

# Índice de sustentabilidade para matérias-primas e formulações químicas

Ângela Maria Marx (UFRGS, RS, Brasil) – [amarx@producao.ufrgs.br](mailto:amarx@producao.ufrgs.br)  
• UFRGS – Av. Osvaldo Aranha, 99, 5º andar, CEP: 90035-190, Porto Alegre-RS  
Istefani Carísio de Paula (UFRGS, RS, Brasil) – [istefani@producao.ufrgs.br](mailto:istefani@producao.ufrgs.br)

Recebido em: 11/08/08 Aprovado em: 06/10/08

## Resumo

*O desenvolvimento de produtos que atendam aos critérios de sustentabilidade tem se tornado uma necessidade mundial. No entanto, a maioria das técnicas utilizadas pelas empresas para medir a sustentabilidade trata apenas dos aspectos ambientais e econômicos, sem considerar os aspectos sociais da sustentabilidade. Este artigo apresenta uma matriz que considera todos esses aspectos, gerando um índice de sustentabilidade para matérias-primas (Índice S) que pode ser usado de forma direta ou para calcular o índice de sustentabilidade de uma formulação química (Índice Sf). Após a descrição do método, é apresentado um estudo de caso aplicado a detergentes, em que o Índice S foi usado para a seleção de uma matéria-prima e o Índice Sf para o redesenho de uma formulação de detergente existente e para o desenvolvimento de uma nova proposta de produto denominada, neste trabalho, de formulação conceitual. A matriz mostrou-se útil como ferramenta de suporte à decisão e disseminação do conhecimento e o uso dos índices mostrou ser eficiente no caso estudado, permitindo comparar o grau de sustentabilidade das matérias-primas e das formulações conceituais.*

**Palavras-chave:** Matriz; Índice; Sustentabilidade; Matéria-prima; Produto.

## Abstract

*Developing sustainable products has become a world demand. However, most of techniques used by companies to measure sustainability are mainly concerned about economic and environmental aspects, without considering sustainability's social issues. This paper presents a matrix that considers this triple bottom line, generating a sustainability index for raw materials (Index S), which can be used directly or to calculate the sustainability index of chemical formulations (Index Sf). After the method is described, a case study is presented on developing detergents. Index S is used for selecting raw materials, and Index Sf is used for redesigning existing products and developing a new product concept, called conceptual formulation herein. The matrix proved useful as a tool for supporting decisions and disseminating knowledge. Application of the indexes has shown to be adequate for the detergent case, allowing comparison of the degree of sustainability for raw materials and conceptual formulations.*

**Key-words:** Matrix; Index; Sustainability; Raw material; Product.

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, problemas ambientais desencadearam uma discussão mundial a respeito da sustentabilidade e da eco-eficiência de processos e produtos. Desde então, governos e indústrias vêm buscando soluções para promover o desenvolvimento sustentável através da otimização dos sistemas produtivos, da preservação dos recursos naturais e da minimização dos danos ambientais.

Do ponto de vista da engenharia de produção, as três dimensões da sustentabilidade (dimensões social, ambiental e econômica) podem ser abordadas por meio do aumento da eco-eficiência, pelo desenvolvimento, estimulando o trabalho humano, e pela criação de modelos de negócio que promovam a sustentabilidade (SELIGER e MERTINS, 2007). Da mesma forma, os produtos devem ser concebidos considerando os aspectos ambientais, sociais e econômicos de todo o ciclo de vida do produto. No entanto, a maioria das experiências, metodologias e ferramentas estão focadas apenas em dois dos três aspectos mencionados anteriormente: ecologia e economia (DIEHL e BREZET, 2004). De acordo com Guimarães (2006, p.37), “produtos, quer seja um bem de consumo, um posto de trabalho ou uma ferramenta, que não ponham em risco a saúde e a segurança dos usuários são os produtos que se deseja projetar”.

Atualmente, os esforços estão concentrados no desenvolvimento de novos produtos e tecnologias limpas, embora ainda seja preciso promover melhorias nos produtos e nos processos existentes. Neste sentido, a adoção de políticas end-of-pipe e o redesenho ambiental dos produtos são algumas das soluções mais adotadas. Apesar de parecerem simples, essas soluções demandam um profundo conhecimento a respeito dos impactos no uso dos recursos naturais que não se resumem à redução na geração de resíduos. Entre as questões que precisam ser consideradas ao realizar uma melhoria relacionada à sustentabilidade estão o consumo de água e energia, o impacto dos processos de extração e transformação da matéria-prima e as interações entre esses processos e a sociedade.

Essas melhorias podem ser facilitadas por meio da utilização de ferramentas ambientais, como a análise do ciclo de vida (LCIA – Life cycle impact assessment), e de ferramentas da qualidade, como o desdobramento da função qualidade (QFD). No entanto, para que essas melhorias sejam mediadas pela ótica da sustentabilidade, é necessária uma adaptação das técnicas tradicionais que nem sempre consideram todas as dimensões da sustentabilidade. Além disso, algumas dessas ferramentas apresentam um grau de complexidade que dificulta sua aplicação.

Este trabalho tem como objetivo propor uma matriz para a geração de um índice de sustentabilidade para matérias-primas e, conseqüentemente, para produtos desenvolvidos com elas, facilitando o redesenho de formulações existentes e o desenvolvimento de novas formulações sustentáveis. Além disso, espera-se que, ao preencher as informações relativas aos impactos das matérias-primas, a matriz contribua com a disseminação de conhecimento para toda a equipe de desenvolvimento.

Este artigo apresenta os seguintes itens: referencial teórico sobre sustentabilidade e ferramentas, metodologia, aplicação da matriz proposta em um estudo de caso relacionado com a avaliação de matérias-primas utilizadas na fabricação de detergentes, discussão dos resultados e considerações finais.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Sustentabilidade e ferramentas

Entende-se por desenvolvimento sustentável aquele que supre as necessidades das pessoas que vivem hoje sem comprometer a capacidade das futuras gerações. Essa definição enfatiza o conceito de “necessidades”, com ênfase nas necessidades essenciais das futuras gerações, e a idéia de se impor limitações ao desenvolvimento tecnológico para que o meio ambiente seja capaz de prover as necessidades humanas (KARMIERCZYK, 2002).

