraditórios (MARLER; ARORA, 2004). Esta PM considera os objetivos como rígidos enquanto ela pode escolher trabalhar com os objetivos conflitantes, ou como restrições leves. Proposto primeiramente por Charnes e Cooper (1977), a PM se destina a minimizar os desvios não desejáveis dos objetivos. Sendo representado através da função objetivo por (HANKS; WEIR; LUNDAY, 2017):

$$\text{Minimizar} \quad \sum_{i=1}^m d_i^+$$

$$\text{Sujeito a} \quad \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j - d_i^+ + d_i^-$$

$$Ax = b$$

A modelagem matemática é necessária para assegurar que as equações sejam representadas na forma geral. A Programação por Metas possui variações a fim de ser aplicada a diferentes problemas. São variações da PM: Programação por meta lexicográfica, Programação por meta ponderada e Programação por meta Chebyshev. A PM é uma modelagem matemática amplamente reconhecida e utilizada para suportar o processo de decisão em comunidades científicas e não científicas. Dentre exemplos da aplicação da ferramenta multicritério está a aplicação de PM para a escolha de plantas de energia renovável considerando objetivos contraditórios como aspectos sociais, financeiros e localização (ZOGRAFIDOU et al., 2017). Torna-se útil para suportar uma melhor escolha entre projetos de transporte público considerando aspectos sociais e financeiros (YANG; LEE; CHEN, 2016), além disso, para escolher entre plantas

de energia com diferentes desempenhos para os aspectos técnicos e econômicos (HUANG et al., 2017)

Esta dissertação utiliza a Programação por Metas para que o analista possa obter uma quantidade de produtos que respeite as restrições emergia, custos e emissões definidas em cada etapa do Modelo Conceitual de Sustentabilidade ISO. Estas restrições são obtidas em cada etapa do modelo conceitual de sustentabilidade ISO e compõem as variáveis de decisão que deverão compor a programação por metas. Neste trabalho observou-se a importância de inserir o lucro como uma variável para que este ficasse mais próximo da realidade de empresas, mesmo não sendo um valor real. Ainda entendemos a dificuldade de aplicar métricas financeiras que de acordo com Hernandez-Perdomo; Mun e Rocco (2017) apresentam resultados imprecisos quando se realiza um planejamento que pode interferir nas taxas como as utilizadas em Valor presente Líquido (VPL), Período de retorno (payback), e a Taxa interna de retorno.

Estes valores em emergia, dólares, emissões e unidades são os dados que integram a modelagem aqui proposta, representados pela Figura 9. Inicia-se a modelagem definindo as equações de emergia disponível para cada produto, a emergia total do sistema (*Yield*), obtidos no CBA<sub>emergia</sub>. A equação seguinte refere-se aos custos monetários CBA<sub>tradicional</sub> em que se define os custos unitários e o orçamento em custos disponível para o sistema. A terceira equação definida na etapa de saída do modelo conceitual ISO são as emissões do potencial de aquecimento global para cada produto e o orçamento em emissões obtido no CBA<sub>emissões</sub>. As equações seguintes obtidas da estão relacionadas a capacidade produtiva da empresa, quantidade mínima a ser produzido, o lucro unitário e o lucro mínimo para se manter a empresa

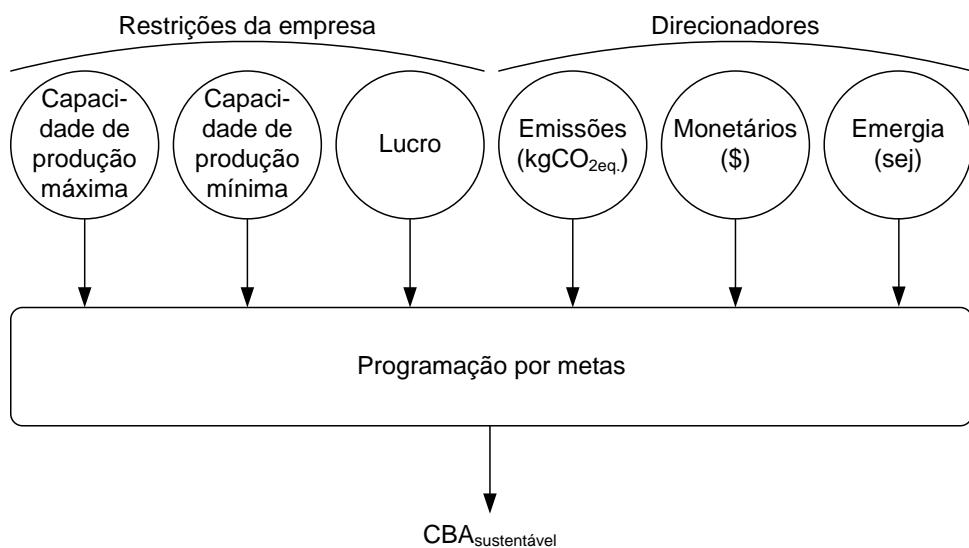


Figura 9 - Variáveis utilizadas na modelagem para obtenção do CBA sustentável

## 4. APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO EM UM ESTUDO DE CASO

---

Este capítulo apresenta a aplicação da abordagem proposta em um estudo de caso. Para melhor entendimento, após a apresentação do estudo de caso, os diferentes CBAs são apresentados individualmente e, em seguida, a abordagem multicritério programação por metas é utilizada para obter o CBA<sub>sustentável</sub>.

### 4.1. Descrição do estudo de caso

Este trabalho utilizou os dados do artigo de Rezaize; Ostadi e Torabi (2008), pois há informações que permitem a replicabilidade dos dados do Custo Baseado em Atividades, como: fluxo de processo descrito pela Figura 10 e direcionadores de custos das atividades representados na Tabela 2. Durante a revisão de literatura não foi encontrado outro trabalho que abrangesse todas as informações necessárias para enriquecer esta dissertação. Uma das dificuldades encontradas foi que em trabalhos que envolviam o CBA, não continham os procedimentos necessários levantar os dados em emergia e emissões.

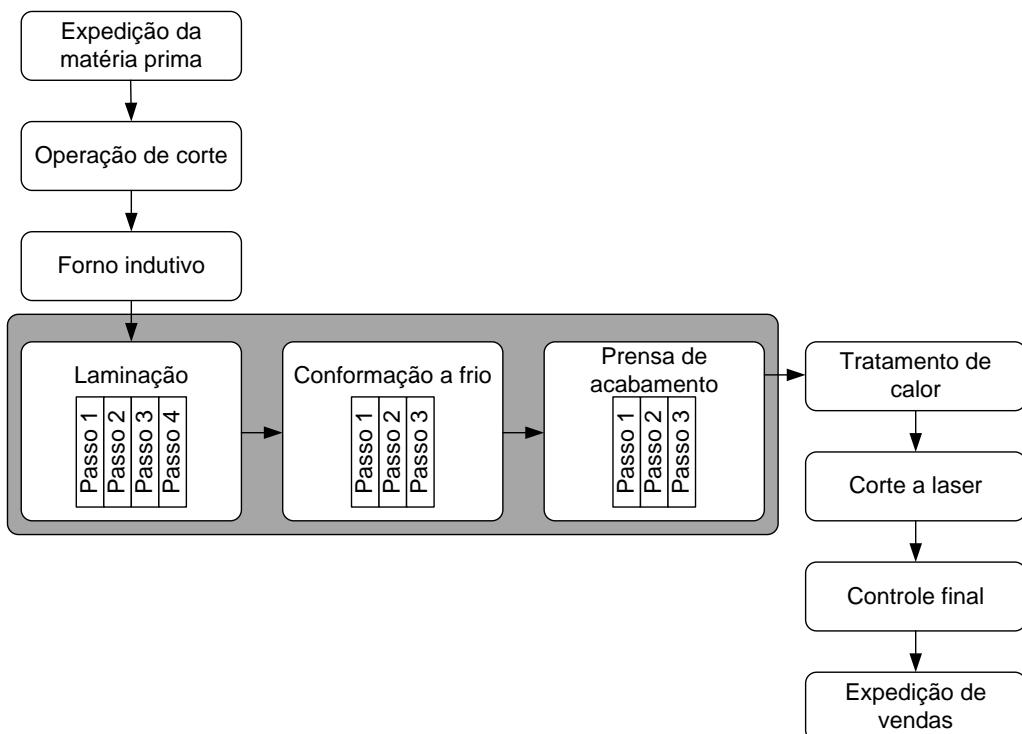


Figura 10 - Representação dos processos de produção da manufatura de engrenagens e eixo de engrenagens considerada como estudo de caso. Fonte: Rezaie; Ostadi; Torabi (2008).

Tabela 2 – Dados primários da manufatura de engrenagens e eixos de engrenagens consideradas como estudo de caso. Fonte: Rezaize; Ostadi e Torabi, (2008).

Produto	Nome do Produto	Tempo de Processo (s)	Peso Inicial (kg)	Peso Final (kg)	Corte (unidade/h)	Tratamento de calor (unidade/h)	Corte a laser (unidades/h)
A	TF0025	175,75	6,41	5,17	840	60	180
B	TF0028	154,59	3,4	2,6	117	186	270
C	TF0043	151,83	2	0,63	120	200	250
D	TF0051	160,97	2,98	1,85	840	130	400
E	TF0120	144,69	4,11	2,9	840	60	300
F	TF0138	174,17	2,87	1,42	840	175	420
G	TF0143	157,39	2,9	2,6	840	96	530
H	TF0290	164,89	5	4,45	840	175	310
I	TF0291	154,89	2,25	1,87	60	375	1500
J	TF0392	151,53	5,55	5	60	140	280
K	TF0435	155,13	6,01	4,82	840	90	150
L	TF0467	154,49	4,47	3,2	90	90	210
M	TF0470	152,19	6,95	6,06	50	115	231
N	TF0526	150,39	3,5	3,14	116	125	255
O	TF0726	163,15	2,78	2,19	113	210	365
P	TF0791	150,21	7,8	7,29	840	75	110
Q	TF0793	152,59	5,7	4,96	840	100	170
R	TF0796	167,57	5,87	4,79	840	90	250
S	TF0937	167,47	2,26	1,9	70	368	2210
T	TF1014	156,09	4	3,36	107	70	180
U	TF1023	183,99	4,4	2,8	80	290	1160
V	TF1099	147,19	2,8	2,3	80	200	510

Os dados são de uma empresa de manufatura que produz eixos, engrenagens e pontas de eixo localizada no Irã e que utiliza a moeda local, o Rial Iraniano, para os cálculos que de acordo com o site <https://www.xe.com/currencycharts/?from=IRR&to=USD> tinham uma taxa de conversão em relação ao dólar de 1 USD = 9143 IRR. O autor apresenta as seguintes etapas da manufatura: 1) corte; 2) forja; 3) laminação; 4) conformação; 5) acabamento; 6) tratamento de calor; 7) corte a laser; 8) controle de qualidade.

