ANÁLISE DE ECOEFICIENCIA DE JANELAS

SÃO PAULO

2016

Sumário

1. INTRODUÇÃO **3**

2. METODOLOGIA **4**

a. Pilar Ambiental 4

b. Pilar Econômico 5

c. Fatores de Percepção Social 6

d. Fatores de Relevância 6

e. Expressão dos Resultados 8

3. OBJETIVO 9

4. ESCOPO 9

5. REQUISITOS DE QUALIDADE DOS DADOS 9

6. FONTES DE DADOS 10

7. CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS 12

8. PREMISSAS E HIPÓTESES 12

9. REVISÃO CRTÍICA 16

10. UNIDADE FUNCIONAL 16

11. SISTEMA DE PRODUTO JANELAS 17

12. PROCESSOS ELEMENTARES DO SISTEMA DE PRODUTO 18

13. AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DAS CATEGORIAS AMBIENTAIS 18

14. FATORES DE RELEVÂNCIA DA AEE JANELAS 19

15. CATEGORIAS DE IMPACTO AMBIENTAL – RESULTADOS 21

a. Consumo Acumulado de Energia (31%) 21

b. Consumo de Recursos Abióticos (22%) 21

c. Potencial de Toxicidade Humana (18%) 22

d. Potencial de Acidentes e Doenças Ocupacionais (14%) 23

e. Geração de Resíduos Sólidos (6,1%) 24

f. Emissão de Efluentes Líquidos (2,3%) 25

g. Aquecimento global (2%) 27

h. Potencial de Acidificação (1,9%) 28

i. Uso da Terra (1%) 29

j. Potencial de Formação Fotoquímica de Ozônio (0,8%) 30

k. Potencial de Depleção da Camada de Ozônio (0,3%) 31

16. AVALIAÇÃO ECONÔMICA 33

17. MATRIZ DE ECOEFICIÊNCIA 33

18. CENÁRIO – RECICLAGEM DAS ESQUADRIAS E EMBALAGENS 34

19. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES 35

20. REFERÊNCIAS 36

PVC
Não dá para imaginar a vida moderna sem ele

1. INTRODUÇÃO

Este relatório se refere a uma Análise de Ecoeficiencia de Janelas, realizada pela Fundação Espaço ECO® para o Instituto do PVC, entre os anos de 2012 e 2013. A ferramenta de Análise de Ecoeficiencia permite comparar produtos e processos tendo em vista aspectos ambientais e econômicos, de acordo com a série de normas NBR ISO 14040 – Avaliação de Ciclo de Vida (ACV).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013) existem cerca de 65,1 milhões de residências no Brasil; cerca de 12% dessas residências são habitadas por apenas um morador e a tendência é de que o número de moradores sozinhos continue aumentando. De acordo com um estudo feito pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) em 2010, cada unidade habitacional demanda em média 10 esquadrias. Analisando esses números com os crescentes números da construção civil no Brasil (residências e edificações) é possível identificar a importância de se para se analisar os tipos de materiais e tecnologias que irão compor essas esquadrias.

Em vigor desde 2013, a ABNT NBR 15.575:2013 normatiza padrões de desempenho mínimo ao longo da vida útil para os elementos principais (como estrutura, vedações, instalações elétricas e hidrossanitárias, pisos, fachada e cobertura) de toda e qualquer edificação habitacional. Isto significa, para todos os setores produtivos que participam do mercado de construção, que o padrão de qualidade e durabilidade terá que ser elevado.

Atualmente, segundo a Associação Nacional de Fabricantes de Esquadrias de Alumínio (AFEAL), o mercado brasileiro de esquadrias está divido em 40% dos produtos confeccionados em madeira, 39% em aço, 20% em alumínio e 1% em PVC.

No contexto apresentado pela AFEAL e pelas normas ABNT NBR 10.821 e 15.575, foi avaliado o desempenho econômico e ambiental de tecnologias e materiais para produção, montagem, instalação, uso, manutenção e disposição final de janelas, a fim de identificar quais alternativas proporcionam o melhor padrão de consumo:

- Janela de PVC: modelo linha Europa da Claris, sendo uma janela veneziana de correr de 1m x 1m da cor branca, constituída de três folhas de PVC, uma folha veneziana móvel, uma folha de vidro móvel com espessura de vidro de cinco milímetros e uma folha cega fixa.

- Janela de alumínio: janela veneziana de correr de 1m x 1m na cor branca, constituída de três folhas de Alumínio, uma folha veneziana móvel, uma folha de vidro móvel com espessura de vidro de cinco milímetros e uma folha cega fixa.

2. METODOLOGIA

A metodologia da Análise de Ecoeficiência, utilizada neste estudo, foi desenvolvida pela BASF SE, na Alemanha, na década de 1990. A primeira versão da metodologia foi inicialmente utilizada em 1996 e passa por constantes aperfeiçoamentos em sua modelagem. Pode ser considerada como uma técnica de gestão que visa avaliar o desempenho ambiental de produtos, processos e serviços de forma a integrar uma avaliação econômica. A análise de ecoeficiência tem como base a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida conforme a série de normas ISO 14040 e é usada principalmente para a comparação de produtos que cumpram uma mesma função, visando a geração de subsídios para a tomada de decisão em diversos níveis.

A definição do Escopo do Projeto passa, necessariamente, pela

- Definição da função;
- Definição da unidade funcional;
- Seleção de processos ou produtos alternativos que satisfaçam a mesma necessidade do cliente;
- Determinação dos limites da cadeia de valor agregado.

A Análise de Ecoeficiência é realizada em três etapas. Na primeira, seis categorias de impacto ambiental são avaliadas e os indicadores individuais de cada categoria de impacto são representados no diagrama denominado Impressão Ambiental. Após ponderação os resultados são expressos segundo um único índice ambiental, conforme pode ser observado na Figura 1.

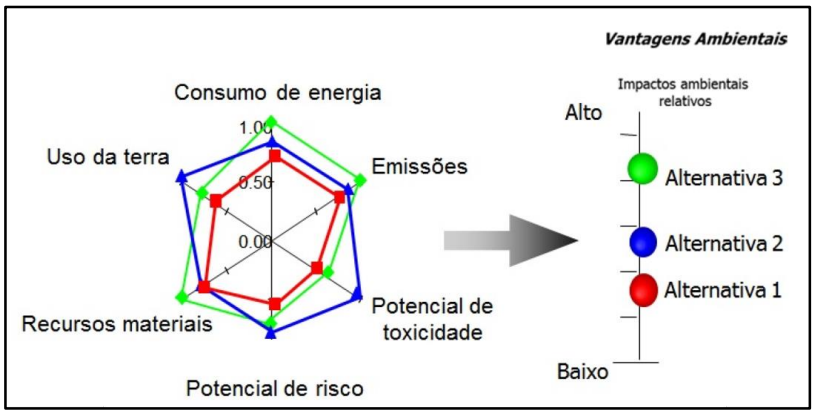


Figura 1: Impressão Ambiental e Índices Ambientais Relativos

a. Pilar Ambiental

O estudo da vertente ambiental consiste na obtenção de um índice ambiental para cada alternativa estudada.

O desempenho ambiental de cada produto, processo ou serviço é determinado com base em seis macro categorias de impacto ambiental: Consumo de Energia, Consumo de Recursos Naturais, Rejeitos/Emissões, Uso da Terra, Potencial de Toxicidade Humana e Potencial de Risco de Acidentes e Doenças Ocupacionais.

A classe Rejeitos (ou Emissões) ainda é subdivida em três categorias: Resíduos Sólidos, Efluentes Líquidos e Emissões Atmosféricas (que por sua vez é novamente subdividida em outras 4 categorias de potenciais impactos ambientais).

Para obtenção dos dados necessários para a condução do estudo são mapeadas as principais fontes de informação, sejam elas literatura técnica (dados secundários) ou medições e dados disponibilizados e validados (dados primários).

O consumo de recursos naturais e energia, as emissões e o uso da terra são determinados quantitativamente através da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ISO 14040:2009). O Potencial de Toxicidade Humana é estimado segundo metodologia desenvolvida pela BASF SE. Potencial de Riscos de Acidentes e Doenças Ocupacionais, para as pessoas envolvidas em cada estágio do ciclo de vida, consideram os acidentes ocorridos e as doenças ocupacionais decorrentes das atividades envolvidas nos processos em estudo.

Os valores obtidos para cada categoria de impacto são então normalizados para que possa haver a comparação entre as alternativas. Desta forma, torna-se possível uma avaliação preliminar com a identificação das categorias de impacto menos favoráveis (com valor igual a um) e das categorias de impacto mais favoráveis (com valores proporcionais, menores que um) para cada alternativa, através do gráfico denominado "Impressão Ambiental".

Posteriormente, estas seis categorias de impacto são agregadas a um único indicador através de um sistema de ponderação que considera dois tipos de fatores expressos em percentuais: Fator de Percepção Social e Fator de Relevância.

b. Pilar Econômico

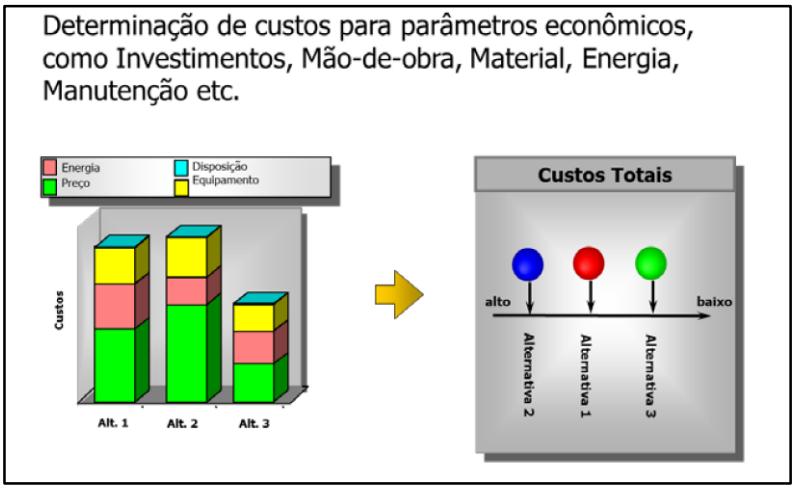
Da mesma forma que se procede com relação ao pilar ambiental, os impactos econômicos totais são também avaliados durante todo o ciclo de vida.

O impacto econômico total de um sistema pode refletir distintos conceitos, dependendo do objetivo do estudo. Pode corresponder aos custos totais de produção, ao valor de venda dos produtos ou serviços no setor de economia em estudo, ou ainda à rentabilidade do empreendimento (Figura 2). Assim como para o cálculo dos fatores de relevância ambiental, calcula-

se um fator que reflete o impacto econômico total da atividade específica com relação à economia do país ou região em estudo.

Os impactos econômicos contabilizam os custos reais que ocorrem em função da atividade imediata, e os custos decorrentes, que ocorrerão no futuro (manutenções, por exemplo). Custos reais que tenham um aspecto ambiental, por exemplo, os custos de unidades de tratamento de água, são também incluídos no cálculo global.