De acordo com Johansson (2002), nos primeiros tempos da consciência ambiental nas indústrias, o foco estava nas soluções denominadas end-of-pipe, baseadas na redução de emissões nas unidades industriais. Esta visão foi substituída, recentemente, por um foco na performance ambiental dos produtos, o que reflete uma mudança para um enfoque preventivo atuando nas causas dos problemas ambientais, isto é, os produtos. Embora esses enfoques sejam diferentes, ambos podem fazer uso de ferramentas do desenvolvimento sustentável, dentre as quais se destacam a produção mais limpa (P+L) e o eco-design.

A P+L tem como objetivo aumentar a produtividade através da otimização do uso dos recursos naturais e da melhora da performance ambiental pela redução de emissões e resíduos. Karmierczyk (2002) define P+L como uma estratégia de prevenção ambiental aplicada aos processos, produtos e serviços por meio de um projeto ecológico e economicamente eficiente. Enquanto a P+L se preocupa com os processos de produção, o eco-design é utilizado no desenvolvimento de produtos. O eco-design está focado na integração de considerações econômicas e ecológicas no processo de desenvolvimento de produto (PDP) com o objetivo de minimizar o impacto ambiental em todo o seu ciclo de vida (DIEHL e BREZET, 2004). Neste sentido, Manzini e Vezzoli (2005) indicam a existência de quatro níveis fundamentais de interferência: i) o redesenho ambiental do existente ou eco-redesign; ii) o projeto de novos produtos ou serviços que substituam os atuais, isto é, novos produtos mais sustentáveis; iii) o projeto de novos produtos-serviços intrinsecamente sustentáveis, ou seja, sistemas produto-serviço e iv) a proposta de novos cenários que correspondam ao estilo de vida sustentável e que dependem de profundas mudanças de cultura e comportamento da sociedade.

Embora diversos autores ainda considerem apenas o caráter ambiental da sustentabilidade, um produto realmente sustentável deve levar em conta os aspectos ambientais, sociais e econômicos (linha de base tripla) de todo o seu ciclo de vida durante a etapa de seu desenvolvimento ou serviço. Guimarães (2006) considera que um produto sustentável deva ser projetado para atender a necessidades locais utilizando recursos também locais. Além disso, o tempo de uso do produto deve ser o mais longo possível e seu reaproveitamento ou reciclagem deve ser facilitado. Sob a ótica do design sustentável, um produto deve: i) ter o seu conceito focado nas necessidades humanas básicas; ii) considerar a segurança e o conforto de todos os envolvidos na cadeia produtiva e iii) usar materiais disponíveis localmente, priorizando a utilização de resíduos e matérias-primas naturais (GUIMARÃES, 2006).

Como foi dito anteriormente, a maioria dos projetos de produtos sustentáveis utilizam a medida de impactos ambientais como seu principal critério de avaliação e controle. De acordo com Abele et al. (2005), o principal método para avaliar a performance ambiental de um produto é o descrito pela norma ISO14042/1997, parte integrante do Life Cycle Assessment (LCA) constante na ISO14040/1997. O Life Cycle Impact Assessment (LCIA) é utilizado para avaliar os impactos ambientais de um produto ao longo de todo o seu ciclo de vida. Inicialmente, são selecionadas as categorias de impacto ambiental a serem analisadas (emissões de CO<sub>2</sub>, consumo de energia, etc.) bem como os pontos de impacto (a saúde humana, a biodiversidade, etc.), que devem ser relacionados. Na etapa seguinte, os indicadores utilizados para avaliar os impactos ambientais devem ser classificados e caracterizados. Isso é feito por meio de uma matriz na qual os impactos ambientais recebem pesos diferenciados. O resultado desse processo é um mapeamento das emissões e sua classificação em ordem de importância. Além dessas etapas, consideradas mandatórias, podem ser acrescentados elementos opcionais, como a normalização e o agrupamento dos resultados, a avaliação através de pesos e a análise da qualidade dos dados. Essas etapas, no entanto, devem ser executadas com muito cuidado para evitar a perda de dados ou outras fontes de incertezas. A Figura 1 apresenta os passos do LCIA de acordo com a ISO14042/1997.