A empresa na qual os dados foram utilizados é uma manufatura de engrenagens e eixos de engrenagens para veículos automotores que produz cerca de 1.621.220 unidades totalizando 18879 horas/ano para manufaturar os produtos. Fez-se necessário para os cálculos:

(1) Total de horas que uma pessoa trabalha por ano, considerando que das 8 horas que a pessoa tem para trabalhar efetivamente produz o relativo a 6 horas, então considerou-se 48 semanas no ano e que se trabalham por 5 dias por semana:

$$48 \frac{\text{semana}}{\text{ano}} * 6 \frac{\text{hora}}{\text{dia}} * 5 \frac{\text{dia}}{\text{semana}} = 1440 \frac{\text{hora}}{\text{ano}}$$

(2) Total de pessoas necessárias para executar estas atividades:

$$18879 \frac{\text{horas}}{\text{ano}} / 1440 \frac{\text{horas}}{\text{pessoa}} = 14 \frac{\text{pessoa}}{\text{ano}}$$

Rezaize; Ostadi e Torabi (2008) apresentam uma demanda para três meses. Estes números foram utilizados como referência nesta dissertação como as quantidades mínimas. As quantidades máximas foram obtidas multiplicando a quantidade mínima por quatro, representando a quantidade para um ano. As quantidades mínimas representadas na Tabela 3 são as demandas, enquanto as quantidades máximas serão as capacidades de produção. Estes valores foram escolhidos para ilustrar melhor o exemplo, não foram obtidos nem calculados.

Tabela 3 - Quantidades mínimas e máximas anual de produtos utilizadas como restrições.

Produto	Quantidade Mínima <sup>(a)</sup> (unidades/ano)	Quantidade Máxima <sup>(b)</sup> (unidades/ano)	Produto	Quantidade Mínima <sup>(a)</sup> (unidades/ano)	Quantidade Máxima <sup>(b)</sup> (unidades/ano)
A	8.800	35.200	L	2.230	8.920
B	2.000	8.000	M	1.100	4.400
C	7.500	30.000	N	700	2.800
D	1.600	6.400	O	26.998	107.992
E	7.000	28.000	P	1.050	4.200
F	4.500	18.000	Q	1.000	4.000
G	2.500	10.000	R	6.300	25.200
H	2.400	9.600	S	4.000	16.000
I	3.790	15.160	T	9.000	36.000
J	400	1.600	U	1.100	4.400
K	3.800	15.200	V	2.600	10.400

<sup>(a)</sup> Valores obtidos de Rezaize; Ostadi e Torabi (2008).

<sup>(b)</sup> Esta demanda refere-se a três meses de produção. Multiplica-se essa quantidade por quatro para obter a quantidade estimada para doze meses.

#### 4.2. Aplicação do CBA<sub>emergia</sub>

A aplicação do CBA<sub>emergia</sub> inicia-se com a aplicação da contabilidade em emergia. Propõe-se que seja realizado o diagrama de energia do sistema de produção. Definidos os recursos (Recurso 1) necessários para a manufatura dos produtos no sistema representa-se os fluxos de energia dos recursos as atividades (Atividade 1 e Atividades 2,3 e 4) e posteriormente para cada produto. A Figura 12 exemplifica o estudo de caso do trabalho de Rezaize; Ostadi e Torabi (2008). A partir do fluxo de energia, Figura 11, deve-se obter a tabela em emergia.

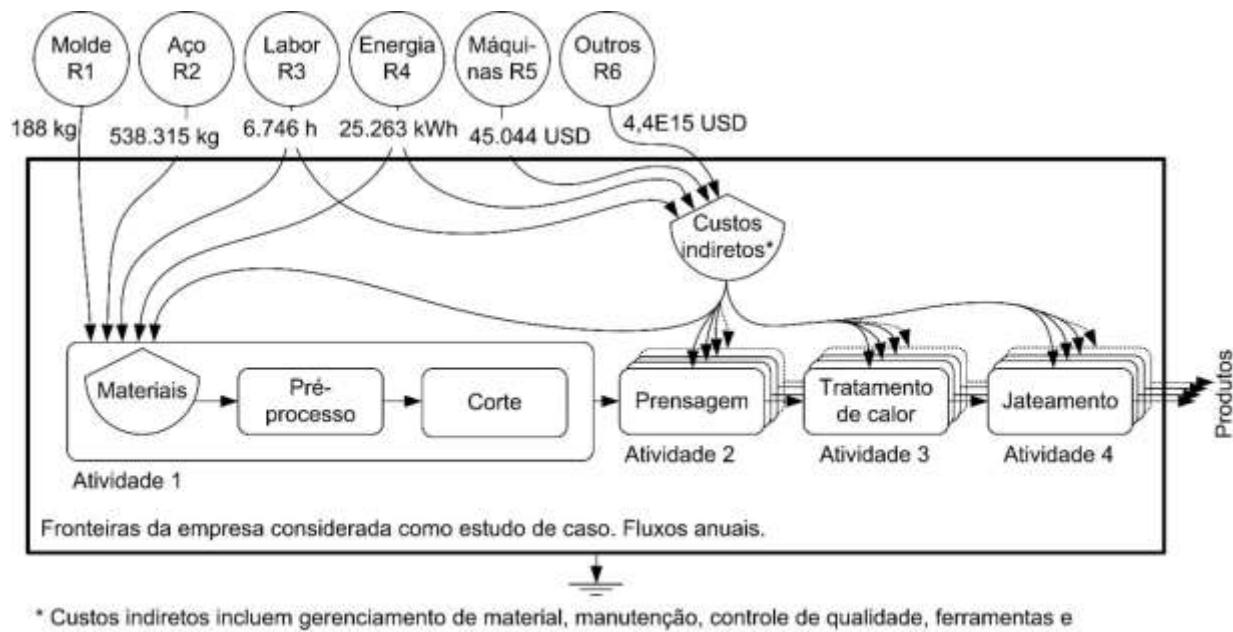


Figura 11 - Fluxo de Energia do estudo de caso.

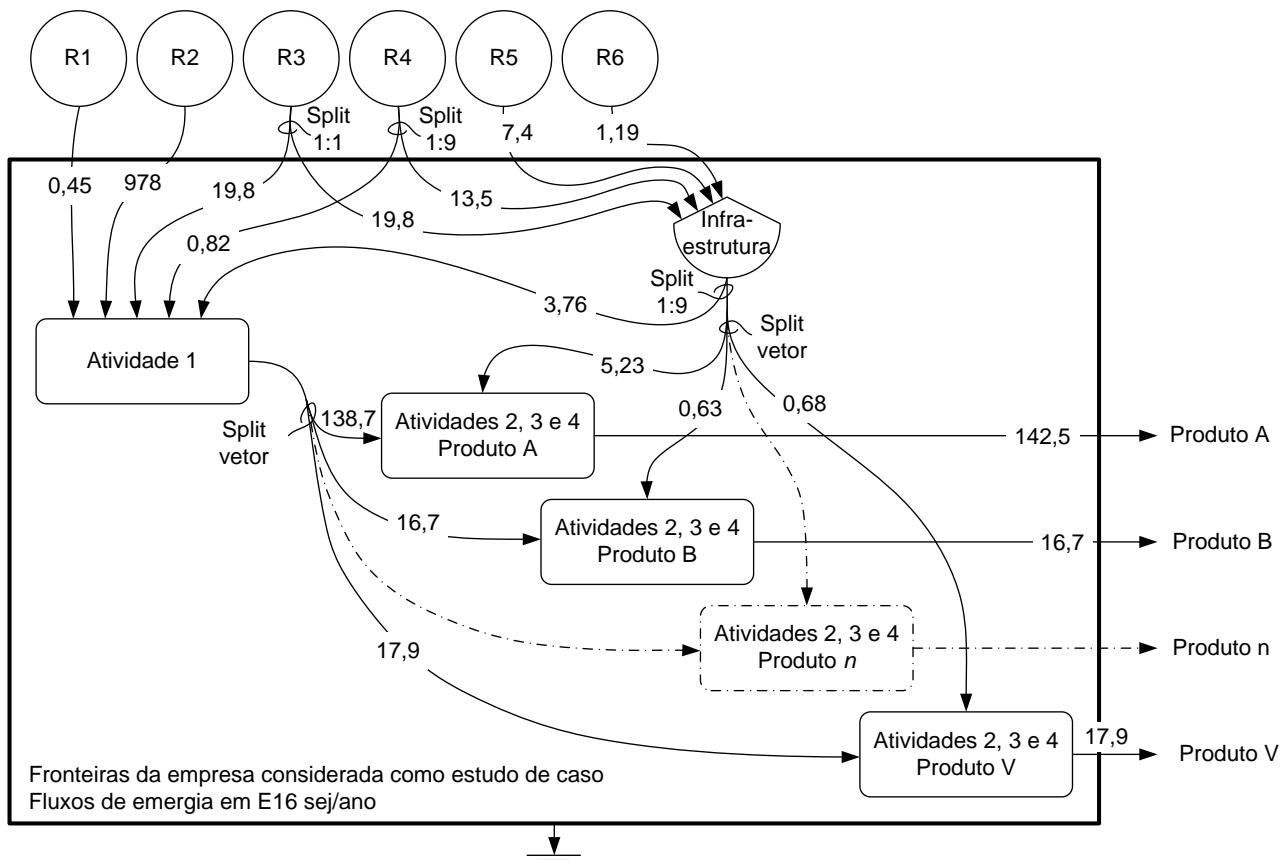


Figura 12 - Diagrama de energia do sistema de produção utilizado neste trabalho. “Vetor” significa a porcentagem utilizada para alocar a emergia total, cujos valores são apresentados na Tabela 5

A construção da tabela de energia em emergia necessita que se defina como os recursos se relacionam com as atividades, neste caso, utilizou-se a porcentagem em massa que cada produto representa de todo o sistema. A Tabela 4 representa a porcentagem em massa de cada produto.

Tabela 4 - Vetor proporcionalidade utilizado para alocar fluxos de emergia em divisões tipo “Split”.