Os custos contraídos são somados e combinados em valores de moeda nacional. Isso ajuda a identificar e, em certos casos otimizar, áreas de custo particularmente importantes.



F*igura 2: Impacto econômico*

c. Fatores de Percepção Social

Para obtenção desses fatores, é avaliada a percepção de representantes da sociedade sobre a importância relativa de cada uma das categorias de impacto ambiental estudadas. São realizadas pesquisas com coleta de opinião pública, entrevistas com especialistas e técnicos, público acadêmico etc. Esses fatores, expressos em porcentagem, são constantes para todas as análises de Ecoeficiência realizadas.

d. Fatores de Relevância

Os fatores de relevância indicam o quão importante é o impacto individual de cada categoria de impacto ambiental para uma Análise de Ecoeficiência particular. A finalidade é definir os 'fatores de ponderação científicos'. Quanto maior for a contribuição de uma emissão ou consumo de determinado recurso, no processo em investigação, para a totalidade de emissões ou consumos (materiais e energéticos) gerada no país no qual este processo está sendo estudado, maior será o fator de relevância. Isso

impede que emissões ou consumos muito pequenos, que podem ser insignificantes para a situação de emissão ou consumo total em uma determinada localidade (país ou região), sejam hiper avaliados e outras emissões ou consumos, maiores e decisivos, sejam subavaliados.

Os fatores de relevância determinam as principais influências das categorias de impacto ambiental para o conjunto de alternativas em estudo, que representam determinado sistema de produção ou serviço. Considera-se, ainda, a importância econômica desta atividade na região em estudo, o que convencionamos chamar de Relevância do Produto Interno Bruto – PIB.

Os custos totais de um sistema podem ser relativos às vendas totais da indústria manufatureira do setor da economia em estudo. Compondo o cálculo dos fatores de relevância ambiental total, tem-se uma variável adicional que reflete a relevância dos custos inerentes às atividades em estudo, a chamada ”Relevância de Custos”. Esta reflete até que ponto as alternativas estudadas contribuem com a economia de um país (expressa pelo seu PIB - Produto Interno Bruto).

Esta relação resulta na equação que expressa o Fator de Relevância (Figura 3):

$$\frac{\text{Relevância Ambiental}}{\text{Relevância de Custos}} = \textit{razão A/C}$$

Figura 3: Razão Relevância Ambiental/Relevância de Custos

Quanto maiores forem os fatores de relevância de cada categoria de impacto ambiental (Figura 4), maior será a importância individual de cada uma destas categorias para o produto ou processo considerado, dado o conjunto de alternativas em comparação.

PVC
Não dá para imaginar a vida moderna sem ele

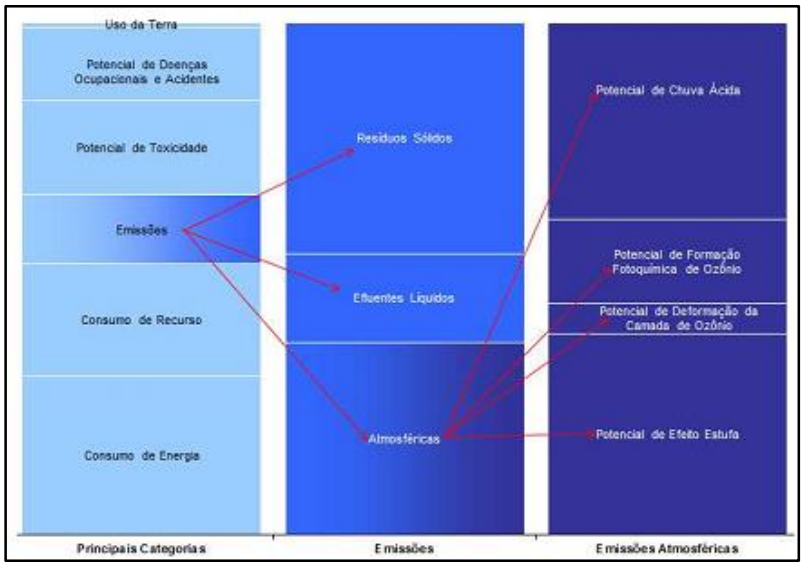


Figura 4: Fatores de Relevância

e. Expressão dos resultados

O resultado da análise é apresentado na Matriz da Ecoeficiência (Figura 5). Produtos ou processos com baixo custo e baixo impacto ambiental (mais ecoeficientes) ficam posicionados no quadrante superior direito do gráfico.

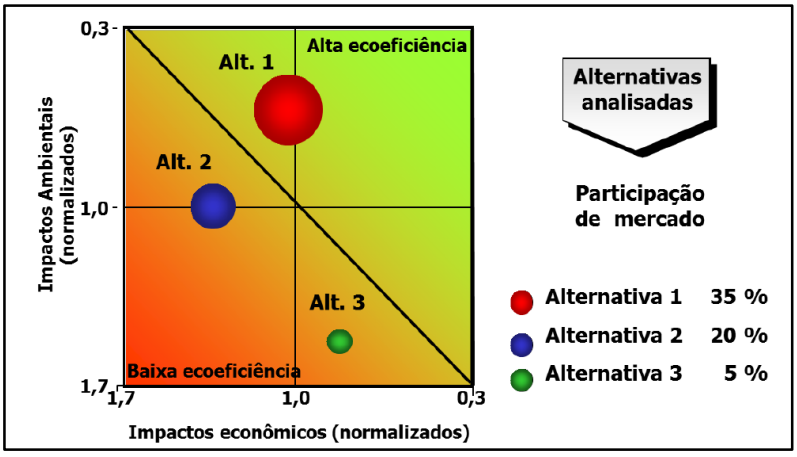


Figura 5: Matriz de Ecoeficiência

3. OBJETIVO

O estudo teve como objetivo a comparação do desempenho ambiental e econômico de tecnologias distintas no atendimento da função produzir, usar e dispor uma janela veneziana de correr de três folhas, por um período determinado e em condições de temperatura constantes ao longo do tempo de utilização, na Região Metropolitana de São Paulo.

Para a comparação, adotou-se como Unidade Funcional: produzir uma janela de 1,00 m² do tipo veneziana de correr de três folhas e mantê-la durante 40 anos, conservando a temperatura interna do cômodo em 24°C. Para o caso base foi considerada a fase de uso na cidade de São Paulo e realizados cenários considerando o uso das janelas nas cidades de Curitiba e Natal.

Para atender a esta necessidade, além dos custos econômicos envolvidos, as tecnologias para produzir janelas consomem recursos – fontes de energia e materiais (utilizados, por exemplo, em sua produção, montagem, instalação e manutenção) – e, portanto, geram impactos ambientais e econômicos. Além dos aspectos associados às etapas de obtenção de matéria-prima, devem ser considerados também aspectos relativos à etapa de uso/manutenção da janela e, posteriormente, à disposição final de seus rejeitos, gerados ao longo de todo seu ciclo de vida.

4. ESCOPO

Para este estudo decidiu-se considerar todos os processos elementares associados à produção, montagem, instalação, utilização, manutenção e descomissionamento das janelas, adotando a abordagem berço até o túmulo.

Assim, a determinação dos requisitos de qualidade dos dados a fim de obter resultados confiáveis para o estudo foi realizada dentro do escopo do "berço ao túmulo".

5. REQUISITOS DE QUALIDADE DOS DADOS

Cobertura geográfica: a cobertura geográfica é referente às instalações industriais que ocorrem no Brasil; no caso da produção e montagem das janelas, definiu-se a cidade de Indaiatuba como ponto de referência, pois as fábricas de esquadrias de PVC e alumínio no estado de São Paulo estão situadas nessa região; na etapa de instalação e utilização das janelas, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) abrange a etapa de uso e também de disposição final das alternativas em análise. A escolha pela RMSP é justificada por esta representar o maior mercado consumidor de janelas no país.

Cobertura temporal: estabeleceu-se que os dados primários foram coletados de maneira contínua ao longo dos anos de 2011 e 2012. Tal decisão foi tomada a fim de que os dados representassem a realidade com o maior grau de acuracidade. A escolha pelo ano de 2011 é justificada por este representar o período com dados ainda atuais e confiáveis para a modelagem. Para atualização da resina de PVC produzida pela Braskem nas plantas de Alagoas e Camaçari, foram utilizados dados de 2008 e 2009 devido à confiabilidade dos dados não haver sofrido influência das várias modernizações recentemente implementadas nas plantas produtivas.

Cobertura tecnológica: para efeito desta avaliação foi adotado que a cobertura tecnológica seria a estimativa mais próxima da própria tecnologia produtiva dos sistemas descritos. A escolha por estes modelos de tecnologia para janelas é justificada por estas representarem os modelos com maior participação no mercado consumidor residencial da região e por serem modelos de janela que apresentam a maior área de esquadria ou influência dos materiais que constituem as janelas, ou seja, é possível avaliar com mais propriedade os componentes específicos de PVC e alumínio nelas empregados.

Quanto à precisão da informação no estudo, compreende-se que a incerteza dos resultados é função da incerteza dos dados utilizados (dados primários ou secundários) e que, sendo equiparáveis nas duas alternativas estudadas, a consistência do estudo é assegurada.

A modelagem adotada para a determinação dos aspectos ambientais e econômicos associados aos estágios do ciclo de vida de cada alternativa adotou uma abordagem tradicional do método de Análise de Ecoeficiência (AEE) (NSF, 2012), na qual se busca a maior completeza para todas as alternativas analisadas, além da utilização de premissas de uma abordagem conservadora na qual não há benefícios para nenhuma das alternativas. Em termos do escopo dos aspectos sociais, a avaliação de desempenho social é baseada apenas em indicadores que puderam ser quantificados para todas as alternativas de janelas. As informações utilizadas oferecem a avaliação de um recorte da chamada dimensão social. Assim a interpretação dos resultados deve seguir uma conduta mais conservadora.

6. FONTES DOS DADOS

Os inventários considerados neste projeto foram constituídos parte por informações primárias (coletadas na fonte) e parte por informações secundárias (coletadas em bancos de dados ou literatura técnica ou científica).

As principais fontes de informação utilizadas pelo Instituto do PVC, parceiros e a Fundação Espaço ECO® para aquisição e interpretação dos dados foram:

- FISPQ (Ficha de Informação de Segurança para Produto Químico), MSDS (Material Safety Data Sheet), Fichas de Emergência, Informativos Técnicos para as diversas matérias-primas de entrada nos processos;

- Normas Técnicas – ABNT NBR ISO 14040:2009 e 14044:2009 (série 14040);

- Normas Técnicas – ABNT NBR 10.821:2011 e 15.575:2013;

- Coleta de dados primários, para as seguintes atividades:

- Processo de produção da suspensão de PVC na Braskem, plantas de Alagoas e Camaçari, fornecido pela Braskem;
- Processo de extrusão (esquadria) e montagem da janela de PVC; fornecido pelas empresas Tigre e Claris, nas plantas de Rio Claro e Indaiatuba, respectivamente.
- Processo de instalação e manutenção da janela de PVC em residências, fornecido pela Claris.