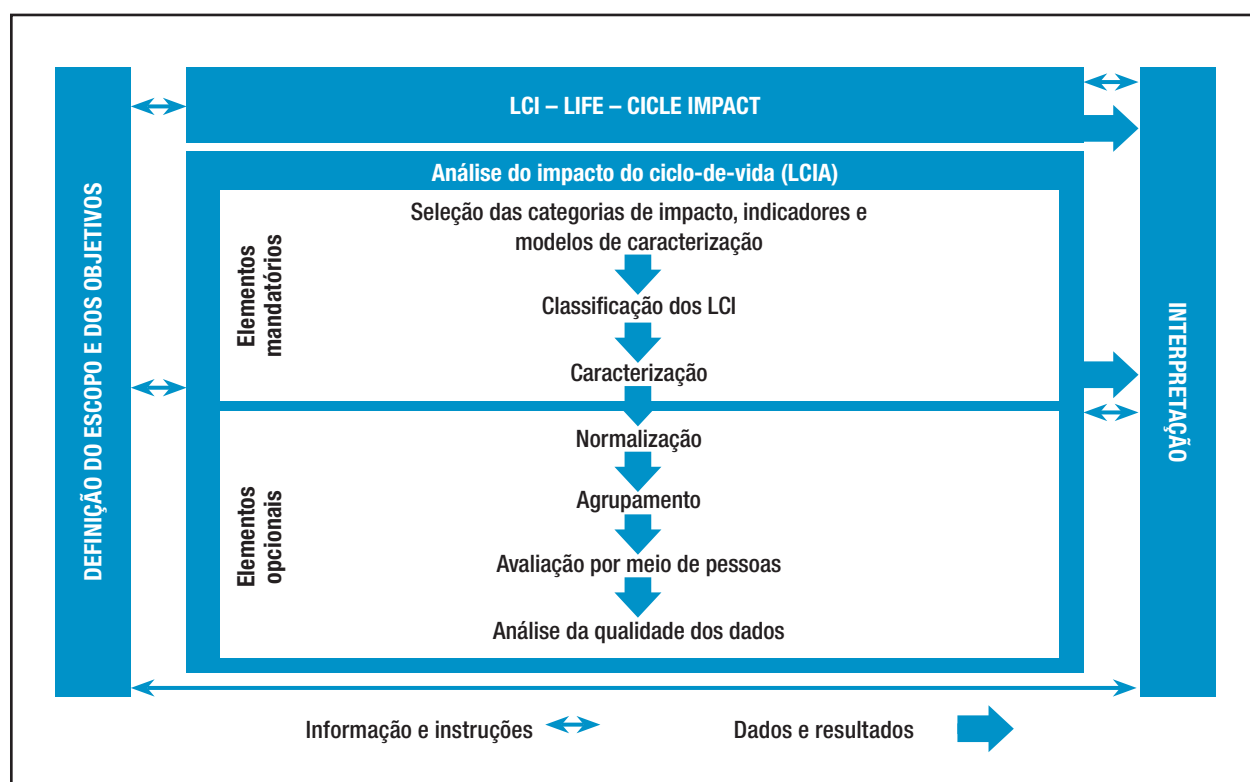


Figura 1 – Fases do LCIA de acordo com a ISSO 14042/1997.

Fonte: Adaptado de Abele, Anderl e Birkhofer (2005).

Devido à complexidade e tempo elevados para executar um LCA, diversos métodos simplificados foram desenvolvidos para serem aplicados durante o processo de desenvolvimento de produtos (PDP).

De acordo com Atik e Schulz (apud ABELE et al., 2005), experiências indicam que, nas primeiras fases do projeto de produtos, a criação de um cenário ambiental geral é suficiente para chegar a resultados que permitam dar continuidade ao processo. Os métodos mais utilizados para medir o LCIA são o Cumulated Energy Demand (CED), o Material Intensity per Service Unit (MIPS) e o Eco-indicador 95/99 (ABELE et al., 2005). Diversos estudos apontam, ainda, métodos de avaliação do impacto ambiental baseados no desdobramento da função qualidade (QFD – Quality Function Deployment). Entre esses métodos estão o QFDE – QFD for Environment desenvolvido por Masui, Sakao e Inaba (2001), o método para quantificar a eco-eficiência usando o LCIA e o QFD proposto por Kobayashi et al. (2005), o método de Halog, Schultmann e Rentz (2001) para identificar a emissão de substâncias tóxicas e o método modificado de QFD para o desenvolvimento de eco-produtos criado por Heejeong e Herrmann (2003).

Embora a criação do desenvolvimento de métodos e ferramentas para o desenvolvimento de produtos sustentáveis tenha evoluído bastante nas últimas décadas, seu enfoque permanece puramente ambiental e os aspectos sociais da sustentabilidade permanecem sem serem contemplados. Neste sentido, Goldani e Gusberti (2007) propuseram a utilização de uma matriz para a escolha de matérias-primas baseando-se nos princípios de sustentabilidade. Essa matriz foi construída a partir de requisitos considerados importantes para a seleção das matérias-primas. Esses requisitos foram agrupados em critérios, como mostra a Figura 2.

Critério	Requisitos para a seleção de matérias-primas sustentáveis
Impacto humano	Atoxidade; efeitos sobre os usuários; riscos patológicos (teratogenicidade, mutogenicidade)
Impacto ambiental	Ser um recurso renovável; ser reciclável; ser inócuo ao meio ambiente; ser biodegradável; ser ecologicamente correto
Geração de resíduos	Número de subprodutos que gera; tipo de subprodutos que gera; facilidade de eliminação no meio
Qualidade	Resistência; durabilidade; variabilidade; flexibilidade; maleabilidade; aroma; volume; conforto; rendimento; vida útil; necessidade de manutenção
Processo facilitado	Segurança no processo; simplicidade no processo; facilidade de manuseio/trabalho; facilidade de controle do processo
Disponibilidade	Disponibilidade regional; facilidade de aquisição, obtenção; abundância; logística/distribuição; confiança nos fornecedores, nos prazos de entrega e no ajuste das especificações
Custo	Preço; custo de obtenção; custo-benefício
Usabilidade	Facilidade de uso em diferentes aplicações; adaptabilidade quanto ao processo; adequação ao que se destina
Boa aparência	Cor; beleza; valor estético agregado
Mercado consumidor	Adequado aos requisitos do cliente, aceitação no mercado, demanda

Figura 2 – Requisitos agrupados em critérios de sustentabilidade.

Fonte: adaptado de GOLDANI e GUSBERTI (2006).

A partir de uma comparação pareada dos atributos em relação à sua importância na tomada de decisão, cada um dos critérios de sustentabilidade recebeu um peso diferente. Dessa forma, foi criada a matriz para tomada de decisão que está representada na Figura 3.

Matérias-primas \ Critérios	Impacto humano	Impacto ambiental	Geração de resíduos	Qualidade	Processo facilitado	Disponibilidade	Custo	Usabilidade	Boa aparência	Mercado consumidor	Total
	Peso	0,341	0,171	0,114	0,085	0,068	0,057	0,049	0,043	0,038	0,034

Desfavorável: 1

Moderado: 2

Favorável: 9

Figura 3 – Matriz de tomada de decisão. Fonte: Goldani et al. (2007).

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

No que diz respeito ao objetivo geral esta é uma pesquisa exploratória. Segundo Diehl e Tatim (2004) a pesquisa exploratória tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Na maioria dos casos, envolve o levantamento bibliográfico, a realização de entrevistas com pessoas que possuem experiência prática com o problema pesquisado e a análise de exemplos que estimulem a compreensão. Em relação ao procedimento técnico foi utilizado um estudo de caso.

O ponto de partida deste trabalho foi um levantamento das matérias-primas disponíveis para a fabricação de detergentes. Isso foi feito através de consultas a profissionais da área, banco de dados de matérias-primas da empresa, opinião técnica, livros, bases de dados, brainstorming, catálogos de fabricantes e fornecedores.

As matérias-primas listadas foram inseridas em uma matriz de geração de índice de sustentabilidade construída através de uma adaptação do modelo proposto por Goldani e Gusberti (2007). A matriz original foi alterada para avaliar as matérias-primas em relação à sustentabilidade em todos os estágios de uso e de transformação.