Produto	% em massa do total produzido	Produto	% em massa do total produzido
A	13,9	L	2,5
B	1,7	M	1,9
C	3,7	N	0,6
D	1,2	O	18,5
E	13,2	P	2,0
F	3,2	Q	1,4
G	1,8	R	9,1
H	3,0	S	2,2
I	2,1	T	8,9
J	0,5	U	1,2
K	5,6	V	1,8

Os recursos utilizados e definidos no diagrama de energia como entradas do sistema alimentam a Tabela 4, onde se detalha a quantidade anual do recurso (coluna 3), a unidade funcional de cada recurso (coluna 4) e é estabelecida a transformidade (UEV) de cada recurso (coluna 5). Obtém-se a partir da multiplicação da coluna 3 e a coluna 5 dados relativos a Emergia disponível para cada produto (coluna 6). O resultado da soma das linhas da coluna 6 é 1,027E+19 seja/ano. Este é o orçamento em emergia do CBA<sub>emergia</sub>.

Tabela 5 - Contabilidade ambiental em emergia da empresa produtora de engrenagens considerada como estudo de caso (Fonte: Rezaize, Ostaldi e Torabi, 2008).

Recurso	Descrição	Quantidade	Unidade/ano	UEV <sup>(a)</sup> (sej/Unidade)	Emergia (sej/ano)	Emergia (%)
R1	Aço para ferramentaria	752	kg/ano	12,18E+12 seja/kg	9,16E+15	0
R2	Aço para fundição	1.621.220	kg/ano	6,69E+11 seja/kg	9,87E+18	96
R3	Mão de Obra	2.3139	horas/ano	8,57E+12 seja/h	1,62E+17	2
R4	Energia Elétrica	76.084	kwh/ano	1,02E+5 seja/kwh	8,22E+16	1
R5	Máquinas e equipamentos	7.982	USD/ano	1,7E+13 seja/USD	1,36E+17	1
R6	Outros materiais	700	USD/ano	1,7E+13 seja/USD	1,19E+16	0
Total <sup>(b)</sup>					1,027E+19	100

<sup>(a)</sup> UEVs obtidas do trabalho de Oliveira e Agostinho (2018), exceto para o EMR de 2004 para irã = 1,7 E13 seja/\$ da Fonte: <https://cep.ees.ufl.edu/head/data.php?country=70&year=412>

<sup>(b)</sup> Energia total do sistema 1,027E+19sej/ano obtido pela soma dos valores da coluna 6.

Os fluxos em emergia deverão ser preenchidos e seguirão para a Atividade 1 respectivamente: R1, R2, 0,5 R3 + 0,1R4 + 0,1 Infra-estrutura disponibilizando para esta atividade  $999,83E+16$  seja/ano. Este valor é dividido proporcional a massa de cada produto (coluna 3 da Tabela 7). Então o fluxo de emergia originado na Atividade 1 para a Atividade 2 terá um valor proporcional a esta razão ( $13,9\% * 999,83E+6 = 138,76E+16$ ). Seguindo o fluxo de energia para Atividade 2 de onde serão disponibilizados do estoque (Infra-estrutura) o valor proporcional em massa de cada produto. Obtendo-se a emergia unitária de cada produto em seja/(unidade \* ano).

Tabela 6 - Tabela com quantidades mínimas e máximas e a emergia das atividade e produtos.

Produto (a)	Quantidade (kg/ano) (b)	Quantidade (unidades/ ano) (b)	Porcentagem em massa % (c)	E+16 seja/yr Fluxo da atividade 1 para atividade 2,3 e 4 (d)	E+16 seja/yr do estoque para Atividade. 2, 3 e 4 (e)	Emergia por produto/ ano em E+16 (f)	E+19 sej/unid ano (g)
A	56408	35200	13,9	138,76	3,79	142,54	4,06
B	6800	8000	1,7	16,73	0,46	17,18	2,15
C	15000	30000	3,7	36,90	1,01	37,91	1,27
D	4768	6400	1,2	11,73	0,32	12,05	1,89
E	53430	28000	13,2	131,43	3,59	135,02	4,84
F	12915	18000	3,2	31,77	0,87	32,64	1,82
G	7250	10000	1,8	17,83	0,49	18,32	1,84
H	12000	9600	3,0	29,52	0,81	30,32	3,17
I	8527	15160	2,1	20,98	0,57	21,55	1,43
J	2220	1600	0,5	5,46	0,15	5,61	3,52
K	22838	15200	5,6	56,18	1,53	57,71	3,81
L	9968	8920	2,5	24,52	0,67	25,19	2,83
M	7645	4400	1,9	18,81	0,51	19,32	4,40
N	2450	2800	0,6	6,03	0,16	6,19	2,22
O	75054	107992	18,5	184,62	5,04	189,67	1,76
P	8190	4200	2,0	20,15	0,55	20,70	4,94
Q	5700	4000	1,4	14,02	0,38	14,40	3,61
R	36981	25200	9,1	90,97	2,48	93,45	3,72
S	9040	16000	2,2	22,24	0,61	22,84	1,43
T	36000	36000	8,9	88,56	2,42	90,97	2,53
U	4840	4400	1,2	11,91	0,33	12,23	2,79
V	7280	10400	1,8	17,91	0,49	18,40	1,77

(a) Nome dado a cada produto para ser utilizado na modelagem;

(b) Quantidades obtidas do trabalho Rezaize; Ostadi e Torabi (2008);

(c) Vetor proporcionalidade: porcentagem em massa de cada produto em relação ao total de kg. Somatório da coluna 2 dividido pelo peso de cada produto;

(d) Quantidade em emergia necessária para obtenção do produto na atividade 1.

(e) Quantidade em emergia necessária para obtenção do produto na atividade 2.

(f) Quantidade em emergia de cada produto soma das colunas 5 e 6.

(g) Emergia unitária de cada produto, calculado dividindo-se a coluna 6 pela coluna 2

Estes valores em seja/ano, seja/unidade, quantidade mínima e máxima, são as variáveis que alimentam a programação por metas, no programa LINGO®, que resolve os problemas com programação linear. O resultado obtido deste problema é a composição de produtos que melhor utiliza os recursos em emergia. Para montar o sistema utilizamos a seguinte estrutura:

Função objetivo: Min +n1-p1

Sujeita a:

Restrições Fortes (quantidades mínimas, Tabela 3):

A>8800; B>2000; C>7500; D>1600; E>7000; F>4500; G>2500; H>2400; I>3790; J>400; K>3800; L>2230; M>1100; N>700; O>26998; P>1050; Q>1000; R>6300; S>4000; T>9000; U>1100; V>2600

Restrições Fracas (emergia unitária dos produtos, Tabela 7):

$$4,06 A + 2,15 B + 1,27 C + 1,89 D + 4,84 E + 1,82 F + 1,84 G + 3,17 H + 1,43 I + 3,52 J + 3,81 K + 2,83 L + 4,40 M + 2,22 N + 1,76 O + 4,94 P + 3,61 Q + 3,72 R + 1,43 S + 2,53 T + 2,79 U + 1,77 V + n1 - p1 = 1027$$

A quantidade de produtos obtidos a partir desta modelagem está representada na Tabela 8. Observa-se que os valores extraídos da modelagem estão quase todos na quantidade mínima. No entanto, os cinco produtos com maior utilização de recursos em emergia (A, J, K, M e P) foram colocados como restrição para que se obtivesse a maior quantidade de produtos. Verifica-se que o produto V teve uma quantidade proposta bem maior que os demais, sendo essa quantidade igual a 436.855 unidades, uma vez que utiliza uma quantidade de recursos em emergia menor que os demais.

Tabela 7 - Resultado da aplicação o CBAemergia no estudo de caso considerado

Produto	“Mix” de produtos (unidades/ano)	Produto	“Mix” de produtos (unidades/ano)
A	8.800	L	2.230
B	2.000	M	1.100
C	7.500	N	700
D	1.600	O	26.998
E	7.000	P	1.050
F	4.500	Q	1.000
G	2.500	R	6.300
H	2.400	S	4.000
I	3.790	T	9.000
J	400	U	1.100
K	3.800	V	436.855

#### 4.3. Aplicação do CBA<sub>\$</sub>

Nesta etapa do CBA tradicional obtém-se os dados da etapa financeira, os custos unitários e os custos de cada atividade. As Tabelas do Anexo indicam qual o valor de cada produto em cada atividade de produção, cujos valores são resumidos na Tabela 8, que mostra o custo unitário por produto na coluna 2. O orçamento em custos de 2.314.173 USD/ano foi o valor obtido através dos dados do trabalho de REZAIE; OSTADI E TORABI, (2008).Os dados da primeira coluna da Tabela

8 são variáveis para a aplicação da modelagem matemática. Já a coluna 2 mostra a saída da modelagem matemática, a seguir:

Função objetivo:  $\text{Min } +n2 - p2$

Sujeita a:

Restrições Fortes (quantidades mínimas, Tabela 3):

$A > 8800; B > 2000; C > 7500; D > 1600; E > 7000; F > 4500; G > 2500; H > 2400; I > 3790; J > 400; K > 3800; L > 2230; M > 1100; N > 700; O > 26998; P > 1050; Q > 1000; R > 6300; S > 4000; T > 9000; U > 1100; V > 2600$

Restrições Fracas (custo unitário, Tabela 8):

$8,07A + 5,28B + 4,27C + 4,6D + 6,12E + 4,45F + 4,76G + 5,84H + 4,8I + 7,65J + 7,13K + 6,82L + 8,98M + 5,59N + 4,89O + 8,63P + 6,74Q + 7,01R + 4,72S + 6,74T + 6,23U + 5,03V + n2 - p2 = 2.313.919$

Tabela 8 - Resultado da aplicação o CBA\$ no estudo de caso considerado

Produto	Custo unitário dos produtos (dólares/unidade) <sup>(a)</sup>	"Mix" de produtos (unidade/ano)	Produto	Custo unitário dos produtos (dólares/unidade) <sup>(a)</sup>	"Mix" de produtos (unidade/ano)
A	8,07	8.800	L	6,82	2.400
B	5,28	4.000	M	8,98	3.790
C	4,27	3.800	N	5,59	2.230
D	4,6	1.100	O	4,89	700
E	6,12	1.050	P	8,63	26.998
F	4,45	2.000	Q	6,74	1.000
G	4,76	7.500	R	7,01	6.300
H	5,84	1.600	S	4,72	542.015
I	4,8	7.000	T	6,74	9.000
J	7,65	4.500	U	6,23	1.100
K	7,13	2.500	V	5,03	2.600

<sup>(a)</sup> Obtido de Rezaize; Ostadi e Torabi, (2008)

Observa-se que a quantidade de produtos na terceira coluna da Tabela 8 corresponde a uma composição de produtos que satisfaz as restrições definidas na modelagem. O "mix" obtido sugere que se mantenha a maioria dos produtos nas quantidades mínimas e elevar as quantidades do produto S para 542.015 unidades/ano.