- Análise de transmitância térmica, calculada com base no software Therm, de acordo com a Norma ISO 10077, pelo Eng. Prof. Dr. Fernando Westphal, do Laboratório de Conforto Ambiental (LabCon) da Universidade Federal de Santa Catarina (USFC);

- Modelagens de eficiência energética e conforto térmico das janelas realizado pela FEE®, estão de acordo com dados primários, médias de temperaturas e radiações horárias na RMSP, medidos pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos.

Dados referentes às condições de contorno às etapas do estudo, ao longo de seu ciclo de vida (considerando o sistema de produto - produção, extrusão, montagem, uso, e disposição final), bem como aos transportes envolvidos, utilidades como energia elétrica, água e ocupação da terra foram obtidos a partir de fontes secundárias. Em determinados casos, dada a ausência de medições dos dados requeridos, foram também utilizados dados secundários da literatura técnica, bancos de dados internacionais, como o software Boustead 5.0.11. Assim, além das fontes de dados supracitadas, este estudo de AEE fez uso de dados coletados junto a bancos de dados de ACV internacionais, nos casos de processos elementares ou subsistemas que não dispunham de dados nacionais confiáveis.

- Coleta de dados secundários das seguintes atividades:

- Processo de extração de bauxita e produção do alumínio, representando uma média brasileira; extrusão representando as médias europeias de produção, provenientes de dados da *European Aluminium Association* (EAA), modelados no banco de dados ©Boustead;
- Processo de montagem, instalação e manutenção da janela de alumínio;

- Banco de Dados de Análise de Ciclo de Vida *Boustead 5.0.11*, de ©Boustead Consulting Ltda;

- Dados de eficiência energética do sistema de ar condicionado e consumo de energia elétrica, definidos a partir do Programa Brasileiro de Etiquetagem do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro);

- Dados do preço do kWh de energia elétrica, coletados no site da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2013.

7. CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS

A decisão acerca da exclusão de aspectos ambientais seguiu critérios estabelecidos de acordo com as determinações da norma ABNT NBR ISO 14044:2009, que podem ser em efetivo de duas naturezas: contribuição cumulativa material ou energética da entrada específica em relação ao total de entradas ou saídas do processo elementar. Tais critérios estabelecem a possibilidade de se excluir esta entrada, caso seu valor, em massa ou energia, corresponda em termos cumulativos a menos de 1% do total de entradas ou saídas a que ele se associa, exceto quando esta apresente relevância ambiental, o que justificaria sua reinclusão nas entradas do sistema.

8. PREMISSAS E HIPÓTESES

Além dos requisitos acima mencionados, a modelagem dos sistemas de produto em análise considerou algumas premissas específicas para efeito de construção de Inventários do Ciclo de Vida (ICVs).

As premissas adotadas compreendem:

- Desconsideração de aspectos ambientais associados à produção de bens de capital e de utilização de mão-de-obra (o mesmo ocorre com relação aos aspectos associados às estruturas comuns aos sistemas comparados, que foram desconsideradas - infraestrutura de instalação, como materiais de construção, encanamentos, etc.);

- Desconsideração de aspectos ambientais da fabricação de embalagens de produtos intermediários;

- Na etapa de transporte contabilizaram-se apenas emissões atmosféricas ocorridas pela queima do combustível (diesel de origem petroquímica) por ocasião do deslocamento dos caminhões e navios entre os pontos de origem e destino que definiram cada deslocamento;

- Aspectos ambientais decorrentes da construção de vias de rodagem, fabricação dos caminhões e navios, bem como de seu uso não foram considerados;

- Supôs-se que os caminhões retornariam vazios aos pontos de origem de seus traslados. Esta consideração é equivalente àquela em que um caminhão cumprisse uma viagem ininterrupta de ida e volta, transportando metade da sua capacidade de carga;

- Os transportes das principais matérias-primas tiveram seus impactos contabilizados no estudo; assumiu-se que as distâncias mais relevantes são provenientes do transporte das matérias-primas nafta e bauxita, para produção dos intermediários PVC e alumínio utilizados para a confecção das respectivas esquadrias.

- Desconsiderou-se o transporte da salmoura para a produção do PVC devido à localização da matéria-prima estar muito próxima das plantas produtivas da Braskem em Alagoas e Camaçari;

- Para os transportes da matéria-prima nafta, considerou-se o relatório Balanço de Petróleo da Agência Nacional de Petróleo (ANP, 2012), o qual informa que 84% desta é importado, significando ter havido transporte marítimo proveniente da Argélia (54%), Argentina (21%) e Venezuela (9%); os outros 16% seriam provenientes do Recôncavo Baiano;

- Foi considerado que a nafta foi transportada até as plantas da Braskem em Alagoas e Camaçari para o processo de produção da suspensão de PVC, transportada, em seguida, para a planta da Tigre em Rio Claro para a extrusão do PVC. Posteriormente as esquadrias foram transportadas para a planta da Claris em Indaiatuba, onde ocorreu a montagem das janelas, finalmente transportadas para a RMSP onde se encontram as revendedoras;

- Foi considerado o transporte da matéria-prima bauxita proveniente da Serra de Carajás (PA), a qual é responsável por 95% das reservas brasileiras, de acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2010);

- Para a produção da janela de alumínio foram assumidos os seguintes transportes rodoviários: bauxita proveniente da Serra de Carajás até as plantas da Alunorte, Alcoa e CBA; processamento da bauxita e transformação em alumina e barras de alumínio, transporte até a cidade de Indaiatuba (onde se assumiu que as janelas de alumínio são montadas) e em seguida transporte até a RMSP, para as revendedoras;

- O transporte para a reciclagem de PVC e alumínio foi considerado somente na fase de montagem das janelas, onde se tem o controle da destinação final. Sendo assim, as aparas de PVC que foram geradas em Indaiatuba

na fase de montagem foram transportadas para Rio Claro, entrando no processo de extrusão para tubos de conexão; já as aparas de alumínio advindas do reforço estrutural da janela de PVC e da montagem da janela de Alumínio foram encaminhadas para a empresa *Cake Work* Comércio em Indaiatuba;

- Considerou-se no processo de extrusão (esquadrias) e reciclagem do refugo do alumínio, uma perda de 3,16% para cada processo. Para a extrusão do PVC, considerou-se existir uma perda de 14%, porém, para o refugo de PVC, considerou-se perda nula em seu processo de reciclagem, uma vez que estas aparas entram no processo de extrusão para tubos de conexão da empresa Tigre;

- Devido à utilização do refugo de PVC e de alumínio gerado em sua fase de extrusão para a produção de esquadrias, todo potencial de impacto ambiental associado à geração e reciclagem deste refugo foi subtraída da carga ambiental associada às janelas de PVC e Alumínio;

- O transporte para aterrar ou reciclar, na fase de disposição final das janelas, foi desconsiderado, tendo sido assumido como equivalente para fins de cálculo, devido à sua incerteza de reciclagem e retorno para a cadeia de esquadrias;

- A geração e a transmissão de energia elétrica no Brasil foram inventariadas com base nos dados da matriz energética brasileira, coletados a partir do Balanço Energético Nacional (BEN) (MME, 2012);

- Considerou-se a mesma composição e espessura (5 mm) de vidro para as duas janelas em estudo;

- Desconsiderou-se a limpeza das janelas, pois além de ser igual para ambas as alternativas, a contribuição das entradas no sistema de produto não atinge 1% em valores mássicos;

- Foi assumido, de acordo com o estudo do Dr. José Baldasano, "*Estimate of energy consumption and CO_2 emission associated with the production, use and final disposal of PVC, aluminium and wooden windows*" (Baldasano, 2006), que para as fases de montagem e instalação de ambas as janelas é necessário um montante de energia equivalente a 4,8 kWh e 0,08 kWh respectivamente;

- Considerou-se o mesmo período (intervalo entre manutenções) e materiais para a manutenção de ambas as janelas;

- Para a categoria de impacto ambiental Uso da Terra foi considerada somente a área necessária para a fase de montagem das janelas, ou seja, suas áreas fabris, assumindo a premissa de que a área de montagem da janela de alumínio foi uma média entre duas empresas produtoras, JC e Atlântica esquadrias;

- Para a categoria de Potencial de Acidentes e Doenças Ocupacionais foram considerados somente dados de pré-cadeia, obtidos através do Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho (BRASIL, 2009);

- A vida útil das janelas foi considerada igual em ambas alternativas, seguindo a norma ABNT NBR 15.575, que normatiza padrões de desempenho para determinados itens em uma edificação;

- A destinação final dos materiais e embalagens utilizados quer na instalação quer na manutenção das janelas, assim como os resíduos gerados quando do descomissionamento das mesmas após 40 anos de uso, foi considerada como sendo o aterro sanitário;

- Como cenário alternativo ao Caso Base, considerou-se a reciclagem das esquadrias e das embalagens geradas pelas janelas como a destinação dada ao final de sua vida útil. Para a embalagem de madeira, foi realizada uma recuperação energética, devido ao poder calorífico da madeira (poder calorífico para 1 kg de madeira igual a 20,59 MJ);

- Desenvolveu-se um estudo dos fatores U (transmitância térmica) das janelas de PVC e Alumínio pelo Eng. Prof. Dr. Fernando Westphal, da Universidade Federal de Santa Catarina, a fim de entender a capacidade de isolamento térmico das janelas;

- Foi realizada uma modelagem de eficiência energética pela FEE®, a fim de se determinar isoladamente quais seriam os desempenhos do isolamento térmico e eficiência energética das janelas;

- Para fins de análise de eficiência energética, foi adotada a temperatura interna de um cômodo como sendo de 24ºC, mantidos constantes; segundo o Eng. Prof. Dr. Fernando Westphal, da Universidade Federal de Santa Catarina, essa é uma temperatura usualmente praticada nas modelagens de eficiência energética em edificações;

- Para a análise de conforto térmico e eficiência energética das janelas, foram utilizadas médias de temperaturas e radiações (plano horizontal) horárias, de acordo com medições feitas em uma seleção de meses típicos numa série de 20 anos, de 1975 a 1996 na RMSP (medições do Departamento de Energia dos Estados Unidos); os seus valores foram extrapolados para 40 anos;

- Adotou-se, para a análise de cenários de conforto térmico e eficiência energética das janelas, as cidades de Natal e Curitiba; seus dados de temperaturas e radiações médias horárias tem como base o ano de 2008 e são provenientes do Departamento de Energia dos Estados Unidos;

- Avaliou-se o desempenho térmico e energético, assumindo as janelas como os únicos elementos possíveis de transferência de calor; foram determinados padrões de consumo específicos, climatização artificial, exclusão de cargas internas, orientação solar em um plano horizontal; foram desconsiderados materiais e componentes construtivos para paredes, pisos e forros;

- Supôs-se o padrão de consumo residencial para a análise de eficiência energética, no qual o ar condicionado é utilizado durante um período de 14 horas, das 00:00 h às 7:59 h e das 18:00 h às 23:59 h;

- Para fins de análise de impacto econômico decorrente do desempenho térmico das janelas adotou-se, para os 40 anos de uso, o valor do kWh informado pela ANEEL em 2013, de 0,24 R$/kWh.