A avaliação da sustentabilidade foi feita através dos pesos atribuídos por Goldani e Gusberti (2007) a cada um dos critérios de seleção das matérias-primas. No entanto, foi considerado o fato de que os impactos humanos, os impactos ambientais e a geração de resíduos são diferentes ao longo da cadeia produtiva e

de consumo, ou seja, uma matéria-prima cujo processo de obtenção seja potencialmente cancerígeno pode ser inofensiva para o usuário final do produto. Por esse motivo foi considerado que não é possível avaliar esses impactos de forma generalizada. Os pesos atribuídos para esses critérios foram divididos igualmente, considerando que têm importância igual: i) impactos sobre o elemento humano (usuário primário, secundário e final), ii) impacto sobre o meio-ambiente (consumo de energia, água, etc., durante os processos de obtenção, transformação e descarte de matérias-primas) e iii) geração de resíduos (durante os processos de obtenção, transformação e descarte de matérias-primas).

Para a avaliação dos impactos humanos, foram enquadrados no nível primário os usuários envolvidos na obtenção da matéria-prima, no nível secundário os usuários envolvidos na fabricação do detergente e no nível final os consumidores do produto. A avaliação dos impactos ambientais foi feita em relação a prejuízos ao meio-ambiente e ao consumo de recursos naturais nos processos de obtenção, transformação e descarte das matérias-primas. A avaliação da geração de resíduos, por sua vez, considerou a quantidade de resíduos, a possibilidade de reaproveitamento e a facilidade de eliminação no meio-ambiente.

Para o preenchimento da matriz de geração de índice de sustentabilidade apresentada na Figura 4, devem ser estabelecidas as intensidades do relacionamento entre as matérias-primas e os critérios de seleção. Neste trabalho, foram utilizados os pesos sugeridos por Mizuno e Akao (1994) em que (9) indica um relacionamento forte, (3) indica um relacionamento médio e (1) indica um relacionamento fraco. O estabelecimento dessas relações deve ser feito respondendo a seguinte pergunta: ‘qual o impacto desta matéria-prima em relação a este critério?’

	Impacto humano			Impacto ambiental			Geração de resíduos			Qualidade	Processo facilitado	Disponibilidade	Custo	Usabilidade	Boa aparência	Mercado consumidor	Índice
	Prim.	Interm.	Final	Obt.	Transf.	Desc.	Obt.	Transf.	Desc.								
Peso	0,114	0,114	0,114	0,057	0,057	0,057	0,038	0,038	0,038	0,085	0,088	0,057	0,049	0,043	0,038	0,034	1

Figura 4 – Matriz de geração do índice de sustentabilidade.

O índice de sustentabilidade (Índice S) foi calculado considerando a intensidade dos relacionamentos entre cada função (PQij) e o peso atribuído para cada um dos critérios (Peso). Foi utilizada a equação (1).

$$\text{Índice S} = \sum_{j=1}^n PQij \times \text{Peso} \quad (1)$$

Após o preenchimento da matriz, as matérias-primas, com seus respectivos índices de sustentabilidade, foram organizadas em uma lista, como a apresentada na Figura 5, que poderá ser usada para originar um banco de dados de matérias-primas.

Matéria-prima	Índice S
Matéria-prima 1	1
Matéria-prima 2	2
Matéria-prima n	n

Figura 5 – Exemplo de lista de matérias-primas com seus respectivos índices de sustentabilidade.

Após a construção da lista de matérias-primas com os Índices S, foram apresentados três casos diferentes de utilização do índice de sustentabilidade.

Na primeira aplicação da matriz, a lista de matérias-primas foi utilizada como suporte para a seleção de uma matéria-prima, entre diversas opções disponíveis, por meio da comparação direta entre os índices de sustentabilidade.

Na segunda aplicação da matriz, foi apresentada uma proposta de redesenho de um detergente existente no portfólio da empresa com base no índice de sustentabilidade da formulação (Índice Sf). O índice de sustentabilidade da fórmula original foi considerado o ponto de partida para a melhoria no produto. Dessa forma, foi calculado o índice de sustentabilidade do detergente original e, em seguida, foi gerada uma proposta de redesenho desse detergente por meio da alteração de matérias-primas.

O índice de sustentabilidade da formulação foi calculado por meio da média dos índices de sustentabilidade de suas matérias-primas. Para isso, foi utilizada a equação (2).

$$\text{Índice } S_j = (\text{Índice } S_1 + \text{Índice } S_2 + L + \text{Índice } S_n)/n \quad (2)$$

Na terceira aplicação, foi apresentada uma proposta de desenvolvimento de um novo produto, também com base no cálculo do índice de sustentabilidade das formulações. Neste caso, o produto original foi utilizado apenas como parâmetro de Índice Sf.

## 4. RESULTADOS

Neste item serão apresentados os resultados do estudo de caso aplicado à fabricação de detergentes. O estudo foi realizado em uma micro-empresa do RS que fabrica produtos detergentes e domissanitários.



## 4.1. Levantamento de matérias-primas

As matérias-primas disponíveis para a fabricação de detergentes foram identificadas de acordo com o método descrito e estão apresentadas na Figura 6.

Matérias-primas disponíveis para a fabricação de detergentes		
Ácido cítrico	Corantes naturais	Hidroxietilcelulose
Ácido clorídrico	Corantes sintéticos	Lanolina
Ácidos biliares e seus sais	EDTA	Lecitinas
Água	EHDP	Mono ou dialquil fosfatos
Álcoois graxos superiores	Enzimas	Monoetanolamida Oleica 5EO
Alquiléter sulfatos	Essências naturais	Nipagin
Alquilsulfatos	Essências sintéticas	Nipasol
Alquilsulfonatos	Estearato de trietanolamina	Oleato de trietanolamina
Amido e amido modificado	Ésteres de ácidos graxos e polióis	Óleo de mamona etoxilado
BHA	Ésteres de ácidos graxos e sacarose	Polímeros sintéticos
BHT	Ésteres de ácidos graxos polioxietilenados	Propilenoglicol
Bicarbonato de sódio	Esteróis	Sabões de potássio
Brometo de cetil-dimetilamônio	Extrato de plantas	Sabões de sódio
Carbonato de sódio	Extratos vegetais	Silicatos
Carbonatos	Formaldeído	Solventes
Carboximetilcelulose	Fosfatos	Suco de frutas
Chás	Glicerina	Tolueno sulfonato de sódio
Cloreto de sódio	Gomas naturais	Uréia
Cloretos de benzalcônio	Hidróxido de sódio	Vitamina C
Cocoamida DEA		Vitamina E
Cocoamida MEA		Xileno sulfonato de sódio
Cocoamida propil betaína		

Figura 6 – Lista das matérias-primas disponíveis.