#### 4.4. Aplicação do CBA<sub>emissões</sub>

A etapa saída utiliza dados para mensurar os impactos causados pelos produtos em sua cadeia de produção. Os dados de Potencial de Aquecimento Global foram obtidos a partir do banco de dados do Ecoinvent® listados na Tabela 9. Os materiais e atividades selecionados para compor

o produto foram aço para forja (como matéria-prima para os produtos, engrenagens e eixos), aço para ferramentaria (utilizado nas matrizes do processo produtivo) energia elétrica e as movimentações de materiais representadas por operações de máquinas a diesel. Os dados retirados do Ecoinvent® são do banco de dados 3.2 (2015).

Tabela 9 - Dados retirados do Ecoinvent® para elaboração do orçamento em quilogramas de emissões de CO<sub>2</sub>.

Recurso	Descrição no Ecoinvent	Quantidade	Unidade	Demanda anual do estudo de caso	Total em kgCO <sub>2</sub> -eq./ano
R1 Aço para Ferramentaria	<i>impact extrusion of steel, cold, 5 strokes, RoW, (Author: [System] inactive)</i>	1,4163	kg CO2-Eq / kg	752,08 kg	1.065,1
R2 Aço para Forja	<i>impact extrusion of steel, cold, deformation stroke, RoW, (Author: [System] inactive)</i>	0,09347	kg CO2-Eq / kg	1.621.220,16 kg	151.535,4
R3 Mão de obra	-	-	-	18.879 horas	-
R4 Energia Elétrica	<i>energy and auxilliary inputs, metal working factory, with heating from natural gas, RoW, (Author: [System] inactive)</i>	0,27618	kg CO2-Eq / kg	1.621.220,16 kg	447.748,5
R5 + R6 Operações de Máquinas a diesel	<i>machine operation, diesel, &gt;= 74.57 kW, low load factor, GLO, (Author: Jean-Francois Menard active)</i>	23,862	kg CO2-Eq / hour	9.439 horas	225.433,1
Total de emissões do sistema					2.491.218

Current Licence: v3 / Educational; Selected Database: version 3.2 (2015); Allocation, cut-off by classification; CML 2001; GWP 100 anos

Os dados de emissões em kgCO<sub>2</sub>-eq nos permitem calcular o orçamento anual em emissões, 2.491.218 kgCO<sub>2</sub>-eq que o sistema libera e encontrar o quanto cada produto é responsável para dispor ao meio ambiente. Estes foram medidos em Potencial de Aquecimento Global, de acordo com a Tabela 10. A partir deste momento, se apresentam os seguintes achados deste estudo: os produtos emitem mais gases do efeito estufa P (11,99 kgCO<sub>2</sub>-eq/unidade) e o que menos emite é C, responsável por emitir sozinho (3,07 kgCO<sub>2</sub>-eq/unidade). Torna-se possível a partir destas análises priorizar o que se deve produzir para emitir mais ou menos gases do potencial aquecimento global.

Tabela 10 - Emissões de CO<sub>2eq.</sub> por produto.

Produto	KgCO <sub>2</sub> -eq./unidade <sup>(a)</sup>	Produto	KgCO <sub>2</sub> -eq./unidade <sup>(a)</sup>
A	9,85	L	6,87
B	5,23	M	10,68
C	3,07	N	5,38
D	4,58	O	4,27
E	11,73	P	11,99
F	4,41	Q	8,76
G	4,46	R	9,02
H	7,68	S	3,47
I	3,46	T	6,15
J	8,53	U	6,76
K	9,24	V	4,30

<sup>(a)</sup> Obteve-se as emissões unitárias colunas 2 e 4 a partir da multiplicação do vetor proporcionalidade, Tabela 4, vezes o total de emissões do sistema.

A partir dos dados obtidos nesta etapa é possível modelar as equações para que se extraia as quantidades de produtos que melhor utilizem o orçamento em potencial de aquecimento global. A modelagem está descrita a seguir:

Função objetivo: Min +n25 -p25

Sujeita a:

Restrições Fortes (quantidades mínimas, Tabela 3):

A>8800; B>2000; C>7500; D>1600; E>7000; F>4500; G>2500; H>2400; I>3790; J>400; K>3800; L>2230; M>1100; N>700; O>26998; P>1050; Q>1000; R>6300; S>4000; T>9000; U>1100; V>2600

Restrições Fracas (emissões por unidade produzida, Tabela 10):

9,85A+ 5,23B+ 3,07C+ 4,58D+ 11,73E+ 4,41F+ 4,46G+ 7,68H+ 3,46I+ 8,53J+ 9,24K+ 6,87L+ 10,68M+ 5,38N+ 4,27O+ 11,99P+ 8,76Q+ 9,02R+ 3,47S+ 6,15T+ 6,76U+ 4,3V +n25 -p25 = 2.491.218

Tabela 11 – Resultado da aplicação o CBA<sub>emissões</sub> no estudo de caso considerado.

Produto	“Mix” de produtos (unidades/ano)	Produto	“Mix” de produtos (unidades/ano)
A	8.800	L	2.230
B	2.000	M	1.100
C	7.500	N	700
D	1.600	O	26.998
E	7.000	P	1.050
F	4.500	Q	1.000
G	2.500	R	6.300
H	245.583	S	4.000
I	3.790	T	9.000
J	400	U	1.100
K	3.800	V	2.600

As quantidades extraídas nesta modelagem estão descritas na Tabela 11. Esta modelagem, assim como as anteriores, apresenta quantidades próximas às mínimas e somente um produto tem sua quantidade aumentada: o produto H. Este produto não é o que emite menos gases do potencial de aquecimento global. No entanto ele foi escolhido por atingir o orçamento em emissões.

#### 4.5. Aplicação do CBA<sub>sustentável</sub>

Esta etapa trata de unir as três dimensões do modelo conceitual de sustentabilidade ISO. As etapas: *entrada, estado e saída* são importantes para caracterização do problema por meio das unidades, quantidades e limites. Esta união acontece utilizando a aplicação de todos os dados obtidos anteriormente em uma modelagem matemática a fim de que, por meio de programação por metas, possamos obter quantidades de produtos que satisfaçam os orçamentos em energia, custos e emissões. Além dos valores obtidos nas etapas do ISO adicionamos como limites o lucro - valor que foi estimado e não foi calculado devido à falta de informações disponíveis, com o objetivo de que o sistema se parecesse o máximo possível com a realidade de uma empresa. A Tabela 12 apresenta todas as variáveis e restrições utilizadas para modelar o problema. Estes dados foram extraídos das etapas anteriores do ISO, sendo consolidados nesta tabela.

Tabela 12 - Restrições e variáveis obtidas durante aplicação do modelo entrada-estado-saída para uso na modelagem matemática da programação por metas.

Produto	Emergia em E+16 (sej/unid ano) <sup>(a)</sup>	Custo unitário anual (USD) <sup>(b)</sup>	Emissões (kg CO <sub>2</sub> - eq) <sup>(c)</sup>	Lucro (USD) <sup>(d)</sup>	Quantidade mínima (unidades) <sup>(e)</sup>	Quantidade máxima (unidades) <sup>(e)</sup>
A	4,05	8,07	9,85	1,29	8800	35200
B	2,15	5,28	5,23	1	2000	8000
C	1,26	4,27	3,07	0,47	7500	30000
D	1,88	4,6	4,58	0,55	1600	6400
E	4,82	6,12	11,73	1,16	13000	52000
F	1,81	4,45	4,41	0,89	4500	18000
G	1,83	4,76	4,46	0,52	2500	10000
H	3,16	5,84	7,68	0,99	2400	9600
I	1,42	4,8	3,46	0,58	3790	15160
J	3,51	7,65	8,53	1,45	400	1600
K	3,80	7,13	9,24	1,07	3800	15200
L	2,82	6,82	6,87	0,68	2230	8920
M	4,39	8,98	10,68	1,17	1100	4400
N	2,21	5,59	5,38	1,01	700	2800
O	1,76	4,89	4,27	0,64	26998	107992
P	4,93	8,63	11,99	1,47	1050	4200
Q	3,60	6,74	8,76	0,67	1000	4000
R	3,71	7,01	9,02	0,77	6300	25200
S	1,43	4,72	3,47	0,47	4000	16000
T	2,53	6,74	6,15	1,21	9000	36000
U	2,78	6,23	6,76	0,93	1100	4400
V	1,77	5,03	4,3	0,6	2600	10400
Orçamentos	1.027.000	2.314.173	2.491.218	250.000		

<sup>(a)</sup> Emergia de cada produto valores retirados da Tabela 6

<sup>(b)</sup> Custo unitário de cada produto valores extraídos da Tabela 8

<sup>(c)</sup> Emissões unitárias de cada produto extraídos da Tabela 10

<sup>(d)</sup> Lucro por produto valores da Tabela

<sup>(e)</sup> Quantidade mínima e máxima extraídas da Tabela 3

A modelagem como escrita no LINGO® encontra-se no Apêndice 1, onde pode-se replicar os dados e alterar os dados convenientemente.

Iniciamos a modelagem com a restrição de quantidades formando:

(a) Inequações que determinam as quantidades mínimas (restrição forte), podendo ser interpretadas estas quantidades com ponto de equilíbrio: A>=8800, B>=2000, C>=7500, D>=1600, E>=13000, F>=4500, G>=2500, H>=2400, I>=3790, J>=400, K>=3800, L>=2230, M>=1100, N>=700, O>=26998, P>=1050, Q>=1000, R>=6300, S>=4000, T>=9000, U>=1100, V>=2600.

(b) Inequações que determinam as quantidades máximas (restrição forte), podendo ser interpretadas como a capacidade do processo produtivo: A<35200, B<8000, C<30000, D<6400, E<52000, F<18000, G<10000, H<9600, I<15160, J<1600, K<15200, L<8920, M<4400, N<2800, O<107992, P<4200, Q<4000, R<25200, S<16000, T<36000, U<4400, V<10400.