9. REVISÃO CRÍTICA

Além da revisão crítica interna realizada por especialista não envolvido com a condução do estudo e orientada pelos procedimentos internos baseados na norma ABNT NBR ISO 14044:2009, bem como no método da Análise de Ecoeficiência, também foi conduzida uma verificação externa por terceira parte, pela TÜV Rheinland do Brasil Ltda, instituto independente para inspeção técnica e certificação

10.UNIDADE FUNCIONAL

Para a comparação, a partir de um Caso Base, entre sistemas de produção, uso e disposição final de janelas, adotou-se como Unidade Funcional: produzir uma janela de 1,00 m² e mantê-la durante 40 anos, conservando a temperatura interna do cômodo em 24°C.

A área da janela foi definida com base em padrões típicos para construções populares do tipo "Minha Casa Minha Vida" e também contêm uma medida de esquadria de 1m x 1m, conveniente para se adaptar a estudos de eficiência energética para edificações.

O tempo de vida útil foi estabelecido com base nas Normas ABNT NBR 10.821:2013 e 15.575:2013, que tratam do desempenho mínimo de elementos empregados na construção de edificações e qualidade de esquadrias.

De acordo com os estudos realizados pelo Eng. Prof. Dr. Fernando Westphal, da UFSC, a temperatura interna de 24ºC é o padrão utilizado em análises de conforto térmico; sendo assim, considera-se constante a temperatura interna ao longo dos 40 anos. Para que fosse possível demonstrar o desempenho térmico das janelas de PVC e de alumínio na RMSP, foi realizada uma modelagem de eficiência energética pelo Dr. Eng. Prof. Fernando Westphal.

Para fins de aplicação na AEE, foi aplicado o padrão residencial de consumo de ar condicionado térmico. Os cálculos dos fatores U de transmitância térmica das janelas foram aplicados a um modelo de eficiência energética que considera a temperatura e radiação média horária, ao longo do ano na RMSP; os valores foram extrapolados para 40 anos de uso das janelas.

11.SISTEMA DE PRODUTO: JANELAS

Tal como indicado no fluxograma (Figura 6), o ciclo de vida se inicia nas etapas de extração de recursos naturais para produção dos componentes de cada sistema de produção das janelas.

Neste modelo a extração e produção de matérias-primas (petróleo (PVC) ou bauxita (alumínio) e demais matérias-primas) para os elementos que compõem cada janela e a geração de recursos energéticos (nas formas elétrica e térmica) foram contempladas.

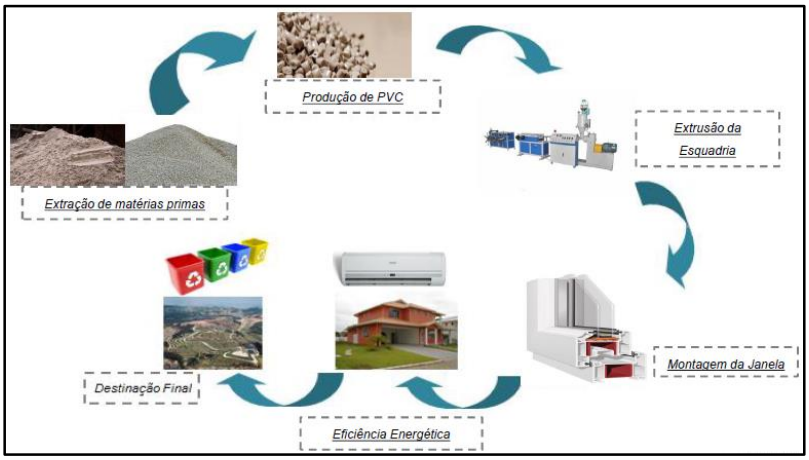


Figura 6: Fluxograma do processo de fabricação de janelas

Fazem ainda parte do mesmo arranjo a produção das utilidades – ex.: energia elétrica – envolvidas nos diversos processos; na mesma linha, os transportes dos recursos considerados em cada sistema, desde suas origens até a revenda também são considerados.

Admitiu-se que, uma vez efetuada a montagem das janelas, as mesmas seriam transportadas até o local de revenda na RMSP e a partir desse ponto o transporte para alguma residência seria desconsiderado, devido à incerteza da localização. Em seguida ocorreram as instalações das janelas, de maneira a compor as tecnologias de isolamento térmico para a mensuração do consumo de energia elétrica.

A etapa de uso das janelas considerou a eficiência do isolamento térmico associado ao consumo energético (utilização de ar condicionado). Sendo assim, a energia elétrica – para operação do ar condicionado - teve as suas formas de geração e transmissão avaliadas e as perdas, em decorrência de sua distribuição através das redes, foram consideradas.

Dentro da mesma linha de abordagem considerou-se que logo após ter-se concluído o uso das janelas, as mesmas foram descartadas de forma adequada e simuladas variações de reciclagem de seus componentes.

12.PROCESSOS ELEMENTARES DO SISTEMA DE PRODUTO

Os processos elementares que compõem o sistema de produto das janelas de PVC e alumínio são:

- Extração das matérias-primas;
- Produção do composto de PVC e da liga de Alumínio;
- Extrusão das esquadrias de PVC e Alumínio;
- Montagem das janelas de PVC e Alumínio;
- Instalação das janelas de PVC e Alumínio;
- Fase de uso das janelas de PVC e Alumínio;
- Manutenção das janelas de PVC e Alumínio;
- Destinação final das janelas de PVC e Alumínio;
- Transportes das matérias-primas principais e das janelas de PVC e Alumínio
- Cenário – reciclagem das embalagens e esquadrias de PVC e Alumínio.

13.AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DAS CATEGORIAS AMBIENTAIS

A partir das premissas e condições de contorno indicadas gerou-se os Inventários de Ciclo de Vida (ICVs) dos sistemas de produção, uso e destinação de janelas de PVC e alumínio. A fase de Análise de Inventário correspondeu à coleta dos dados brutos de cada processo elementar e posterior tratamento, a fim de que os mesmos fossem correlacionados ao Fluxo de Referência estabelecido na fase de escopo.

Na sequência da etapa de Análise de Inventário procedeu-se a Avaliação de Impactos de Ciclo de Vida (AICV), que objetiva associar os aspectos ambientais levantados na etapa anterior aos seus respectivos impactos ambientais potenciais. A aplicação do método de Análise de Ecoeficiência (NSF, 2012) deu suporte a esta etapa e determinou os procedimentos utilizados para agrupamento das categorias de impacto avaliadas, assim como os critérios utilizados (e suas respectivas justificativas) para normalização e agrupamento. Uma vez que a ABNT NBR ISO 14044:2009 não estabelece nenhuma metodologia específica e nem apoia as escolhas de valores subjacentes utilizadas para agrupar as categorias de impacto, as escolhas de valores e julgamentos contidos nos procedimentos de agrupamento foram de responsabilidade exclusiva da equipe executora.

Os resultados deste encadeamento aparecem a seguir, para as categorias de impacto abrangidas pela Análise de Ecoeficiência. Além das categorias de impacto ambiental, o método contempla duas outras categorias, que tratam de questões relativas à saúde e segurança dos indivíduos envolvidos nas diferentes etapas do ciclo de vida: o Potencial de Toxicidade Humana e o Potencial de Acidentes e Doenças Ocupacionais (acidentes de trabalho e trajeto nas indústrias consideradas e doenças ocupacionais associadas a estas atividades; riscos de transporte e armazenamento dos intermediários de produção). Todas as escolhas de valores utilizadas com relação às categorias de impacto, modelos de caracterização, fatores de caracterização, normalização, agrupamento, ponderação e seu uso em qualquer ponto da análise causam influência sobre os resultados, conclusões e recomendações.

14.FATORES DE RELEVÂNCIA DA AEE JANELAS

A partir dos fatores de relevância pode-se compreender a contribuição do potencial de cada impacto gerado ao atender a função especificada no estudo em relação ao total de impactos gerados no contexto do Brasil (país onde ocorreu o estudo). Fatores de relevância levaram em conta o consumo de energia e recursos abióticos, além das emissões associadas ao objeto de estudo, com relação à disponibilidade de reservas regionais (ou globais, quando esta escala for aplicável) e às emissões totais para a atmosfera, solo e corpos hídricos (Figura 7).

Ressalta-se que a relevância das emissões foi discriminada segundo a classificação em resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas. Essas, por sua vez, foram novamente representadas segundo seus respectivos impactos potenciais. No contexto analisado (processos de produção de esquadrias até sua destinação final) apresentaram maior relevância as seguintes categorias de impacto ambiental consideradas pelo estudo: Consumo Acumulado de Energia, Consumo de Recursos Abióticos, Potencial de Toxicidade Humana e Potencial de Risco de Acidentes e Doenças Ocupacionais, responsáveis por 85% de influência dos impactos ambientais totais no estudo.

PVC
Não dá para imaginar a vida moderna sem ele

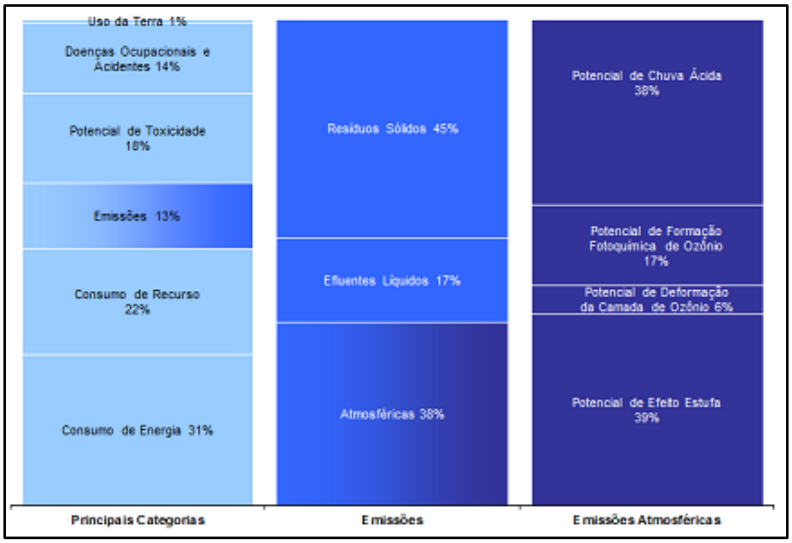


Figura 7: Fatores de Relevância

A Impressão Ambiental (Figura 8) apresenta os perfis de potenciais impactos ambientais determinados pela AEE, normalizados em relação à alternativa com o pior desempenho ambiental na comparação. Ao analisá-la, é possível ver claramente como a janela de PVC impõem menores impactos ambientais em relação à janela de alumínio, ao cumprirem a mesma função determinada.