## 4.2. Matriz de geração de índice de sustentabilidade

A lista de matérias-primas disponíveis foi utilizada como entrada para a matriz de geração de índice de sustentabilidade. A matriz, apresentada na Figura 7, foi construída de acordo com o proposto no método de trabalho.

	Impacto humano			Impacto ambiental			Geração de resíduos			Qualidade	Processo facilitado	Disponibilidade	Custo	Usabilidade	Boa aparência	Mercado consumidor	Índice S
	Prim.	Interm.	Final	Obt.	Transf.	Desc.	Obt.	Transf.	Desc.								
Peso	0,114	0,114	0,114	0,057	0,057	0,057	0,038	0,038	0,038	0,085	0,088	0,057	0,049	0,043	0,038	0,034	1
Ácido cítrico	1	9	9	1	9	9	1	9	9	9	9	9	3	9	9	9	7,04
Ácido clorídrico	1	1	9	1	9	1	1	3	1	3	3	9	9	9	9	9	4,52
Ácidos biliares e seus sais	9	9	9	1	9	9	9	9	9	1	1	1	1	1	1	9	7,04
Água	9	9	9	1	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7,04
Álcoois graxos superiores	3	9	9	3	9	9	3	9	9	9	3	9	3	3	3	3	6,36
Alquiléter sulfatos	1	1	3	1	3	3	1	3	3	9	9	9	9	9	9	9	4,60
Alquilsulfatos	1	3	9	1	3	3	1	3	3	9	9	9	9	9	9	9	5,51
Alquilsulfonatos	1	3	9	1	3	3	1	3	3	9	9	9	9	9	9	9	5,51
Amido e amido modificado	9	9	9	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8,66
BHA	1	3	1	1	3	1	1	3	2	9	9	9	9	3	9	9	4,15
BHT	1	3	1	1	3	1	1	3	2	9	9	9	9	3	9	9	4,15
Bicarbonato de sódio	1	3	9	3	3	9	1	9	9	3	9	9	9	9	9	9	5,91
Brometo de cetil-dimetilamônio	1	1	1	1	3	3	1	3	3	9	9	9	9	9	9	9	4,37
Carbonato de sódio	3	3	9	3	3	9	1	9	3	3	9	9	9	9	3	9	5,68
Carbonatos	9	9	9	1	3	9	1	9	9	3	9	9	9	9	9	3	7,18
Carboximetilcelulose	3	9	9	3	9	9	1	9	9	9	9	9	3	9	9	9	7,38
Chás	9	9	9	3	3	3	3	9	9	9	9	9	3	9	3	9	7,22
Cloreto de sódio	1	9	9	1	9	9	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7,41
Cloretos de benzalcônio	1	1	1	1	3	3	1	3	3	9	9	9	9	9	9	9	4,37
Cocoamida DEA	3	9	9	1	3	3	1	1	3	9	9	3	3	3	9	9	5,46
Cocoamida MEA	3	9	9	1	3	3	1	1	3	9	9	3	3	3	9	9	5,46
Cocoamida propil betaina	3	9	9	3	3	3	1	1	9	9	9	3	3	3	9	9	5,79
Corantes naturais	9	9	9	1	9	9	3	3	9	3	9	3	3	9	9	9	6,94
Corantes sintéticos	1	3	9	1	1	1	1	3	1	9	9	9	9	9	9	9	5,20
EDTA	1	9	9	1	9	3	1	3	3	9	9	9	9	9	9	9	6,53
EHDP	1	3	3	1	9	3	1	9	3	9	9	3	3	3	9	9	4,50
Enzimas	3	3	9	3	9	9	3	9	9	9	3	3	1	9	9	9	5,58
Essências naturais	9	9	9	1	9	9	3	3	9	9	9	3	3	9	9	9	7,46
Essências sintéticas	1	3	9	1	1	1	1	3	1	9	9	9	9	9	9	9	5,20
Estearato de tetranolamina	1	3	9	1	1	3	1	3	3	9	9	9	9	9	9	9	5,39
Ésteres de ácidos graxos e polióis	3	9	9	3	9	9	3	9	3	9	9	9	3	1	9	3	6,68
Ésteres de ácidos graxos e sacarose	3	9	9	3	9	9	9	9	9	9	3	3	1	3	9	3	6,37
Ésteres de ácidos graxos polioxiétilenados	1	3	9	1	3	3	1	9	3	9	9	9	1	3	9	3	4,88
Esteróis	3	9	9	3	9	9	3	9	9	1	1	1	1	1	1	1	4,76
Extrato de plantas	3	9	9	3	9	9	3	9	9	9	3	3	3	3	9	3	6,24
Extratos vegetais	9	9	9	3	9	9	9	9	9	3	3	1	3	3	3	3	6,30
Formaldeído	1	1	1	1	3	1	1	3	1	9	3	3	9	3	3	9	2,95
Fosfatos	9	9	9	1	3	1	1	9	1	9	9	9	3	9	9	9	6,84
Glicerina	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8,32
Gomas naturais	3	9	9	3	3	9	3	9	9	9	1	1	1	9	9	9	6,01
Hidróxido de sódio	1	1	3	1	3	3	1	9	1	9	3	9	3	9	9	9	4,05
Hidroxiectilcelulose	1	9	9	3	9	9	1	9	3	9	9	9	3	9	9	9	6,92
Lanolina	3	9	9	1	9	9	3	9	3	3	1	9	1	3	1	3	5,19
Leticinas	3	9	9	3	3	9	3	9	9	1	1	9	3	1	1	1	4,97
Mono ou dialquil fosfatos	3	9	9	1	3	3	1	3	1	3	1	1	9	1	3	1	3,99
Monoetanolamida Oleica 5EO	3	9	9	1	3	3	1	1	3	9	9	3	3	3	9	9	5,46
Nipagin	1	3	3	1	9	1	1	3	1	9	9	9	3	9	9	9	4,66
Nipasol	1	3	3	1	9	1	1	3	1	9	9	9	3	9	9	9	4,68
Oleato de trietanolamina	1	3	9	1	1	3	1	3	3	3	9	9	9	9	9	9	4,88
Óleo de mamona etoxilado	1	3	9	3	3	9	3	9	3	9	1	9	3	3	9	1	4,90
Polímeros sintéticos	1	9	9	1	3	1	1	3	1	9	9	9	9	9	9	9	6,00
Propilenoglicol	3	9	9	1	1	1	1	3	1	9	9	9	9	9	9	9	6,11
Sabões de potássio	3	9	3	3	3	9	3	9	9	3	9	9	9	3	1	3	5,46
Sabões de sódio	3	9	9	3	3	9	3	9	9	3	9	9	9	3	1	3	6,13
Silicatos	1	3	9	1	3	9	3	9	9	3	3	3	3	3	9	9	4,57
Solventes	1	1	3	1	1	1	1	3	1	9	1	3	1	3	9	9	2,76
Suco de frutas	9	9	9	9	9	9	3	9	9	9	3	3	1	3	9	3	7,17
Tolueno sulfonato de sódio	1	1	3	1	3	1	1	3	1	9	1	3	9	1	3	3	2,75
Uréia	1	3	3	3	3	9	1	9	3	9	3	9	9	3	3	3	4,41
Vitamina C	1	9	9	1	9	9	1	9	9	9	1	3	1	9	9	9	6,05
Vitamina E	1	9	3	1	9	3	1	9	3	3	1	3	1	9	3	9	4,06
Xileno sulfonato de sódio	1	1	3	1	3	1	1	3	1	9	1	3	9	1	3	3	2,75