- (c) Ainda como restrições fortes foram adicionados o lucro adquirido por cada produto:  $1,29A+ 1,00B+ 0,46C+ 0,55D+ 1,163E+ 0,88F+ 0,52G+ 0,99H+ 0,57I+ 1,45J+$   $1,06K+ 0,68L+ 1,16M+ 1,00N+ 0,63O+ 1,46P+ 0,67Q+ 0,77R+ 0,47S+ 1,21T+$   $0,93U+ 0,60V > 250.000$ . Sendo 250.000 a quantidade mínima de lucro determinada pelo analista, podendo estes números serem alterados dependendo da necessidade do tomador de decisão ou objetivo da análise.
- (d) Emergia. Os dados que se estabeleceram para este trabalho a partir do Modelo Conceitual ISO, são considerados restrições fracas, de acordo com a forma geral seguinte:  $4,06 A + 2,15 B + 1,27 C + 1,89 D + 4,84 E + 1,82 F + 1,84 G + 3,17 H + 1,43 I + 3,52 J + 3,81 K + 2,83 L + 4,40 M + 2,22 N + 1,76 O + 4,94 P + 3,61 Q + 3,72 R + 1,43 S + 2,53 T + 2,79 U + 1,77 V + n1 - p1 < 1027$
- (e) Monetário. Esta inequação representa as restrições em emergia, onde cada produto tem uma quantidade de recursos em emergia e um limite estabelecido pela contabilidade em emergia representado pelo valor 4.198,4 sej/ano:  $8,07A+ 5,28B+ 4,27C+ 4,6D+ 6,12E+$   $4,45F+ 4,76G+ 5,84H+ 4,8I+ 7,65J+ 7,13K+ 6,82L+ 8,98M+ 5,59N+ 4,89O+ 8,63P+$   $6,74Q+ 7,01R+ 4,72S+ 6,74T+ 6,23U+ 5,03V < 2.313.919$ .
- (f) Emissões de CO<sub>2</sub>. A inequação a seguir, estabelecida a partir dos dados da última etapa do ISO, a saída, representa quanto cada produto produz em potencial de aquecimento global em kgCO<sub>2</sub>-eq.  $9,85A+ 5,23B+ 3,07C+ 4,58D+ 11,73E+ 4,41F+ 4,46G+ 7,68H+$   $3,46I+ 8,53J+ 9,24K+ 6,87L+ 10,68M+ 5,38N+ 4,27O+ 11,99P+ 8,76Q+ 9,02R+ 3,47S+$   $6,15T+ 6,76U+ 4,3V < 2.491.493$ .

Estas restrições são criadas na forma geral e então transcritas para a forma normal onde deve-se aplicar os desvios negativos e positivos representados aqui por  $ni$  e  $pi$  modeladas as equações no LINGO® 11 na forma normal. Além das inequações utiliza-se um artifício matemático para que as quantidades de produtos fossem dadas diretamente sem a necessidade de se fazer qualquer outra operação com os desvios  $ni$  e  $pi$ . São as denominadas restrições do tipo 1 (SOS1), onde as variáveis de decisão podem adquirir valores iguais a zero e  $ni * pi = 0$  (COLAPINTO; JAYARAMAN; MARSIGLIO, 2015). A forma com que foi escrita no programa de modelagem pode ser consultada no Apêndice 1.

Estabeleceu-se de acordo com as premissas da programação matemática a função objetivo, que é reduzir os desvios da meta. Neste caso em especial as metas são do tipo "quanto menor melhor", então colocamos a função-objetivo Maximizar. De outra forma, a função lucro é do tipo

"quanto maior melhor" alteramos assim os sinais dos desvios respectivos ao lucro ( $-n26 + p26$ ), obtém-se a função objetivo:

$$\min: n1 - p1 + n2 - p2 + n3 - p3 + n4 - p4 + n5 - p5 + n6 - p6 + n7 - p7 + n8 - p8 + n9 - p9 + n10 - p10 + n11 - p11 + n12 - p12 + n13 - p13 + n14 - p14 + n15 - p15 + n16 - p16 + n17 - p17 + n18 - 18 + n19 - 19 + n20 - p20 + n21 - p21 + n22 - p22 + n23 - p23 + n24 - p24 + n25 - p25 - n26 + p26$$

O resultado desta modelagem é uma composição de produtos que obedece a todas as restrições de quantidade mínimas e máximas, orçamento em emergia, orçamento em custos, orçamento em emissões e orçamento de lucro, descrito na Tabela 12. Estas quantidades não ultrapassam os orçamentos, custos, emergia e emissões e devolvem um lucro de 334.435 USD/ano. maior que o estabelecido de 250.000 USD/ano e obedece às quantidades mínimas e máximas.

Tabela 13 – Resultado da aplicação o CBA<sub>sustentável</sub> no estudo de caso considerado.

Produto	"Mix" de produtos (unidades/ano)	Produto	"Mix" de produtos (unidades/ano)
A	35.200	L	8.920
B	8.000	M	4.400
C	30.000	N	2.800
D	6.400	O	107.992
E	28.000	P	4.200
F	18.000	Q	4.000
G	10.000	R	25.200
H	9.600	S	16.000
I	15.160	T	36.000
J	1.600	U	4.400
K	15.200	V	10.400

As quantidades propostas por cada CBA têm por objetivo utilizar o recurso de forma a produzir a maior quantidade de produtos e não ultrapassar o seu orçamento respectivo. Por exemplo, no CBA emergia não se pode utilizar uma quantidade maior que 1.024.220 sej/ano, o orçamento representado pela segunda coluna da Tabela 15, não estabelecendo uma quantidade mínima dos outros orçamentos.

As colunas de três a cinco na Tabela 15 nos apresentam os valores que deveriam ser atingidos ao se produzir as quantidades propostas pela modelagem matemática. Observemos que os resultados respeitam o que se estabeleceu como meta fraca e forte sendo que cada visão do CBA não ultrapassa seu orçamento limite. O CBA<sub>sustentável</sub> não permite ultrapassar nenhum orçamento e apresenta lucro, demonstrando que podemos aplicar aspectos ambientais e ainda sim obedecer aos financeiros de obter lucro e produzir dentro de um orçamento.

Tabela 14 - Orçamentos alcançados de acordo com os diferentes CBAs aplicados.

Unidade	Meta estabelecida	Metas alcançadas			
		CBA <sub>emergia</sub>	CBA <sub>\$</sub>	CBA <sub>emissões</sub>	CBA <sub>sustentável</sub>
Emergia (sej/ano)	1.024.220	1.024.219	1.623.142	1.024.220	1.024.220
Custos (dólar/ano)	2.313.919	2.762.846	2.313.582	1.998.732	2.313.173
Emissões (kgCO <sub>2</sub> -eq/ano)	2.491.493	2.490.101	3.948.295	2.490.450	2.491.218
Lucro (dólar/ano)	250.000	344.162	412.472	324.360	334.435

O resultado obtido do CBA<sub>emissões</sub>, além de não ultrapassar nenhum orçamento, ultrapassa a quantidade mínima de lucro que é de 250.000 dólar/ano. Sendo assim, este CBA<sub>emissões</sub> apresenta uma resposta melhor quanto à utilização de todos os recursos. Esta quantidade de produtos emite menos gases em potencial de aquecimento global, utiliza menor quantidade de recursos em custos e não ultrapassa o orçamento em emergia. No entanto é a que menos obtém lucro, mas ultrapassa o valor estabelecido como mínimo pelo analista.

As quantidades obtidas em CBA emergia e CBA emissões não têm um significado econômico. No entanto, essas quantidades podem ser utilizadas para a gestão em melhoria de processos. Com estes levantamentos obtidos no presente trabalho é possível propor em que ponto no processo deve ocorrer melhorias para se estabelecer novos limites. Por exemplo, melhorar os processos dos produtos que utilizam mais recursos em emergia ou identificar o produto e ou atividade que tem um maior impacto no processo. O mesmo ocorre para os orçamentos em emissões. Pode-se propor melhorias nos processos a partir da análise de quais produtos emitem mais gases que podem influenciar no aquecimento global.

Tabela 15 – Mix de produtos de acordo com os diferentes CBAs aplicados.

Produto	“Mix” de produtos (unidades/ano)			
	CBA <sub>emergia</sub>	CBA <sub>\$</sub>	CBA <sub>emissões</sub>	CBA <sub>sustentável</sub>
A	8.800	8.800	8.800	35.200
B	2.000	2.000	2.000	8.000
C	7.500	7.500	7.500	30.000
D	1.600	1.600	1.600	6.400
E	7.000	290.503	7.000	28.000
F	4.500	4.500	4.500	18.000
G	2.500	2.500	2.500	10.000
H	2.400	2.400	245.583	9.600
I	3.790	3.790	3.790	15.160
J	400	400	400	1.600
K	3.800	3.800	3.800	15.200
L	2.230	2.230	2.230	8.920
M	1.100	1.100	1.100	4.400
N	700	700	700	2.800
O	26.998	26.998	26.998	107.992
P	1.050	1.050	1.050	4.200
Q	1.000	1.000	1.000	4.000
R	6.300	6.300	6.300	25.200
S	4.000	4.000	4.000	16.000
T	9.000	9.000	9.000	36.000
U	1.100	1.100	1.100	4.400
V	436.855	2.600	2.600	10.400

Os dados obtidos como respostas a partir de cada modelagem matemática sozinha nos refletem as quantidades que melhor utilizam os recursos em cada visão. Em utilização de recursos em emergia aconselha-se que seja produzido uma maior quantidade de produtos “V” e as quantidades mínimas dos demais produtos, como representado na Tabela 14 coluna 2. Para a visão tradicional sugere-se que seja produzida uma maior quantidade do produto “E” e as quantidades mínimas dos demais produtos, o mesmo aconteceu para o potencial de aquecimento global em que se sugere que se produza a quantidade mínima de todos os produtos, exceto o produto “H” que se propõe produzir a quantidade de 245.583 unidades. No CBA sustentável propõe-se produzir as quantidades máximas de todos os produtos.

## 5. CONCLUSÕES

---

O entendimento da tradicional e amplamente utilizada ferramenta de gestão Custo Baseado em Atividades (CBA) permitiu entender como e porque os direcionadores de custo baseados em aspectos econômicos são utilizados. Embora importantes, este CBA<sub>\$</sub> fornecem resultados que suportam decisões baseadas exclusivamente em aspectos econômicos, desconsiderando outros relacionados a sustentabilidade. A substituição dos direcionadores de custo tradicionais por direcionadores baseados na contabilidade ambiental em energia proporcionou uma outra perspectiva em relação à gestão de empresas, onde importantes conceitos oriundos deste método de contabilidade ambiental (isto é, hierarquia de energia, qualidade de energia, reconhecimento de fluxos de energia que usualmente não são contabilizados pelas métricas socioeconômicas tradicionais) são agora refletidos nos resultados do aqui chamado CBA<sub>energia</sub>.

Utilizando como base o um modelo conceitual de sustentabilidade denominado entrada-estado-saída, foi proposto o CBA<sub>sustentável</sub>, que integra as diferentes visões e alcances dos três CBAs considerados no modelo de sustentabilidade: CBA<sub>energia</sub>, CBA<sub>\$</sub>, e CBA<sub>emissões</sub>. Quando individualmente aplicados sob modelagem matemática (respeitando restrições de custo e capacidade produtiva) ao estudo de caso considerado, os diferentes CBAs fornecem resultados diferentes para o “mix” de produtos, onde percebe-se a influência dos direcionadores de custo considerados. Por exemplo, enquanto o CBA<sub>energia</sub> indica que o produto “V” deve receber prioridade com aproximadamente 81% do total da produção, o CBA<sub>\$</sub> prioriza “E” com 76%, e o CBA<sub>emissões</sub> prioriza “H” com 72%. Na tentativa de colaborar com o decisor em busca de uma produção mais sustentável, o “mix” de produtos resultado da aplicação do CBA<sub>sustentável</sub> deveria ser considerado, onde os produtos “O” com 27%, “T”, “A”, “C” e “E” variando de 7% a 9% deveriam ser priorizados.