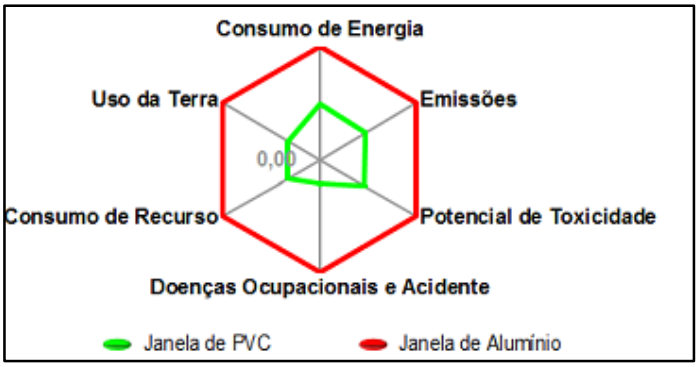


Figura 8: Impressão Ambiental

PVC
Não dá para imaginar a vida moderna sem ele

15.CATEGORIAS DE IMPACTO AMBIENTAL – RESULTADOS

a. Consumo Acumulado de Energia (31%)

Para esta categoria, leva-se em consideração todos os recursos energéticos (energia primária) utilizados para a produção de todas as matérias-primas e utilidades (inclusive aquelas empregadas para a produção da energia elétrica que entra nos processos produtivos ou os combustíveis utilizados para transporte) de todos os estágios do ciclo de vida. São exemplos de fontes de energia primária: petróleo, gás natural, antracito, lignita, minério de urânio, hidroelétrica, biomassa e outros. Os valores de cada fonte primária de energia foram somados para representar a demanda acumulada de energia ao longo do ciclo de vida. A energia contida nos recursos energéticos utilizados como matérias-primas (e não como fontes de energia) também foi contabilizada; na Figura 9, a representação do Consumo Acumulado de Energia.

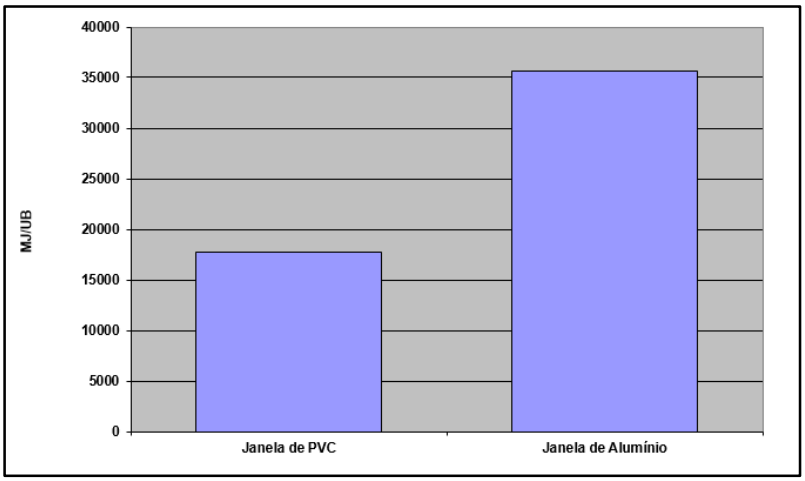


Figura 9: Consumo Acumulado de Energia

b. Consumo de Recursos Abióticos (22%)

Dois fatores são considerados na avaliação do impacto de se consumir cada recurso natural. Um deles é a quantidade física destes recursos, as reservas economicamente viáveis para exploração. O outro fator diz respeito à escassez dos recursos na natureza. Assim, o cálculo da criticidade de consumir cada tipo de recurso natural é feito com base no tempo de suprimento estimado e tamanho das reservas exploráveis. Quanto menor a reserva do recurso natural e mais alta a taxa de consumo mundial, mais escasso é o recurso e, portanto, maior é o fator de criticidade de consumo. Utiliza-se, para fins de comparação, o elemento

Prata: cada recurso, considerando seu fator de criticidade, foi comparado à quantidade equivalente do elemento Prata, para que se pudesse ter uma base comum de comparação entre o total de recursos necessários a cada alternativa em estudo, para cumprimento da função pretendida (Figura 10).

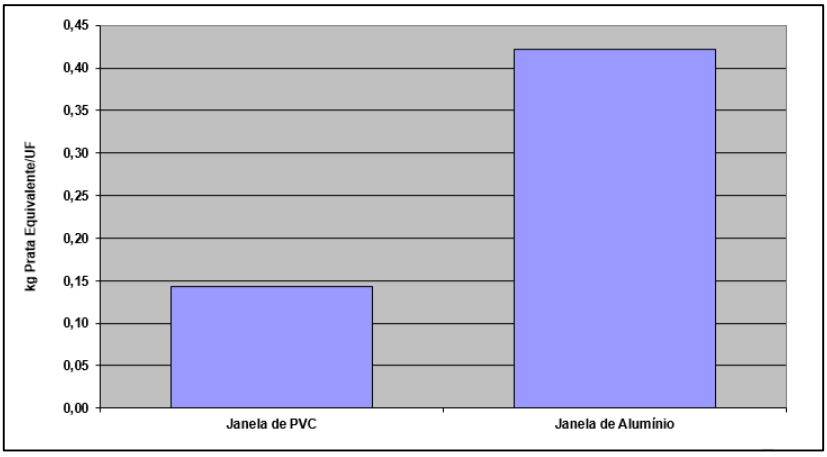


Figura 10: Consumo de Recursos Abióticos

c. Potencial de Toxicidade Humana (18%)

As matérias-primas e utilidades participantes do ciclo de vida do produto estudado são classificadas de acordo com a toxicidade inerente à sua composição química, classificada segundo as chamadas frases R (frases de risco). Na metodologia de Análise de Ecoeficiência são atribuídos pontos de toxicidade semelhantes àquelas substâncias com frases R similares (que representam efeitos com diferentes graus de severidade à saúde humana). Multiplicando as quantidades empregadas de cada uma das substâncias (dadas em kg) pelos seus pontos de toxicidade, obtemos o total de pontos ao longo do ciclo de vida, que possibilitam a avaliação da categoria Potencial de Toxicidade Humana. Fatores como padrões de segurança na produção e manuseio das substâncias, níveis de exposição humana a estas substâncias, pressão de vapor (diretamente ligada à volatilidade das substâncias – quanto mais voláteis, maior a facilidade de contato das pessoas com as substâncias), persistência das substâncias no organismo humano e condições do sistema (aberto, fechado ou parcialmente aberto, que potencializam ou minimizam a exposição) influenciam o potencial de toxicidade ao qual as pessoas são expostas ao longo do ciclo de vida dos produtos ou serviços. Na Figura 11, a comparação entre as alternativas em avaliação.

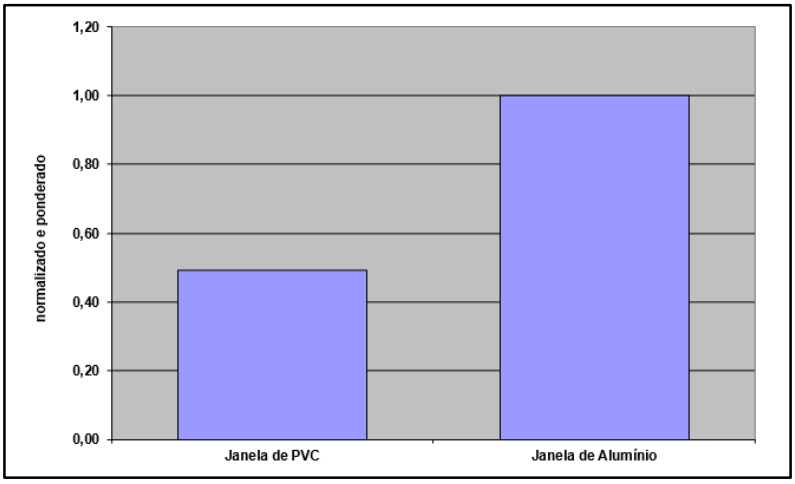


Figura 11: Potencial de Toxicidade Humana

d. Potencial de Acidentes e Doenças Ocupacionais (14%)

Leva em consideração a quantidade de acidentes fatais, não fatais e as doenças ocupacionais ocorridos ao longo do ciclo de vida de um produto ou sistema. O fator de ponderação para esta categoria de impacto leva em consideração quantos acidentes e doenças ocupacionais ocorrem na atividade analisada, em relação a quantos acidentes e doenças ocupacionais ocorrem no país, no mesmo período de avaliação para aquelas atividades econômicas, sendo assim relativizados e ponderados. Os dados primários são obtidos diretamente com os responsáveis pelas atividades em estudo; já os dados de pre-cadeia, são obtidos através do Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho (Brasil, 2009). Todos os dados são classificados de acordo com o Código Nacional de Atividade Econômica (CNAE 2.0), classificação esta desenvolvida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (IBGE, 2007) e derivada do *International Standard Industrial Classification of All Economic Activities* (ISIC), utilizada para classificar dados estatísticos referentes à população, produção, emprego e outras estatísticas econômicas. A Figura 12 ilustra os resultados comparativos entre as duas alternativas em estudo.

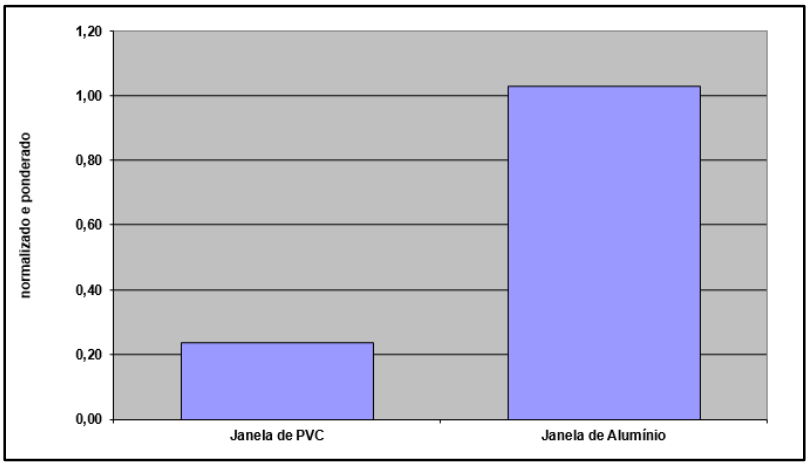


Figura 12: Potencial de Acidentes e Doenças Ocupacionais

e. Geração de Resíduos Sólidos (6,1%)

Os resíduos sólidos gerados pelas diversas atividades ao longo do ciclo de vida (extração de recursos materiais e energéticos, produção de matérias-primas, auxiliares e utilidades, processos de transformação, transporte e logística de armazenamento, uso e destinação final) são classificados segundo as categorias: resíduos de construção civil, resíduos de mineração, resíduo municipal e resíduo industrial (Tabela 1). Considerando os diferentes níveis de impacto ao meio ambiente, em função da geração de resíduos com estas especificidades, foram atribuídos a cada uma delas, a título de ponderação, os pesos 0,04; 0,2; 1 e 5, respectivamente, o que significa que os resíduos de mineração são os menos impactantes ao meio ambiente e os industriais os mais impactantes. O critério escolhido na metodologia de Análise de Ecoeficiência para ponderação dos distintos tipos de resíduos tem como base o custo médio de descarte dos mesmos na Europa (pressupõe-se que sejam necessários maiores gastos com insumos, equipamentos e mão-de-obra para o tratamento de resíduos mais poluentes e que seu tratamento requeira maiores esforços e consumo de insumos). O valor desta categoria reflete, portanto, a somatória dos produtos da quantidade de cada um dos tipos de resíduos gerados ao longo do ciclo de vida do produto (dados em kg), pelo fator de peso correspondente ao tipo de resíduo.