Figura 7 – Matriz de geração de índice de sustentabilidade.

Esta matriz foi preenchida por especialistas e pessoas-chave da empresa que dominam as características de cada matéria-prima e seus diferentes impactos.

### 4.3. Lista de matérias-primas com índices de sustentabilidade

A partir dos resultados obtidos na matriz, as matérias-primas, com seus respectivos índices de sustentabilidade, foram organizadas em uma lista. A lista criada está apresentada na Figura 8.

Matéria-prima	Índice S	Matéria-prima	Índice S
Ácido cítrico	7,04	Ésteres de ácidos graxos e sacarose	6,37
Ácido clorídrico	4,52	Ésteres de ácidos graxos polioxietilenados	4,88
Ácidos biliares e seus sais	5,32	Esteróis	4,76
Água	7,97	Extrato de plantas	6,24
Álcoois graxos superiores	6,36	Extratos vegetais	6,30
Alquiléter sulfatos	4,60	Formaldeído	2,95
Alquilsulfatos	5,51	Fosfatos	6,84
Alquilsulfonatos	5,51	Glicerina	8,32
Amido e amido modificado	8,66	Gomas naturais	6,01
BHA	4,15	Hidróxido de sódio	4,05
BHT	4,15	Hidroxietilcelulose	6,92
Bicarbonato de sódio	5,91	Lanolina	5,19
Brometo de cetil-dimetilamônio	4,37	Lecitinas	4,97
Carbonato de sódio	5,68	Mono ou dialquil fosfatos	3,99
Carbonatos	7,18	Monoetanolamida Oleica 5EO	5,45
Carboximetilcelulose	7,38	Nipagin	4,68
Chás	7,22	Nipasol	4,68
Cloreto de sódio	7,41	Oleato de trietanolamina	4,88
Cloretos de benzalcônio	4,37	Óleo de mamona etoxilado	4,90
Cocoamida DEA	5,45	Polímeros sintéticos	6,00
Cocoamida MEA	5,45	Propilenoglicol	6,11
Cocoamida propil betaína	5,79	Sabões de potássio	5,45
Corantes naturais	6,94	Sabões de sódio	6,13
Corantes sintéticos	5,20	Silicatos	4,57
EDTA	6,53	Solventes	2,76
EHDP	4,50	Suco de frutas	7,17
Enzimas	5,58	Tolueno sulfonato de sódio	2,75
Essências naturais	7,45	Uréia	4,41
Essências sintéticas	5,20	Vitamina C	6,05
Estearato de trietanolamina	5,39	Vitamina E	4,06
Ésteres de ácidos graxos e polióis	6,68	Xileno sulfonato de sódio	2,75

Figura 8 – Lista de matérias com seus índices de sustentabilidade.

## 4.4. Aplicações do índice de sustentabilidade

Após a construção da lista de matérias-primas com seus índices de sustentabilidade, foi possível utilizar suas informações em três diferentes aplicações: i) para a comparação direta de matérias-primas; ii) como um suporte para o redesenho de um detergente existente e iii) no desenvolvimento de um novo produto para a empresa.

### 4.4.1. Aplicação 1 – Comparação de matérias-primas

A comparação direta das matérias-primas pode ser feita independentemente nos demais componentes. Isso pode ser feito comparando-se os índices de sustentabilidade de matérias-primas que possuam a mesma função dentro do produto, ou seja, que atuem como tensoativo, umectante, espumante, sobreengordurante, etc. A Figura 9 apresenta as matérias-primas que podem ser utilizadas como espessante em um detergente.

Matérias-primas: Espessantes	Índice S
Polímeros sintéticos	6
Gomas naturais	6,01
Hidroxietilcelulose	6,92
Carboximetilcelulose	7,38
Cloreto de sódio	7,41
Amido e amido modificado	8,66

Figura 9 – Índice de sustentabilidade do produto original (à esquerda) e do produto redesenhado (à direita).

Por meio dessa comparação, foi possível identificar que ‘amido e amido modificado’ apresentam-se como as matérias-primas mais sustentáveis para serem utilizadas como espessante, visto que possuem o Índice S mais elevado.