Neste trabalho não foi utilizada nenhuma abordagem para avaliar os procedimentos propostos (CBA<sub>energia</sub> e CBA<sub>sustentável</sub>), como por exemplo, para avaliar robustez, facilidade no uso, demanda de informações, etc. Isso pode ser considerado como uma limitação deste trabalho, e sugere-se como uma proposta para trabalho futuro.

## 6. PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS

---

Sugere-se que o procedimento proposto seja avaliado com o uso de métricas científicas baseadas em critérios claramente definidos. Esta avaliação poderia tornar o procedimento proposto mais aceito pela comunidade científica e empresarial.

Adicionalmente, sugere-se a aplicação do procedimento aqui proposto em outros estudos de caso, com diferentes escalas e complexidades, para avaliar sua aplicabilidade nos mais diferentes sistemas de produção.

## 7. REFERÊNCIAS

---

- AGOSTINHO, F.; DINIZ, G.; SICHE, R.; ORTEGA, E. The use of energy assessment and the Geographical Information System in the diagnosis of small family farms in Brazil. *Ecological Modelling*, v. 210, n. 1–2, p. 37–57, 2008.
- AGOSTINHO, F.; AMBRÓSIO, L. A.; ORTEGA, E. Assessment of a large watershed in Brazil using Energy Evaluation and Geographical Information System. *Ecological Modelling*, v. 221, n. 8, p. 1209–1220, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.12.019>
- AGOSTINHO, F.; ALMEIDA, C. M. V. B.; BONILLA, S. H.; SACOMANO, J. B.; GIANNETTI, B. F. Urban solid waste plant treatment in Brazil: Is there a net energy yield on the recovered materials? *Resources, Conservation and Recycling*, v. 73, p. 143–155, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.02.001>
- ANZAI, Y.; HEILBRUN, M. E.; HAAS, D.; BOI, L.; MOSHRE, K.; MINOSHIMA, S.; KAPLAN, R.; LEE, V. S. Application of TDABC (Time-driven Academic Center). *Academic Radiology*, v. 24, n. 2, p. 200–208, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.acra.2016.11.001>
- AGYEKUM, E. O.; FORTUIN, K. P. J. K.; VAN DER HARST, E. Environmental and social life cycle assessment of bamboo bicycle frames made in Ghana. *Journal of Cleaner Production*, v. 143, p. 1069–1080, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.012>>
- BARTON, J. R. Life cycle assessment for waste management. *Waste Management*, v. 16, n. 1–3, p. 35–50, 1996.
- BAGLIANI, M.; MARTINI, F. A joint implementation of ecological footprint methodology and cost accounting techniques for measuring environmental pressures at the company level. *Ecological Indicators*, v. 16, p. 148–156, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.09.001>>
- BASTIANONI, S.; COSCIEME, L.; PULSELLI, F. M. The input-state-output model and related indicators to investigate the relationships among environment, society and economy. *Ecological Modelling*, v. 325, p. 84–88, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.10.015>
- BEN-ARIEH, D.; QIAN, L. Activity-based cost management for design and development stage. *International Journal of Production Economics*, v. 83, p. 169–183, 2003.
- BIMONTE, S.; UGLIATI, S. Exploring Biophysical Approaches to Develop Environmental Taxation Tools. Envitax, to Face the “New Scarcity”. In: *Economic Institutions and Environmental Policy*. Ashgate Publishing Limited, England. ISBN 1-84014-150-6. Pp. 177-200, 2002
- BROWN, M. T.; RAUGEI, M.; UGLIATI, S. On boundaries and “investments” in Energy Synthesis and LCA: A case study on thermal vs. photovoltaic electricity. *Ecological Indicators*, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 227–235, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.09.021>
- BRUNDTLAND, G. H. Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development. United Nations Commission, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 300, 1987.
- BRUNI A.L., FAMÁ R. Gestão e Custos e Formação de Preços: com aplicação na calculadora HP12C e Excel. 2<sup>a</sup> ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- CAMPBELL, D.E., 2013. Keeping the books for the environment and society: the unification of energy and financial accounting methods. *Journal of Environmental Accounting and Management* 1, 25-41.
- CAMPBELL, D.E., 2005. Financial accounting methods to further develop and communicate environmental accounting using energy. In: *Energy synthesis 3, theory and applications of the energy methodology*. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, USA.
- CARRERAS, J.; BOER, D.; CABEZA, L. F.; JIMÉNEZ, L.; GUILLÉN-GOSÁLBEZ, G. Eco-costs evaluation for the optimal design of buildings with lower environmental impact. *Energy and Buildings*, v. 119, p. 189–199, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.034>>

- CHARNES, A.; COOPER, W. W. Goal programming and multiple objective optimizations: Part 1. European Journal of Operational Research, v. 1, n. 1, p. 39–54, 1977. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(77\)81007-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(77)81007-2)>
- COLAPINTO, C.; JAYARAMAN, R.; MARSIGLIO, S. Multi-criteria decision analysis with goal programming in engineering, management and social sciences: a state-of-the art review. *Annals of Operations Research*, 2015.
- COOPER, R.; KAPLAN, R. S. Measure Costs Right : Make the Right Decisions. , n. October, 1988.
- COSCIEME, L.; PULSELLI, F. M.; JØRGENSEN, S. E.; BASTIANONI, S.; MARCHETTINI, N. Thermodynamics-based categorization of ecosystems in a socio-ecological context. *Ecological Modelling*, , v. 258, p. 1–8, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.02.031>
- ELLIS-NEWMAN, J., ROBINSON, P., 1998. The cost of library services: activity-based costing in an Australian academic library. *The Journal of Academic Librarianship* 24, 373-379.
- EPA. An Introduction to Environmental Accounting as a Business Management Tool: Key Concepts and Terms, 1995. Disponível em: <https://www.epa.gov/p2/introduction-environmental-accounting-business-management-tool-key-concepts-and-terms>
- EPA. Learn the Basics of Hazardous Waste, 2018 Disponível em <https://www.epa.gov/hw/learn-basics-hazardous-waste>
- ESNOUF, A.; LATRILLE, É.; STEYER, J. P.; HELIAS, A. Representativeness of environmental impact assessment methods regarding Life Cycle Inventories. *Science of the Total Environment*, , v. 621, p. 1264–1271, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.102>
- FONSECA, L. M. Strategic Drivers for Implementing Sustentávelability Programs in Portuguese Organizations—Let's Listen to Aristotle: From Triple to Quadruple Bottom Line. *Sustentávelability: The Journal of Record*, , v. 8, n. 3, p. 136–142, 2015. Disponível em: <http://online.liebertpub.com/doi/10.1089/SUS.2015.29004>
- FRANZ, E.H., 2001. Ecology, values, and policy. *Bioscience* 51, 469-474.
- FRANZ, E.H., Campbell, D.E., 2005. Vivantary responsibility and emergy accounting. In: *Emergy synthesis 3, theory and applications of the emergy methodology*. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, USA
- FRISCHKNECHT, R.; REBITZER, G. The ecoinvent database system: A comprehensive web-based LCA database. *Journal of Cleaner Production*, v. 13, p. 1337–1343, 2005.
- GARCÍA-PÉREZ, S.; SIERRA-PÉREZ, J.; BOSCHMONART-RIVES, J. Environmental assessment at the urban level combining LCA-GIS methodologies : A case study of energy retro fits in the Barcelona metropolitan area. *Building and Environment*, v. 134, n. January, p. 191–204, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.041>>
- GIBSON, R. B. Beyond the pillars: sustentávelability assessment as a framework for effective integration of social, economic and ecological considerations in significant decision-making. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, v. 8, n. 3, p. 259–280, 2006. Disponível em: <<http://www.worldscientific.com>>
- GIBSON, R. Specification of sustentávelability-based environmental assessment decision criteria and implications for determining “significance” in environmental assessment. *Canadian Environmental Assessment Agency Research and Development Programme*. , n. September 2001, p. 7–8, 2001.
- GIDDINGS, B.; HOPWOOD, B.; O'BRIEN, G. Environment, economy and society: Fitting them together into sustentávelable development. *Sustentávelable Development*, , v. 10, n. 4, p. 187–196, 2002.
- HANKS, R. W.; WEIR, J. D.; LUNDAY, B. J. Robust goal programming using different robustness echelons via norm-based and ellipsoidal uncertainty sets. *European Journal of Operational Research*, , v. 262, n. 2, p. 636–646, 2017.
- HARDIN, G., The tragedy of the commons. *Science* 162, 1243-1248, 1968.
- HERNANDEZ-PERDOMO, E. A.; MUN, J.; ROCCO, C. M. S. Active management in state-owned energy companies: Integrating a real options approach into multicriteria analysis to make companies sustentávelable. *Applied Energy*, v. 195, p. 487–502, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.068>>