Tabela 1: Fatores para cálculo de Resíduos Sólidos

Fatores para o cálculo de resíduos	
Municipal	1,00
Especial	5,00
Construção	0,20
Mineração	0,04

Fonte: BASF (2002)

Neste estudo considerou-se que todos os resíduos sólidos gerados durante os processos, da montagem até a disposição final das janelas, foram encaminhados para aterro (bota-fora) e seus aspectos ambientais e potenciais impactos ambientais resultantes foram analisados até a sua degradação, como apresentado na Figura 13. Como a AEE avalia todo o ciclo de vida dos materiais, ao longo dos processos intermediários para a geração dos produtos finais, existem resíduos mais ou menos perigosos, os quais tem determinadas as suas destinações mais adequadas.

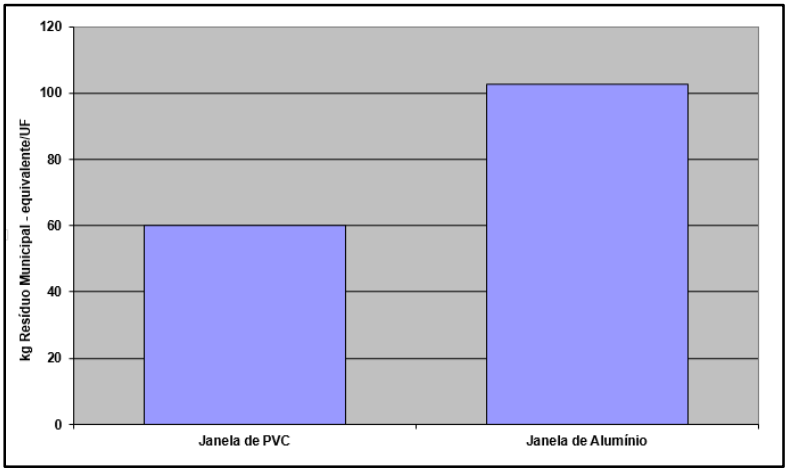


Figura 13: Potencial de Geração de Resíduos Sólidos

f. Emissão de Efluentes Líquidos (2,3%)

Esta categoria de impacto ambiental é subdividida em dez indicadores, sendo oito deles poluentes potenciais (N-total, NH_4-N, P-total, AOX, metais

pesados, hidrocarbonetos, SO_4^{2-} e Cl^-) e os outros dois utilizados para caracterizar a quantidade de matéria orgânica no efluente (DQO e DBO). São contabilizadas não só as emissões diretas dos processos em avaliação, como também todas as emissões de efluentes ao longo do ciclo de vida de toda a cadeia de valor envolvida.

Segundo Saling (2002) "*Cada poluente emitido para a água contamina uma quantidade suficiente da mesma, até o limite estatutário para essa substância ser alcançado (carga crítica)"*. Os limites usados para a respectiva emissão para a água são aqueles definidos e comunicados pela portaria de esgotos. Quanto maior for o nível de contaminação imposto ao corpo hídrico por uma substância, menor será o limite aceito para sua emissão. Inversamente, quanto menor for o limite para uma emissão, maior será o fator usado para exprimir o impacto causado por este poluente (Tabela 2). Para esta categoria, estima-se a quantidade de água necessária para diluir cada um dos poluentes contidos no efluente, de forma que este não seja nocivo ao meio ambiente. Isto significa atingir concentrações nas quais o meio ambiente naturalmente consiga depurar os poluentes contidos no efluente, permitindo seu lançados ao corpo hídrico. Os volumes críticos individuais, obtidos para cada poluente, são somados para se chegar a uma emissão total para cada alternativa em avaliação. O valor desta categoria corresponde, portanto, à somatória das quantidades de água necessárias para diluir todos os poluentes, porém considerados separadamente. A representação das alternativas do estudo encontra-se na Figura 14.

Tabela 2: Fatores para cálculo do Volume Crítico de Diluição

Poluentes	Limite
DQO	75 mg/l
DBO	15 mg/l
N-total	18 mg/l
NH^+_4	10 mg/l
P-total	1 mg/l
AOX	1 mg/l
Metais pesados	1 mg/l
HC	2 mg/l
SO^{2-}_4	1000 mg/l
Cl^-	1000 mg/l

Fonte: Adaptado de Saling et al. (2002, p.7).

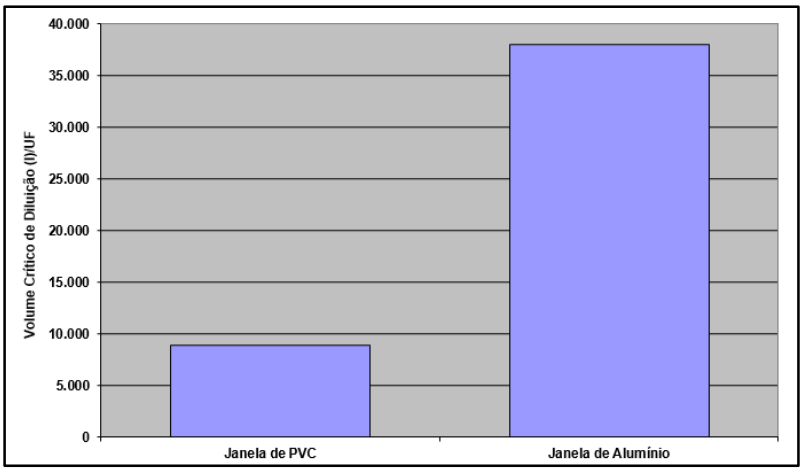


Figura 14: Emissão de Efluentes Líquidos

g. Aquecimento global (2%)

Os gases que potencialmente podem promover este impacto ambiental são CO_2, CH_4, N_2O e hidrocarbonetos halogenados. Os fatores de equivalência representam, por exemplo, que 1 kg de metano (CH_4) exerce o mesmo efeito para o aquecimento global do que 25 kg de CO_2. Estes fatores de equivalência levam em consideração os dados do último relatório sobre mudanças climáticas (IPCC, 2007a; b), como expresso na Tabela 3. Quando informações específicas sobre a emissão de determinadas substâncias, em condições específicas (como na agricultura, por exemplo, fortemente influenciada por condições climáticas e de solo) são conhecidas, fatores específicos devem ser utilizados em lugar desta tabela de equivalência proposta pelo IPCC. Os resultados do estudo, para esta categoria de impacto ambiental, podem ser visualizados na Figura 15.

Tabela 3: Fatores para cálculo de CO_2 equivalente

Gases que Contribuem para o Potencial de Efeito Estufa	Fator de Conversão
CO_2	1
CH_4	25
HC Halogenados	4,75
N_2O	298

Fonte: IPCC (2007)

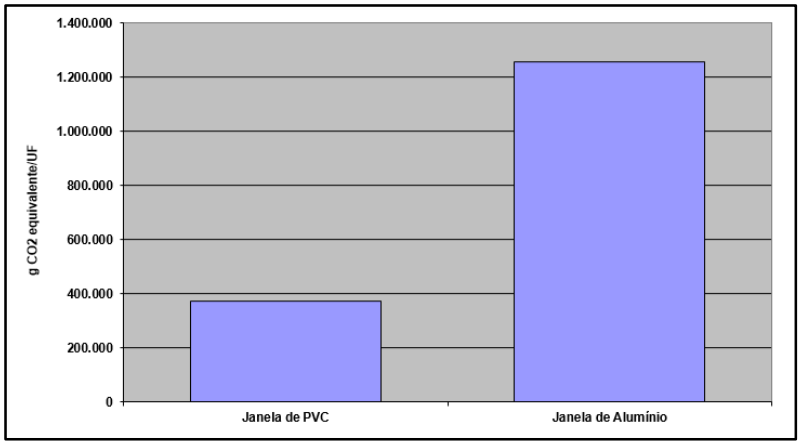


Figura 15: Aquecimento global

h. Potencial de Acidificação (1,9%)

Os gases que potencialmente podem promover o efeito de acidificação da atmosfera são SO_x, NO_x, HCl e NH_3. Quando ocorre a precipitação de chuvas, estes gases dispersos na atmosfera alteram o pH da água, tornando-a mais ácida. Assim, quando esta chega ao solo pode promover salinização de solos mais alcalinos, corrosão de metais, diminuição da biodiversidade em lagos e rios sensíveis à acidificação (promovendo, por exemplo morte de peixes e outros organismos), dentre outros efeitos. Para os cálculos utilizou-se a mesma metodologia aplicada nas categorias já apresentadas, de conversão a uma unidade de equivalência (neste caso SO_2 equivalente) tendo sido considerados os seguintes fatores de caracterização descritos na Tabela 4. A Figura 16 apresenta a comparação entre as alternativas em estudo.

Tabela 4: Fatores para cálculo de SO_2 equivalente

Gases que Contribuem para o Potencial de Chuva Ácida	Fator de Conversão
SO_x	1,00
NO_x	0,70
NH_3	1,88
HCl	0,88

Fonte: IPCC (2007)

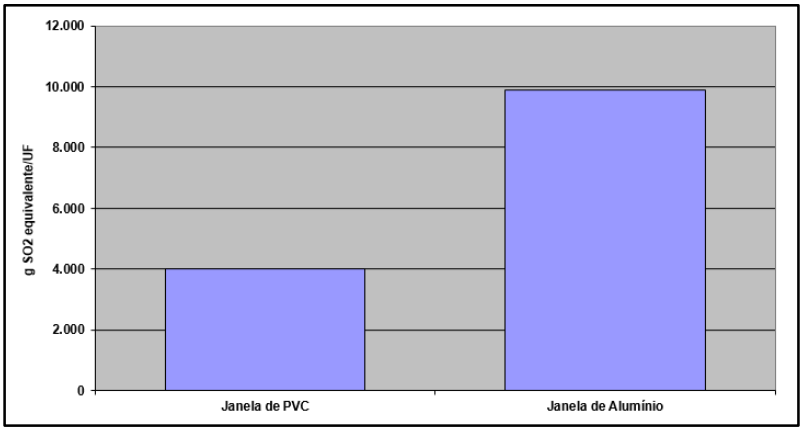


Figura 16: Potencial de Acidificação

i. Uso da Terra (1%)

Esta categoria de impacto representa o impacto de transformação promovida pelas atividades humanas nos ambientes naturais. Para tanto, utiliza-se uma classificação segundo cinco categorias de área distintas de ocupação de áreas. A primeira delas (área I) refere-se à área que quase não sofreu modificações, sendo a área mais próxima possível da natureza em seu estado original; a segunda (área II), corresponde à área seminatural ou de bioagricultura; a terceira (área III), corresponde à extensão territorial de agricultura convencional ou já modificada pelo homem; a quarta (área IV), denominada selada, é a área de indústrias, aterros e edificações e, por fim, tem-se a área ocupada por estradas e rodovias (área V). Para cada tipo de área, a metodologia de Análise de Ecoeficiência atribui um peso diferente: área I – 1,0; área II – 1,5; área

III – 2,3; área IV – 5,1 e área V – 7,6. O valor desta categoria será, portanto, a somatória dos produtos da quantidade de cada um dos tipos de área pelo fator de peso correspondente (Tabela 5). Na Figura 17, os resultados obtidos para o estudo.