### 4.4.2. Aplicação 2 – Redesenho do produto original

No caso do detergente, o produto original da empresa apresentava algumas matérias-primas com baixo Índice S, gerando um Índice Sf baixo para o produto final. O redesenho desse produto foi realizado através da substituição de três matérias-primas: o agente alcalinizante, o corante e a essência. Dessa forma, o hidróxido de sódio foi substituído por carbonato de sódio, o corante artificial foi substituído por um corante natural e a essência artificial também foi substituída por uma essência natural. Embora o formaldeído seja a matéria-prima com pior desempenho na formulação, neste momento ainda não havia alternativas para sua substituição ou sua supressão por questões de estabilidade ou compatibilidade da própria formulação. O resultado do redesenho conceitual do detergente foi um aumento de 11,69% no índice de sustentabilidade da formulação, em comparação com o detergente original fabricado pela empresa. A Figura 10 apresenta a composição do detergente original e do produto redesenhado.

Detergente original		Redesenho do detergente (conceitual)	
Matéria-prima	Índice S	Matéria-prima	Índice S
Lauril éter sulfato de sódio	4,60	Lauril éter sulfato de sódio	4,60
Hidróxido de sódio	4,60	Carbonato de sódio	5,68
Cocoamida DEA	5,45	Cocoamida DEA	5,45
Cloreto de sódio	7,41	Cloreto de sódio	7,41
Formaldeído	2,95	Formaldeído	2,95
Essência sintética	5,20	Essência natural	7,45
Corante sintético	5,20	Corante natural	6,94
Água	7,97	Água	7,97
Índice SP = 5,423		Índice SP = 6,056	

Figura 10 – Índice de sustentabilidade do produto original (à esquerda) e do produto redesenhado (à direita).

### 4.4.3. Aplicação 3 – Desenvolvimento de um novo produto

Para o desenvolvimento de um novo detergente foram selecionadas matérias-primas com Índice S mais elevado, o que gerou um Índice Sf alto para o produto. Por se tratar de um produto novo, o tempo para a pesquisa e o desenvolvimento foi maior e a equipe pôde encontrar uma alternativa para o uso do formaldeído como antimicrobiano. A solução encontrada foi utilizar uma essência natural que tivesse propriedades antimicrobianas. A Figura 11 apresenta a composição do detergente original e do novo produto. A formulação conceitual do novo detergente resultou em um aumento de 27,48% no índice de sustentabilidade em comparação com o detergente original fabricado pela empresa. A Figura 11 apresenta a composição do detergente original e da nova formulação conceitual.

Detergente original		Redesenho do detergente (conceitual)	
Matéria-prima	Índice S	Matéria-prima	Índice S
Lauril éter sulfato de sódio	4,60	Sabão de sódio	6,13
Hidróxido de sódio	4,60	Ácido cítrico	7,04
Cocoamida DEA	5,45	Cocoamida DEA	5,45
Cloreto de sódio	7,41	Cloreto de sódio	7,41
Formaldeído	2,95	Essência natural	7,45
Essência sintética	5,20	Corante natural	6,94
Corante sintético	5,20	Água	7,97
Água	7,97	Índice SP = 6,056	
Índice SP = 5,423			

Figura 11 – Índice de sustentabilidade do produto original (à esquerda) e do novo produto (à direita).

## 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A aplicação da matriz gerou um índice de sustentabilidade para cada uma das matérias-primas, de acordo com o impacto que cada uma delas gera sobre o meio-ambiente, sobre a sociedade e sobre o processo produtivo. Embora o preenchimento da matriz seja simples, foi verificada a importância de uma equipe multifuncional e com alto nível de especialização para que as matérias-primas fossem avaliadas tecnicamente, anulando possíveis considerações subjetivas ou equivocadas.

Algumas matérias-primas apresentaram Índices S muito baixos, o que significa que são pouco sustentáveis. No entanto, embora essas matérias-primas devam ser evitadas nas formulações pela equipe de desenvolvimento, elas não podem ser descartadas da lista geral de matérias-primas da empresa, em função de uma eventual necessidade de utilizá-las, devido a restrições na formulação, na compatibilidade das matérias-primas ou no processo produtivo. Também devem ser mantidas pelos aspectos de manutenção de um histórico na empresa.

Neste estudo, as informações resultantes da matriz de geração de índice de sustentabilidade foram convertidas em uma lista de matérias-primas que foi usada nos três casos apresentados. Para que seja eficaz, essa lista deve ser continuamente atualizada por meio da adição de novas matérias-primas e pela reavaliação das matérias-primas que tenham algum dos critérios de avaliação alterado. A utilização dessa lista apresentou-se como uma alternativa simples, mas eficiente, à utilização de um banco de dados, especialmente em empresas que não dispõe desse tipo de ferramenta. No entanto, o uso de um banco de dados de matérias-primas poderia facilitar o acesso e o uso das informações, bem como agregar outras informações pertinentes relacionadas a custos e fornecedores.

Quanto à utilização dos índices de sustentabilidade gerados pela matriz, os casos apresentados demonstram a simplicidade de sua aplicação no ambiente industrial. Na primeira aplicação, o Índice S foi utilizado para a comparação de matérias-primas, demonstrando que esse índice pode ser utilizado como um filtro ambiental. Nesse caso, a equipe de desenvolvimento pode dar preferência às matérias-primas com índice mais elevado na hora de selecionar quais as matérias-primas que serão utilizadas no produto.

Na segunda aplicação, foi realizada uma melhoria em um detergente existente na empresa através da comparação dos índices de sustentabilidade do produto original e de uma proposta de redesenho desse produto. Isso permitiu comparar possíveis alterações na formulação do produto em um nível conceitual, de forma a obter uma melhoria em termos de sustentabilidade em um produto já existente no portfólio da empresa. Uma aplicação semelhante foi realizada em seguida e que apresenta uma comparação do status do produto atual da empresa com novos produtos, isto é, produtos que ainda não fazem parte do portfólio da empresa. Neste caso, o índice de sustentabilidade do produto mostrou um potencial de utilização para a definição de metas de melhoria baseadas no aumento do índice de sustentabilidade dos novos produtos, bem como na orientação da equipe de desenvolvimento.