- HUANG, Z.; YU, H.; CHU, X.; PENG, Z. A goal programming based model system for community energy plan. *Energy*, v. 134, p. 893–901, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.057>>
- IGLESIAS, L.; LACA, A.; HERRERO, M.; DÍAZ, M. A life cycle assessment comparison between centralized and decentralized biodiesel production from raw sunflower oil and waste cooking oils. *Journal of Cleaner Production*, v. 37, p. 162–171, 2012.
- ISO 14040, 2006. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Available at <https://www.iso.org/standard/37456.html>. Accessed on December 4<sup>th</sup>, 2018.
- ISO 14044, 2006. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. Available at <https://www.iso.org/standard/38498.html>. Accessed on December 4<sup>th</sup>, 2018.
- JONES, D.; TAMIZ, M. Practical Goal Programming. *Management Science*, v. 141, p. 11–23, 2010. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/index/10.1007/978-1-4419-5771-9>>
- KAPLAN, R. S.; ANDERSON, S. R. Time-Driven Activity-Based Costing: a simpler and more powerful path to higher profits. BOSTON, MASSACHUSETTS: HARVARD BUSINESS SCHOOL PRESS, 2007.
- KORONEOS, C. J.; NANAKI, E. A. Life cycle environmental impact assessment of a solar water heater. *Journal of Cleaner Production*, v. 37, p. 154–161, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.07.001>>
- MARCÍLIO, M. de F. de F. B. VERIFICAÇÃO DE PREMISSAS DA CONTABILIDADE AMBIENTAL EM EMERGIA: hierarquia de energia, transformidade e robustez. 2017. Universidade Paulista, 2017.
- MARINHO NETO, H.; AGOSTINHO, F.; ALMEIDA, C. M. V. B. Activity-Based Costing Using Multicriteria Drivers: An Accounting Proposal to Boost Companies Toward Sustentávelability, v. 6, n. May, p. 1–12, 2018.
- MARLER, R. T.; ARORA, J. S. Survey of multi-objective optimization methods for engineering. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, , v. 26, n. 6, p. 369–395, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00158-003-0368-6>
- MARTINS, E. Contabilidade de Custos. 9. Ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- MEADOWS, D., Meadows, D., Randers, J., Behrens III, W.W., 1972. The limits to growth. Potomac Associates, Universe Books.
- MEADOWS, D.H., Randers, J., Meadows, D., 2004. *The Limits to Growth: The 30-Year Update*. White River Junction VT: Chelsea Green Publishing Co.
- NAÇÕES UNIDADES DO BRASIL . *Sustainable Development Goals Report 2016*. UN, 2016. Disponível: <https://nacoesunidas.org/pos2015/> Visitado em 04/12/2018
- NEAD, 2004. EnergySystems.org. National Environmental Accounting Database. Disponível em: <https://cep.ees.ufl.edu/nead/data.php>. Acessado em Dezembro/2018.
- NERI, L.; AGOSTINO, A. D.; REGOLI, A.; MARIA, F.; COSCIEME, L. Evaluating dynamics of national economies through cluster analysis within the input-state-output sustentávelability framework. *Ecological Indicators*, , v. 72, p. 77–90, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.08.016>>
- ODUM, HT. Environmental accounting: ENERGY and environmental decision-making. New York: Wiley; 1996. 370
- PONISCIAKOVA, O.; GOGOLOVA, M.; IVANKOVA, K. The Use of Accounting Information System for the Management of Business Costs. *Procedia Economics and Finance*, , v. 26, n. 15, p. 418–422, 2015. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212567115008229>>
- POPE, J.; ANNANDALE, D.; MORRISON-SAUNDERS, A. Conceptualising sustentávelability assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, , v. 24, n. 6, p. 595–616, 2004.
- POPE, J. M. Facing the Gorgon : Sustentávelability assessment and policy learning in Western Australia. , 2007.
- PULSELLI, F. M.; COSCIEME, L.; BASTIANONI, S. Ecosystem services as a counterpart of energy flows to ecosystems. *Ecological Modelling*, , v. 222, n. 16, p. 2924–2928, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.04.022>>

- PULSELLI, F. M.; COSCIEME, L.; NERI, L.; REGOLI, A.; SUTTON, P. C.; LEMMI, A.; BASTIANONI, S. The world economy in a cube: A more rational structural representation of sustentabilidade. *Global Environmental Change*, v. 35, p. 41–51, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.08.002>>
- REZAIE, K.; OSTADI, B.; TORABI, S. A. Activity-based costing in flexible manufacturing systems with a case study in a forging industry. *International Journal of Production Research*, , v. 46 No 4, n. February 2008, p. 1047–1069, 2008. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/loi/tprs20>>
- RIBEIRO, O. M. Contabilidade de custos fácil. 8.ed. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.
- SCHULZE, M.; SEURING, S.; EWERING, C. Applying activity-based costing in a supply chain environment. *International Journal of Production Economics*, [s. l.], v. 135, n. 2, p. 716–725, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.10.005>
- SCHUMACHER, E.F., 1973. Small is beautiful: economics as if people mattered. Harper Perennial, New York.
- SARAIVA JÚNIOR, A. F. Decisão de mix de produtos sob a ótica do custeio baseado em atividades e tempo. Universidade de São Paulo, , 210.
- TAYLOR, P.; GARETTI, M.; TAISCH, M. Production Planning & Control : The Management of Operations Sustentável manufacturing : trends and research challenges. , n. June 2013, p. 37–41, 2012
- THORTON, D.B., 2013. Green accounting and green eyeshades twenty years later. *Critical perspectives on Accounting* 24, 438-442.
- TONELLI, F.; EVANS, S.; TATICCHI, P. Industrial sustentabilidade: challenges , perspectives , actions. *Journal of Business Innovation and Research*, , v. 7, n. 2, p. 143–163, 2013.
- TRIANNI, A.; CAGNO, E.; NERI, A. Modelling Barriers to the Adoption of Industrial Sustentabilidade. *Journal of Cleaner Production*, , 2017.
- TSAI, W.; LAI, C.; TSENG, L.; CHOU, W. Embedding management discretionary power into an ABC model for a joint products mix decision. *Int. J. Production Economics*, v. 115, p. 210–220, 2008.
- TSAI, W. H.; HUNG, S. J. Treatment and recycling system optimization with activity-based costing in WEEE reverse logistics management: An environmental supply chain perspective. *International Journal of Production Research*, , v. 47, n. 19, p. 5391–5420, 2009.
- TSAI, W. H.; LIN, T. W.; CHOU, W. C. Integrating activity-based costing and environmental cost accounting systems: a case study. *International Journal of Business and Systems Research*, v. 4, n. 2, p. 186, 2010. Disponível em: <<http://www.inderscience.com/link.php?id=30774>>
- TSAI, W. H.; SHEN, Y. S.; LEE, P. L.; CHEN, H. C.; KUO, L.; HUANG, C. C. Integrating information about the cost of carbon through activity-based costing. *Journal of Cleaner Production*, v. 36, p. 102–111, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.02.024>>
- TSAI, W. H.; CHANG, Y. C.; LIN, S. J.; CHEN, H. C.; CHU, P. Y. A green approach to the weight reduction of aircraft cabins. *Journal of Air Transport Management*, v. 40, p. 65–77, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jairtraman.2014.06.004>>
- YANG, C. H.; LEE, K. C.; CHEN, H. C. Incorporating carbon footprint with activity-based costing constraints into sustentável public transport infrastructure project decisions. *Journal of Cleaner Production*, , v. 133, p. 1154–1166, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.014>
- WACKERNAGEL, M., REES, W., 1996. Our ecological Footprint: reducing human impact on the Earth. New Society Publishers, Gabriola Island, BC
- ZOGRAFIDOU, E.; PETRIDIS, K.; PETRIDIS, N. E.; ARABATZIS, G. A financial approach to renewable energy production in Greece using goal programming. *Renewable Energy*, v. 108, p. 37–51, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2017.01.044>

## 8. ADENDOS

---

### 8.1. Apêndice 1. Modelagem LINGO11® para obter o “mix” de produtos de acordo com os direcionadores e restrições do CBA<sub>sustentável</sub>

```
min n1-p1+n2-p2+n3-p3+n4-p4+n5-p5+n6-p6+n7-p7+n8-p8+n9-p9+n10-p10+n11-p11+n12-
p12+n13-p13+n14-p14+n15-p15+n16-p16+n17-p17+n18-p18+n19-p19+n20-p20+n21-p21+n22-
p22+n23-p23+n24-p24+n25-p25+n26-p26
```

**!HÁ RELAÇÃO DOS SINAIS NAS FUNÇÃO OBJETIVO n26 e p26 tem o sinal diferente dos demais, pois sua resposta admissível é quanto maior melhor.**

ST

**!HARD CONSTRAINTS**

**!RESTRICOES RELACIONADAS AO PROCESSO PRODUTIVO**

**!Limites de capacidade de processo, relata o quanto o processo é capaz apresentando quantidades máximas e mínimas.**

```
A>8800
B>2000
C>7500
D>1600
E>7000
F>4500
G>2500
H>2400
I>3790
J>400
K>3800
L>2230
M>1100
N>700
O>26998
P>1050
Q>1000
R>6300
S>4000
T>9000
U>1100
V>2600
```

A	<=	35200
B	<=	8000
C	<=	30000
D	<=	6400
E	<=	28000
F	<=	18000
G	<=	10000
H	<=	9600
I	<=	15160
J	<=	1600
K	<=	15200
L	<=	8920
M	<=	4400
N	<=	2800
O	<=	107992
P	<=	4200
Q	<=	4000
R	<=	25200
S	<=	16000

T <= 36000  
 U <= 4400  
 V <= 10400

!LUCRO PRO PRODUTO  
 1.29154212895639A+ 1.00394398807992B+ 0.469448185763505C+ 0.551616489714046D+  
 1.16306768704099E+ 0.889062574676416F+ 0.524147830950709G+ 0.993314011410489H+  
 0.575686744457929I+ 1.45325163461327J+ 1.06941993166274K+ 0.682136358280143L+  
 1.16803462830303M+ 1.00577104603086N+ 0.635396243085436O+ 1.46780786120861P+  
 0.674331661708607Q+ 0.771459901203739R+ 0.471857725462101S+ 1.21274788369879T+  
 0.934365022311997U+ 0.603294449073833V > 250000

!Restrição de produção quanto a visão escolhida

!EMERGIA EM SEJ/UNIDADE ANO E16  
 0.0165996850174871A+ 0.0088048251262802B+ 0.00517930889781188C+  
 0.0077171702577397D+ 0.0197664624578635E+ 0.00743230826836005F+  
 0.00750999790182723G+ 0.0129482722445297H+ 0.00582672251003837I+  
 0.014372582191428J+ 0.0155638232379247K+ 0.0115757553866095L+  
 0.0179980984198963M+ 0.00906379057117079N+ 0.00719923936795851O+  
 0.0201993047014663P+ 0.0147610303587639Q+ 0.0152012716150779R+  
 0.00585261905452742S+ 0.0103586177956238T+ 0.0113944795751861U+  
 0.00725103245693663V <= 4198.4

!CUSTO UNITARIO ANUAL EM USD  
 8.07213830597746A+ 5.28391572673644B+ 4.26771077966823C+ 4.59680408095038D+  
 6.12140887916309E+ 4.44531287338208F+ 4.76498028137008G+ 5.84302359653229H+  
 4.7973895371494I+ 7.64869281375407J+ 7.12946621108495K+ 6.82136358280143L+  
 8.98488175617719M+ 5.58761692239368N+ 4.88766340834951O+ 8.63416388946242P+  
 6.74331661708607Q+ 7.0132718291249R+ 4.71857725462101S+ 6.73748824277104T+  
 6.22910014874665U+ 5.02745374228194V <= 2313919.088

!EMISSÕES

9.85089674317556A+ 5.22512463756582B+ 3.07360272797989C+ 4.57966806469004D+  
 11.7301852682833E+ 4.41061991465115F+ 4.45672395557085G+ 7.68400681994973H+  
 3.45780306897738I+ 8.52924757014421J+ 9.23617619757958K+ 6.86950209703506L+  
 10.6807694797301M+ 5.37880477396481N+ 4.27230779189205O+ 11.9870506391216P+  
 8.7597677747427Q+ 9.02102400662099R+ 3.47317108261728S+ 6.14720545595979T+  
 6.76192600155577U+ 4.30304381917185V <= 2491493.353