Tabela 5 - Fatores para cálculo de Uso da Terra

Classe	Categoria	Fator
0	Ecossistemas não antropizados	0
I	Florestas	1
II	Pasto e Agricultura Orgânica	1,5
III	Agricultura Convencional (silvicultura e monocultura)	2,25
IV	Áreas seladas	5,06
V	Estradas, rodovias, canais	7,59

Fonte: BASF (2002)

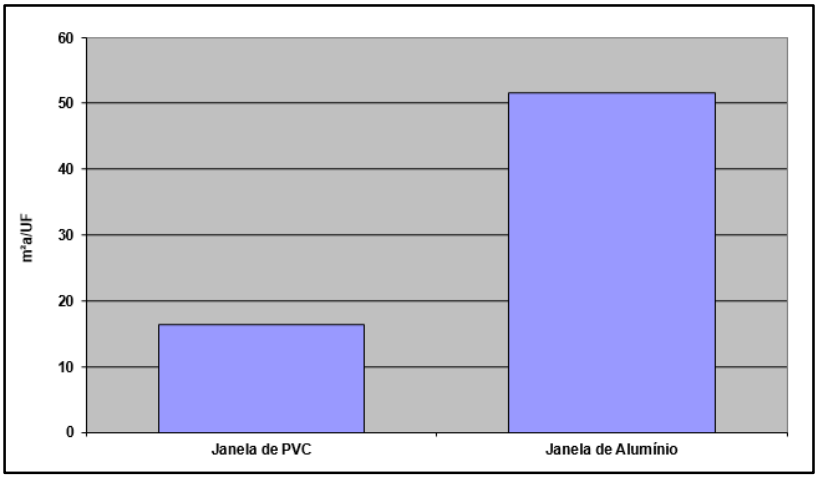


Figura 17: Uso da Terra

j. Potencial de Formação Fotoquímica de Ozônio (0,8%)

Gases que potencialmente podem promover este efeito são CH_4 (metano) e VOCs (compostos orgânicos voláteis). Neste, há formação de ozônio troposférico, ou seja, na camada atmosférica com a qual as pessoas tem contato permanente, podendo causar dificuldades respiratórias e danos à vegetação (comprometendo o crescimento de plantas) e ecossistemas. Para os cálculos utilizou-se a mesma metodologia aplicada nas categorias já apresentadas, tendo sido considerados os fatores de caracterização

descritos na Tabela 6. A Figura 18 apresenta os resultados da comparação entre as alternativas em avaliação.

Tabela 6 - Fatores para cálculo de Etileno equivalente

Gases que Contribuem para a Formação Fotoquímica de Ozônio	Fator de Conversão
CH_4	0,007
Eteno equivalente	1,0
NM-VOC (média)	1,0

Fonte: IPCC (2007)

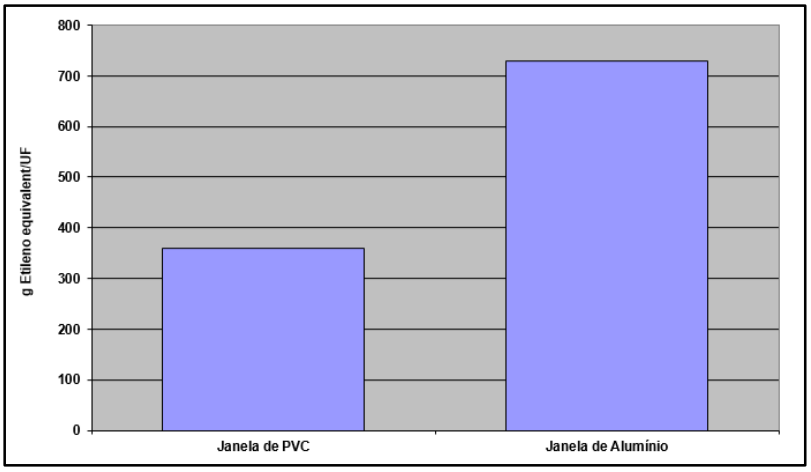


Figura 18: Potencial de Formação Fotoquímica de Ozônio

k. Potencial de Depleção da Camada de Ozônio (0,3%)

Gases que potencialmente podem promover este efeito na atmosfera são os hidrocarbonetos halogenados. A maior concentração de ozônio (a chamada Camada de Ozônio) ocorre na região da atmosfera denominada estratosfera (localizada entre 10 e 50 km da superfície terrestre). Esta camada absorve parte da radiação ultravioleta, funcionado como um

filtro, o que impede que quantidades excessivas de raios ultravioleta cheguem à superfície da terra. Quando esta camada é diminuída por reação do ozonio com os poluentes mencionados, formando novos compostos, acontece a quebra da molécula de ozônio, diminuindo sua quantidade e, consequentemente, a proteção que ele promoveria em condições normais é diminuída. Isto pode causar danos a tecidos (como a pele) e plantas. Para os cálculos utilizou-se a mesma metodologia aplicada nas categorias já apresentadas, tendo sido considerados os fatores apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Fatores para cálculo de CFC11 equivalente

Gases que Contribuem para o Potencial de Deformação da Camada de Ozônio	Fator de Conversão
Hidrocarbonetos Halogenados	
CFC-11	1,0
CFC-12	0,9

Fonte: IPCC (2007)

A categoria Potencial de Depleção da Camada de Ozônio tem uma relevância no estudo de 0,3%, de acordo com a tabela de fatores de relevância, significando uma categoria pouco impactante neste estudo de AEE. Na Figura 19, são apresentados os resultados do estudo.

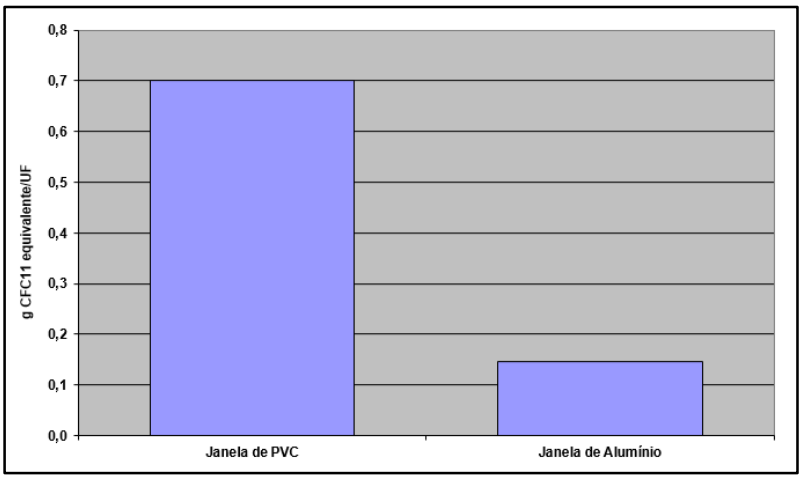


Figura 19: Potencial de Depleção da Camada de Ozônio

Os impactos da produção da esquadria do ciclo de vida da produção do PVC, são devidos, em grande parte, à fuga de gases refrigerantes os quais contém, em sua composição, substâncias desta natureza.

16.AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Na avaliação do impacto econômico, considerou-se o preço de mercado praticado na RMSP para o consumidor final das janelas. Observa-se uma diferença de inicial de R$407,00 entre as janelas de PVC e alumínio. Entretanto, essa variação inicial se dilui durante o tempo de uso do produto, devido à melhor eficiência da janela de PVC em relação ao isolamento térmico.

17.MATRIZ DE ECOEFICIÊNCIA

A partir deste momento todas as informações ambientais obtidas nas avaliações do ciclo de vida e as informações de impacto econômico são compiladas em um único indicador de ecoeficiência (representado na matriz por esferas associadas a cada alternativa em estudo) conforme a proposição da Análise de Ecoeficiência. Para interpretar a Matriz de Ecoeficiência corretamente, é necessário visualizar os eixos considerando a inversão na escala de valores; sendo assim, quanto mais direcionada para a região superior do gráfico melhor o desempenho ambiental e quanto mais direcionada para a direita melhor é o desempenho econômico. O quadrante superior direito representa a região de mais alta ecoeficiência relativa na matriz. A Matriz de Ecoeficiência referente às alternativas avaliadas no Caso Base, pode ser observada na Figura 20.

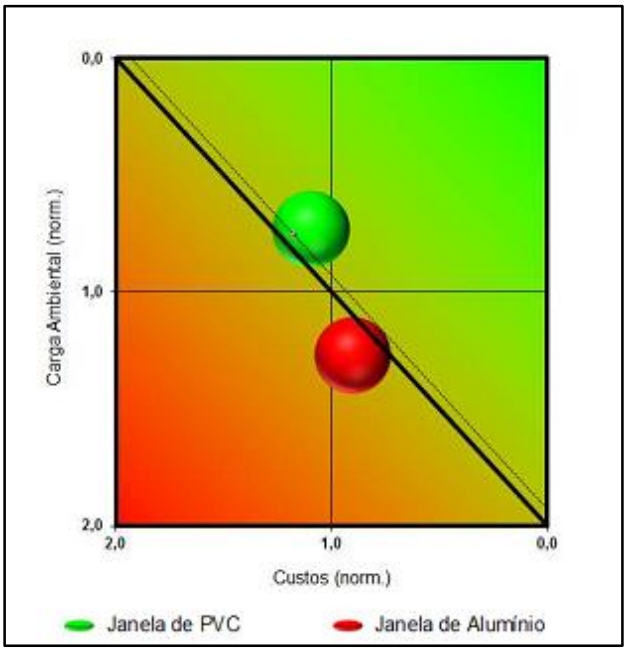


Figura 20: Matriz de Ecoeficiência

Observando a Matriz de Ecoeficiência do Caso Base, nota-se que a janela de PVC está localizada mais próxima da zona de alta ecoeficiência, tornando-a a alternativa em análise mais ecoeficiente. Apesar da janela de PVC apresentar um menor desempenho econômico (eixo custos) em relação à janela de Alumínio, seu desempenho ambiental (eixo carga ambiental) é 1,6 vezes superior ao desempenho da janela de Alumínio, o que a torna mais ecoeficiente devido à relação entre os pilares ambiental e econômico.