É importante ressaltar que, em todos os casos citados, a utilização do índice de sustentabilidade gerou apenas formulações conceituais que precisam ser testadas na forma de protótipos antes de serem adotados. Isso acontece porque a decisão de manter ou retirar um componente da fórmula depende de muitos fatores, como limitações técnicas ou tecnológicas, o que deve ser julgado pela equipe de desenvolvimento.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho era propor uma matriz que gerasse um índice de sustentabilidade para matérias-primas e, conseqüentemente, para produtos. Isso facilitaria o redesenho de produtos existentes, bem como o desenvolvimento de novos produtos mais sustentáveis. De fato, este estudo demonstrou que o uso dessa ferramenta possibilitou a comparação de matérias-primas individualmente, bem como a comparação de composições/conceitos de produtos por meio dos índices de sustentabilidade.

Os resultados obtidos com o uso da matriz de geração de índice de sustentabilidade e da lista de matérias-primas indicam ser possível adaptar a fabricação de produtos químicos, como um detergente, a critérios de sustentabilidade de forma simples e prática, sem prejudicar o funcionamento da fábrica e sua rentabilidade. Sendo assim, a matriz demonstrou ser apropriada para matérias-primas e produtos químicos, mas os resultados obtidos com este trabalho não devem ser generalizados para outros produtos ou processos.

Além disso, esperava-se que, ao organizar as informações relativas aos impactos das matérias-primas, a matriz atuasse como um facilitador na disseminação de conhecimento para toda a equipe de desenvolvimento. O conhecimento a respeito das matérias-primas estava concentrado em um especialista e o uso da lista de índices de sustentabilidade demonstrou ser útil para que esse conhecimento fosse transmitido para os demais componentes da equipe. Mesmo sem a utilização de um banco de dados, a lista de matérias-primas pode ser utilizada como ferramenta de apoio até que as informações, ali contidas, se convertam em conhecimento tácito, tornando os desenvolvedores mais aptos a pensarem soluções de menor impacto desde as fases iniciais de desenvolvimento.

É importante ressaltar que os índices gerados pela matriz oferecem suporte à decisão e foram criados para simplificar o trabalho da equipe de desenvolvimento de produto nas fases iniciais de desenvolvimento, em especial no projeto conceitual. Por esse motivo, os índices de sustentabilidade gerados são úteis para serem usados internamente nas empresas, visando a melhoria da performance de seus produtos. Em função do certo grau de subjetividade presente no preenchimento da matriz, o índice de sustentabilidade para matérias-primas e produtos apresentado neste trabalho não são adequados como um padrão de sustentabilidade para a comparação com produtos externos. Neste caso, métodos como o LCIA são mais recomendados.

Como sugestão para trabalhos futuros está a aplicação da matriz de geração de índice de sustentabilidade em outros tipos de indústrias e de matérias-primas, bem como a comparação dos índices de sustentabilidade obtidos através desta matriz e de outros métodos propostos na literatura.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELE, E.; ANDERL, R.; BIRKHOFFER, H, G. **Environmentally-friendly product development: methods and tools**. Londres: Springer, 2005. 318p.
- DIEHL, J. C.; BREZET, H. Design for Sustainability: an approach for international development, transference and local implementation. In: **International conference environmental management for sustainable universities** – EMSU 2004. Monterrey, 2004. Proceedings of EMSU2004. Monterrey, p. s/n

- DIEHL, A. A.; TATIM, D. C. **Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas**. São Paulo: Prentice-Hall, 2004.
- GOLDANI, Et al. Escolha de matérias-primas com base no ecodesign e desenvolvimento sustentável: matriz de tomada de decisão. In: XIX Salão de Iniciação Científica e XVI Feira de Iniciação Científica, 2007, Porto Alegre. **XIX Salão de Iniciação Científica UFRGS – Livro de Resumos**. Porto Alegre: UFRGS, 2007. p. 241-241.
- GUIMARÃES, L. B. M. A Ecologia no Projeto de Produto: Design Sustentável, Design Verde, Ecodesign. In: GUIMARÃES, L. B. M. **Ergonomia de Produto**. 5.ed. Porto Alegre: FEENG, 2006.
- HALOG, A.; SCHULTMANN, F.; RENTZ, O. Using quality function deployment for technique selection for optimum environmental performance improvement. **Journal of Cleaner Production**, v. 9, n. 5, p. 387–394, 2001.
- HEEJEONG, Y.; HERRMANN, C. Eco-voice of consumer (VOC) on QFD. In: **3rd International symposium on environmentally conscious design and inverse manufacturing – Ecodesign 2003**. Tokyo, 2003. Proceedings of EcoDesign 2003. Tokyo, p. 618-625.
- JOHANSSON, G. Success factors for integration of ecodesign in product development: a review of state of the art. **Environmental Management and Health**, v. 13, n. 1, p. 98-107, 2002.
- KAZMIERCZYK, P. **Manual on the development of cleaner production policies approaches and instruments**. Viena: Unido CP Programme, 2002.
- KOBAYASHI ET AL. A practical method for quantifying eco-efficiency using ecodesign support tools. **Journal of Industrial Ecology**, v. 9, n. 4, p. 131–144, 2005.
- MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. 1.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005. 366p.
- MASUI, K.; SAKAO, T.; INABA, A. Quality function deployment for environment: QFDE (1st report) – a methodology in early stage of DfE. In: **2nd International symposium on environmentally conscious design and inverse manufacturing – Ecodesign 2001**. Tokyo, 2001. Proceedings of EcoDesign 2001. Tokyo, p. 852-857.
- MIZUNO, S.; AKAO, Y. **QFD: the customer-driven approach to quality planning and development**. Tokyo: Asian Productivity Association. 1994. 365p.
- SELIGER, G.; MERTINS, K. **Sustainability in Production Engineering**. 4th BMBF – Forum for sustainability. Leipzig, 2007. Proceedings of 4th BMBF. Disponível em: <[http://www.fona.de/pdf/forum/2007/C\\_5\\_02\\_Seliger\\_abstract\\_L2L\\_2007.pdf](http://www.fona.de/pdf/forum/2007/C_5_02_Seliger_abstract_L2L_2007.pdf)>. Acesso em: 25 jul. 2008.
- WCED – **World Commission on Environment and Development**. Our common Future, 1987. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>>. Acesso em: 10 set. 2008.