-----  
 !SOFT CONSTRAINTS

!LUCRO referente a 0.1 do preço do produto;

1.29154212895639A+ 1.00394398807992B+ 0.469448185763505C+ 0.551616489714046D+  
 1.16306768704099E+ 0.889062574676416F+ 0.524147830950709G+ 0.993314011410489H+  
 0.575686744457929I+ 1.45325163461327J+ 1.06941993166274K+ 0.682136358280143L+  
 1.16803462830303M+ 1.00577104603086N+ 0.635396243085436O+ 1.46780786120861P+  
 0.674331661708607Q+ 0.771459901203739R+ 0.471857725462101S+ 1.21274788369879T+  
 0.934365022311997U+ 0.603294449073833V + n26 - p26 = 0

!Restricción de EMERGIA E16

0.0165996850174871A+ 0.0088048251262802B+ 0.00517930889781188C+  
 0.0077171702577397D+ 0.0197664624578635E+ 0.00743230826836005F+  
 0.00750999790182723G+ 0.0129482722445297H+ 0.00582672251003837I+  
 0.014372582191428J+ 0.0155638232379247K+ 0.0115757553866095L+  
 0.0179980984198963M+ 0.00906379057117079N+ 0.00719923936795851O+  
 0.0201993047014663P+ 0.0147610303587639Q+ 0.0152012716150779R+

0.00585261905452742S+ 0.0103586177956238T+ 0.0113944795751861U+  
 0.00725103245693663V+ n1 - p1 = 4198.4

**!Restricciones de CUSTOS**

8.07213830597746A+ 5.28391572673644B+ 4.26771077966823C+ 4.59680408095038D+  
 6.12140887916309E+ 4.44531287338208F+ 4.76498028137008G+ 5.84302359653229H+  
 4.7973895371494I+ 7.64869281375407J+ 7.12946621108495K+ 6.82136358280143L+  
 8.98488175617719M+ 5.58761692239368N+ 4.88766340834951O+ 8.63416388946242P+  
 6.74331661708607Q+ 7.0132718291249R+ 4.71857725462101S+ 6.73748824277104T+  
 6.22910014874665U+ 5.02745374228194V+ n2 - p2 = 2313919.088

**!EMISSÕES**

9.85089674317556A+ 5.22512463756582B+ 3.07360272797989C+ 4.57966806469004D+  
 11.7301852682833E+ 4.41061991465115F+ 4.45672395557085G+ 7.68400681994973H+  
 3.45780306897738I+ 8.52924757014421J+ 9.23617619757958K+ 6.86950209703506L+  
 10.6807694797301M+ 5.37880477396481N+ 4.27230779189205O+ 11.9870506391216P+  
 8.7597677747427Q+ 9.02102400662099R+ 3.47317108261728S+ 6.14720545595979T+  
 6.76192600155577U+ 4.30304381917185V + n25 - p25 = 2491493.353

**!Restrições do tipo 1(SOS1) as variáveis de decisão podem adquirir valores = 0 e**  
**ni\*pi=0;**

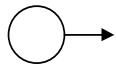
A+n3-p3=1  
 B+n4-p4=1  
 C+n5-p5=1  
 D+n6-p6=1  
 E+n7-p7=1  
 F+n8-p8=1  
 G+n9-p9=1  
 H+n10-p10=1  
 I+n11-p11=1  
 J+n12-p12=1  
 K+n13-p13=1  
 L+n14-p14=1  
 M+n15-p15=1  
 N+n16-p16=1  
 O+n17-p17=1  
 P+n18-p18=1  
 Q+n19-p19=1  
 R+n20-p20=1  
 S+n21-p21=1  
 T+n22-p22=1  
 U+n23-p23=1  
 V+n24-p24=1

END

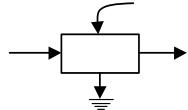
## 8.2. Anexo 1. Símbolos utilizados para elaborar diagramas de energia



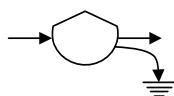
**Fluxo de energia:** um fluxo cuja vazão é proporcional ao volume do estoque ou à intensidade da fonte que o produz.



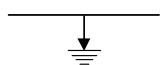
**Fonte:** um recurso externo que fornece energia de acordo com um programa controlado externamente (função força).



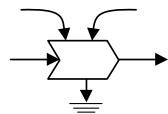
**Caixa:** símbolo de uso múltiplo que pode ser usado para representar uma unidade de consumo e produção dentro de um sistema maior, representando assim, um subsistema.



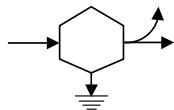
**Depósito:** uma reserva energética dentro do sistema, que guarda uma quantidade de energia de acordo com o balanço de entrada e saída (variáveis de estado).



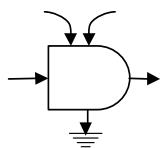
**Sumidouro de energia:** dispersão de energia potencial empregada no sistema. A energia potencial é utilizada para produzir trabalho e o custo dessa transformação é a degradação da energia, a qual abandona o sistema como energia de baixa intensidade. Todos os processos de interação e os armazenamentos dispensam energia.



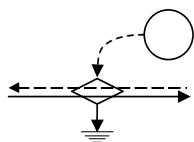
**Interação:** intersecção interativa de dois fluxos para produzir uma saída em proporção a uma função de ambos ou controle de ação de um fluxo sobre outro.



**Consumidor:** unidade que transforma a qualidade da energia, armazena e retroalimenta energia à etapa anterior (sistema autocatalítico) para melhorar o fluxo de energia que recebe.



**Produtor:** unidade que coleta e transforma energia de baixa qualidade (baixa intensidade) sob a ação de um fluxo de energia de alta qualidade.



**Transação:** uma unidade que indica a venda de bens ou serviços (linha contínua) em troca de um pagamento em dinheiro (linha tracejada). O preço é mostrado na figura como fonte de energia externa.

Fonte: (ODUM, 1996)

### 8.3. Anexo 2. Tabela Custeio Tradicional

CBA<sub>\$</sub> parte 1

CUSTOS	ATIVIDADE	A	B	C	D	E	F	G	H	I
DIRETOS	Mão de obra direta	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05
DIRETOS	Matéria-prima	4,21	2,23	1,31	1,96	2,70	1,88	1,90	3,28	1,48
DIRETOS	Corte	0,10	0,73	0,71	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	1,42
DIRETOS	Tratamento de calor	1,64	0,53	0,49	0,76	1,64	0,56	1,03	0,56	0,26
DIRETOS	Molde	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
DIRETOS	Corte a Laser	0,26	0,17	0,19	0,12	0,16	0,11	0,09	0,15	0,03
INDIRETOS	Linha de Prensa	1,60	1,41	1,38	1,47	1,32	1,59	1,43	1,50	1,41
INDIRETOS	Energia Elétrica	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
INDIRETOS	Movimentação de Material	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
INDIRETOS	Manutenção	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
INDIRETOS	Controle e inspeção	0,06	0,03	0,00	0,02	0,03	0,01	0,03	0,05	0,02
INDIRETOS	Setup por mês	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
INDIRETOS	Outros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL DE CUSTOS DIRETOS		6,40	3,84	2,88	3,11	4,77	2,85	3,30	4,28	3,37
TOTAL DE CUSTOS INDIRETOS		1,69	1,45	1,39	1,49	1,36	1,61	1,48	1,58	1,44
CUSTOS TOTAIS		8,09	5,30	4,28	4,61	6,13	4,46	4,78	5,86	4,81

CBA<sub>\$</sub> parte 2

CUSTOS	ATIVIDADE	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
DIRETOS	Mão de obra direta	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06
DIRETOS	Matéria-prima	3,64	3,94	2,93	4,56	2,30	1,82	5,12	3,74	3,85
DIRETOS	Corte	1,42	0,10	0,95	1,71	0,74	0,75	0,10	0,10	0,10
DIRETOS	Tratamento de calor	0,70	1,09	1,09	0,86	0,79	0,47	1,31	0,98	1,09
DIRETOS	Molde	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
DIRETOS	Corte a Laser	0,17	0,31	0,22	0,20	0,19	0,13	0,43	0,28	0,19
INDIRETOS	Linha de Prensa	1,38	1,41	1,41	1,39	1,37	1,49	1,37	1,39	1,53
INDIRETOS	Energia Elétrica	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
INDIRETOS	Movimentação de Material	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
INDIRETOS	Manutenção	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
INDIRETOS	Controle e inspeção	0,13	0,07	0,03	0,08	0,03	0,03	0,11	0,06	0,06
INDIRETOS	Setup por mês	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
INDIRETOS	Outros	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL DE CUSTOS DIRETOS		6,11	5,63	5,38	7,51	4,18	3,36	7,14	5,28	5,42
TOTAL DE CUSTOS INDIRETOS		1,55	1,51	1,46	1,50	1,42	1,54	1,51	1,48	1,61
CUSTOS TOTAIS		7,67	7,15	6,84	9,00	5,60	4,90	8,65	6,76	7,03

CBA<sub>s</sub> parte 3

CUSTOS	ATIVIDADE	S	T	U	V
DIRETOS	Mão de obra direta	0,06	0,05	0,06	0,05
DIRETOS	Matéria-prima	1,48	2,62	2,89	1,84
DIRETOS	Corte	1,22	0,80	1,07	1,07
DIRETOS	Tratamento de calor	0,27	1,41	0,34	0,49
DIRETOS	Molde	0,13	0,13	0,13	0,13
DIRETOS	Corte a Laser	0,02	0,26	0,04	0,09
INDIRETOS	Linha de Prensa	1,53	1,42	1,68	1,34
INDIRETOS	Energia Elétrica	0,00	0,01	0,01	0,01
INDIRETOS	Movimentação de Material	0,00	0,00	0,00	0,00
INDIRETOS	Manutenção	0,00	0,01	0,00	0,00
INDIRETOS	Controle e inspeção	0,02	0,04	0,03	0,02
INDIRETOS	Setup por mês	0,00	0,00	0,00	0,00
INDIRETOS	Outros	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL DE CUSTOS DIRETOS		6,40	3,17	5,27	4,52
TOTAL DE CUSTOS INDIRETOS		1,69	1,56	1,48	1,72
CUSTOS TOTAIS		8,09	4,73	6,75	6,24

Unidades em dólar;

Fonte: (REZAIE; OSTADI; TORABI, 2008);

Custos classificados em diretos e indiretos para obtenção do custeio CBA