18. CENÁRIO – RECICLAGEM DAS ESQUADRIAS E EMBALAGENS

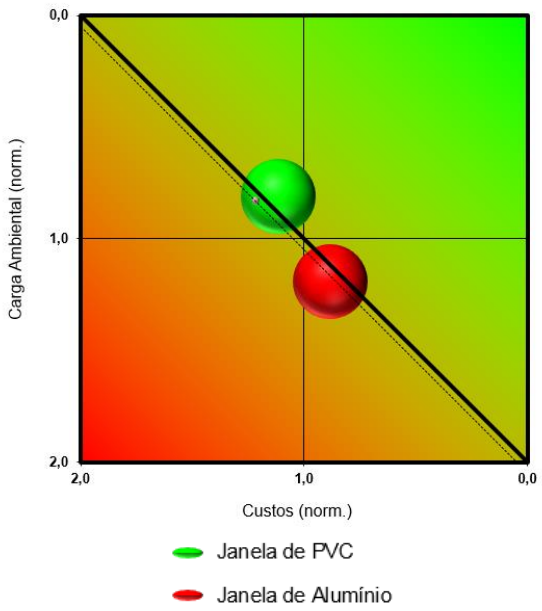


Figura 21: Matriz de Ecoeficiência – Reciclagem das esquadrias e embalagens

Ao considerar a reciclagem dos resíduos envolvidos nos processos de produção das janelas e ao fim da vida útil, houve uma melhora no desempenho ambiental de ambas. Na matriz, figura 21, não é possível evidenciar esta constatação, devido ao fato das alternativas serem relativas. A melhora para a janela de PVC foi inferior à da janela de alumínio, porém, a representação na matriz demonstra que a janela de PVC continua mais ecoeficiente do que a janela de alumínio. Esta aproximação no eixo do desempenho ambiental se deve principalmente ao fato de que a reciclagem da janela de alumínio implica em uma maior quantidade de alumínio evitado do que PVC evitado.

19.CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

Os resultados da Análise de Ecoeficiência demonstram que a janela de PVC apresenta melhor desempenho ambiental na quase totalidade das categorias de impacto ambiental avaliadas, em relação à janela de alumínio no caso base. Considerando as cidades de Natal e Curitiba, mesmo com diferenças quanto às temperaturas médias devido a diferenças geográficas, a tendência é a mesma. Quanto à questão econômica, observou-se um preço de mercado mais elevado para as janelas de PVC (em média R$ 407 mais caras que as janelas de alumínio). Entretanto, essa variação inicial se dilui durante o tempo de uso do produto, devido à melhor eficiência da janela de PVC em relação ao isolamento térmico; o PVC faz com que a troca de calor entre ambientes interno e externo de uma edificação seja menor e, assim, o consumo energético, quer para refrigeração quer para aquecimento de um ambiente fique reduzido, ao longo do tempo, com o uso desta alternativa. Para o Caso Base desta AEE, fica evidente que a janela de PVC, embora apresente desvantagem no pilar econômico, é mais ecoeficiente do que a janela de Alumínio.

Verificou-se junto ao estudo de transmitância térmica das janelas, desenvolvido na UFSC, que a janela de PVC apresenta maior capacidade de isolamento térmico. Ainda, segundo a modelagem de eficiência energética realiza pela FEE® (de acordo com as premissas estabelecidas, analisando somente as janelas para o isolamento térmico de um cômodo), nota-se que existe uma vantagem para a janela de PVC e a possibilidade de melhoria em seu desempenho econômico, devido ao menor consumo de energia elétrica com ar condicionado.

O estudo realizado é inédito e os resultados obtidos nos possibilita não apenas confirmar as qualidades e benefícios do PVC na aplicação em janelas, como também nos fornece informações importantes sobre todo o ciclo de vida do produto, abrindo caminho para a realização de ações em pontos específicos da cadeia de valor, de forma a melhorar ainda mais o desempenho ambiental e econômico da janela de PVC.

Acreditamos, com esta inciativa, estarmos fomentando o uso do conceito de ACV como ferramenta para melhoria de processos produtivos contribuindo ainda mais para a sustentabilidade do setor.

PVC
Não dá para imaginar a vida moderna sem ele

20.REFERÊNCIAS

AFEAL. **Esquadrias Externas para Edificações - ABNT NBR 10821, sua revisão e a norma de desempenho.** Disponível em: <http://www.afeal.com.br/portal/dados/imagens/1316620608.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2013

ALCOA. **Alumínio e Cia: Produtos.** Disponível em: <http://www.alcoa.com/brazil/aluminioecia/pt/info_page/produtos_downloads.asp>. Acesso em: 18 nov. 2013.

ALCOA. **Linha IV Gold. Relatório Técnico.** Disponível em: <http://files.flipsnack.com/iframe/embed.html?hash=fhnlbiij&wmode=window&bgcolor=EEEEEE&t=13746943551374694355>. Acesso em: 18 nov. 2013

ATLÂNTICA. **Portas e Janelas de Alumínio.** Disponível em: <http://www.atlantica.ind.br>. Acesso em: 04 mar. 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Conheça as Tarifas da Classe de Consumo Residencial de uma Concessionária.**

Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/tarifaAplicada/index.cfm>. Acesso em: 18 fev. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14041:2009** Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Definição e objetivo e escopo e análise de inventário. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14040:2009** Gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14044:2009** Gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15.575:2013** Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10.821:2011** Esquadrias Externas para Edificações. Rio de Janeiro, 2011.

BALDASANO, J.M; NARVÁEZ, R.P; GUERRERO, P.J. **Estimate of energy consumption and CO2 emission associated with the production, use and final disposal of PVC, aluminium and wooden windows.** Universidade Politécnica da Catalunha, Departamento de Projetos de Engenharia. Barcelona, 2005.

BASF. What is eco-efficiency? **Banco de dados**. Disponível em: < http://www.basf.com/group/corporate/en_GB/sustainability/eco-efficiency-analysis/what-is>. Acesso em: 1 jun. 2013.

BASF. **Quantifying Sustanability**: Efficiency in Ecology, Economy and Society. Ludwigshafen. [S.l.: s.n.], 2002. 8 p.

BRASIL, Ministério de Minas E Energia. **Balanço Energético Nacional 2012: ano base 2011.** Brasília, 2012. Disponível em:

<http://www.ben.epe.gov.br/downloads/sintese%20do%20relatorio%20final_2012_Web.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2013.

BRASIL, Ministério do Trabalho E Emprego. **Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho.** Brasília, 2009. Disponível em: <http://www.mpas.gov.br/arquivos/office/3_111202-105614-161.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2013.

BOUSTEAD CONSULTING LIMITED. **The Boustead Model 5.0.12.** Disponível em <http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/tool2.vm?tid=186>. Acesso em 2 abr. 2013.

CAKE WORK METAIS. Disponível em: <http://www.tudoindaiatuba.com.br/g/metais/cake-work-comercio-metais>. Acesso em: 18 nov. 2013

CLARIS. **Janela de PVC Linha Europa.** Disponível em: < http://www.clarisportasejanelas.com.br/produto_detalhe_2.php?id_produto=23>. Acesso em: 18 nov. 2013.

CHEHEBE, J. R. B. **Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos**. Rio de Janeiro: Qualtynmark, 1998.

EUR-LEX Europa. **Acesso ao Direito da União Européia.** Disponível em: <http://eurlex.europa.eu/Result.do?direct=yes&lang=pt&where=LB%3A31967L0548&whereihm=Legal+basis%3A31967L0548>. Acesso em: x x. 2013.

FIESP. 9º Congresso Brasileiro da Construção. **Habitação e crescimento sustentado.** Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/brasil-2022-planejar-construir-crescer-habitacao-construbusiness-2010-fgv/>. Acesso em: 18 nov. 2013.

GRANDES CONSTRUÇÕES. **Mercado em alta.** Disponível em: <http://www.grandesconstrucoes.com.br/br/index.php?option=com_conteudo&task=viewMateria&id=677>. Acesso em: 18 nov. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Comissão Nacional de Classificação - CONCLA.** Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/classificacoes/cnae2.0/cnae2.0.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Fourth Assessment Report:** Climate Change 2007. Nova York, 2007. 4 v. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml#.UbUquvnVCj9>. Acesso em 20 mai. 2013.

JC ESQUADRIAS. **Esquadrias de Alumínio e PVC.** Disponível em <http://jcesquadrias.com.br/>. Acesso em: 04 mar. 2013.

NSF. **BASF EEA Methodology Validation Submission Final.** 2013. Disponível em: http://www.nsf.org/services/by-industry/sustainability-environment/claims-validation/eco-efficiency/ Acesso em 20 nov. 2013.

PINI WEB. **Está em vigor a NBR 15.575 - Norma de Desempenho.** Disponível em: <http://piniweb.pini.com.br/construcao/habitacao/esta-em-vigor-a-nbr-15575-norma-de-desempenho-292738-1.aspx>. Acesso em: 18 nov. 2013.

SALING, P. et al. **Eco-efficiency analysis by BASF**: The Method. International Journal of Life Cycle Management. [S.l.: s.n.], 2002. n. 7. v. 4.

SASAZAKI. **Janelas e portas de correr: manual de instruções.** Disponível em: <http://www.sasazaki.com.br/fotos_opcionais_acessorios/FOR-299%20JCSS4F%20Pratika.pdf>Acesso em: 18 nov. 2013.

SASAZAKI. **Janelas Maxim - Ar: manual de instruções.** Disponível em: <http://www.sasazaki.com.br/fotos_opcionais_acessorios/FOR-410%20JM%20Alumifort.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2013.

SEBRAE. **Unidade Produtora de Esquadrias de Alumínio e Artefatos afins.** Disponível em:<http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/BDS.nsf/0DA346FDBB2085A183257436005003C4/$File/Unidade%20produtora%20de%20esquadrias%20de%20alum%C3%ADnio%20e%20artefatos%20afins.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2012.

TIGRE. **Institucional.** Disponível em: <http://www.tigre.com.br/pt/institucional.php?rcr_id=7&ctt_id=75&uni=0>. Acesso em: 18 nov. 2013.

UDINESE. **Componentes da Janela de Alumínio.** Disponível em: <http://www.udinese.com.br/pt/produtos.aspx?categoriaId=16>. Acesso em: 18 nov. 2012

UDINESE. **Componentes da Janela de PVC.** Disponível em: <http://www.udinese.com.br/pt/produtos.aspx?categoriaId=34>. Acesso em: 18 nov. 2012

US GEOLOGICAL SURVEY. **Disponibilidade de Recursos Naturais.** 2008. Disponível em: < http://www.usgs.gov/>. Acesso em 14 ago. 2013.