



UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DE ASPECTOS E IMPACTOS
AMBIENTAIS AO LONGO DO CICLO DE VIDA DE
TELHAS DE FIBROCIMENTO COM E SEM AMIANTO**

VINÍCIUS MARTINS MARQUES

São Leopoldo, Fevereiro de 2014.

VINÍCIUS MARTINS MARQUES

Avaliação de Aspectos e Impactos Ambientais ao Longo do Ciclo de Vida de Telhas de Fibrocimento com e sem Amianto

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^a. Dra. Luciana Paulo Gomes

Co-Orientador: Prof^a. Dra. Andrea Parisi Kern

Banca examinadora:

Prof. Dr. Mauricio Mancio - UNISINOS

Prof. Dr. Luiz Fernando de Abreu Cybis – IPH/UFRGS

São Leopoldo, Fevereiro de 2014.

M357a Marques, Vinícius Martins
Avaliação de aspectos e impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de telhas de fibrocimento com e sem amianto / Vinícius Martins Marques – 2014.
132 f. :il. color. ; 30cm.
Dissertação (tese) -- Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, São Leopoldo, RS, 2014.
Orientadora: Profa. Dra. Luciana Paulo Gomes; Coorientadora: Profa. Dra. Andrea Parisi Kern.

1. Engenharia civil. 2. Gerenciamento de resíduos. 3. Resíduos de construção e demolição - Telha de fibrocimento – Amianto. I. Título. II. Gomes, Luciana Paulo. II. Kern, Andrea Parisi.

CDU 624

Catálogo na Publicação:
Biblioteca Eliete Mari Doncato Brasil - CRB 10/1184

VINÍCIUS MARTINS MARQUES

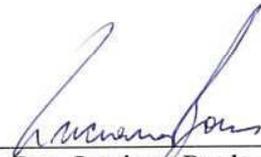
**AVALIAÇÃO DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS AO
LONGO DO CICLO DE VIDA DE TELHAS DE
FIBROCIMENTO COM E SEM AMIANTO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração: Gerenciamento de Resíduos, da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

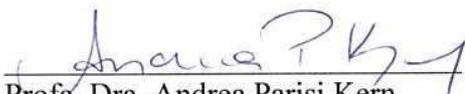
Aprovada em 20 de fevereiro de 2014



Prof. Dra. Luciana Paulo Gomes
Orientador – UNISINOS

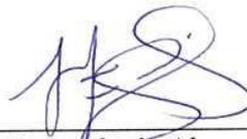


Prof. Dra. Luciana Paulo Gomes
Coordenadora do PPGEC/UNISINOS



Prof. Dra. Andrea Parisi Kern
Coorientadora – UNISINOS

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Luiz Fernando de Abreu Cybis – UFRGS



Prof. Dr. Maurício Mancio - UNISINOS

Dedico a todos aqueles
que um dia me serviram
como exemplo.
E eles sabem quem são.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, devo agradecer à Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) pela oportunidade e pela confiança em mim depositada.

Aos órgãos de fomento à pesquisa, FAPERGS, pela concessão da bolsa de estudos e SINDUSCON-NH, pela contribuição na pesquisa.

Às minhas orientadoras, Professora Luciana Paulo Gomes e Professora Andrea Parisi Kern, pelas palavras de apoio, pela incondicional paciência e pela generosidade em compartilhar o conhecimento.

Aos membros da Banca, pelo aceite ao convite e pela disponibilidade para avaliar e contribuir para a melhoria deste trabalho.

Aos demais professores do Programa, pelos ensinamentos em sala de aula e pelos inúmeros assessoramentos ao longo dos dois anos.

À secretaria do PPGEC, pelo apoio técnico e logístico enquanto exerci a função de representante discente.

A todos os colegas do mestrado, por tornar este tempo de convívio mais agradável.

Também não poderia me esquecer de todos aqueles que nestes dois últimos anos, de maneira direta ou indireta, contribuíram para o desenvolvimento do trabalho, seja pela paciência em se ter um filho longe de casa por alguns meses, seja pelas horas de sono desperdiçadas no auxílio de uma melhor compreensão dos textos lidos.

Enfim, todos os que cooperaram pelo bom andamento desta etapa de vida... e que venham outras, pois como diz o mestre, “o importante é o saber”.

FONTES DE FINANCIAMENTO DA PESQUISA



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	OBJETIVOS	25
2.1	OBJETIVO GERAL	25
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
3.1	GERENCIAMENTO DE RCD	27
3.1.1	<i>Introdução ao Gerenciamento de RCD</i>	27
3.1.2	<i>Preocupações do setor</i>	28
3.1.3	<i>Segregação e quantificação dos resíduos</i>	31
3.1.4	<i>Produção mais limpa e fatores de influência</i>	35
3.1.5	<i>Considerações finais</i>	37
3.2	AMIANTO	37
3.2.1	<i>Introdução ao Amianto</i>	37
3.2.2	<i>Exploração</i>	40
3.2.3	<i>Características e classificação</i>	41
3.2.4	<i>Legislação e Normas</i>	43
3.2.5	<i>Riscos a saúde</i>	44
3.2.6	<i>Banimento no Brasil</i>	46
3.2.7	<i>Fabricantes no Brasil</i>	49
3.2.8	<i>Busca por materiais substitutos</i>	50
3.2.9	<i>Posicionamento de órgãos públicos brasileiros</i>	52
3.2.10	<i>Considerações finais</i>	54
3.3	ACV	54
3.3.1	<i>Introdução a ACV</i>	54
3.3.2	<i>Normatização da Técnica</i>	57
3.3.3	<i>Definição das etapas da ACV</i>	58
3.3.4	<i>Aplicações da ACV na área de gerenciamento de resíduos</i>	62
3.4	LEVANTAMENTO DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS	72
4	METODOLOGIA.....	75
4.1	DEFINIÇÃO DO ESCOPO	75
4.2	ANÁLISE DO INVENTÁRIO - ACV	76
4.3	AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS	85
4.4	INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	86
4.4.1	<i>Análise do Ciclo de Vida</i>	86
4.4.2	<i>Levantamento de Aspectos e Impactos Ambiental</i>	86
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	89
5.1	VISITA TÉCNICA À BRASILT	89
5.2	FLUXOGRAMA DOS PROCESSOS	91
5.3	ENTRADAS E SAIDAS DOS PROCESSOS.....	93
5.3.1	<i>Etapa de extração e mineração das matérias-primas</i>	93
5.3.2	<i>Etapa de transporte de materiais e produtos</i>	94
5.3.3	<i>Etapa de fabricação das telhas</i>	95
5.3.4	<i>Etapa de uso das telhas na obra</i>	96
5.3.5	<i>Etapa de destinação final das telhas</i>	97
5.4	AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS FRENTE AO ACV	97
5.4.1	<i>Avaliação completa, por cenários, frente à ACV</i>	97
5.4.2	<i>Efeito Estufa</i>	104
5.4.3	<i>Acidificação (chuva ácida)</i>	104
5.4.4	<i>Toxicidade Humana</i>	105
5.4.5	<i>Consumo de água</i>	106
5.4.6	<i>Consumo de energia</i>	106
5.4.7	<i>Avaliação final da ACV</i>	107

5.4.8	<i>Avaliação Final da ACV desconsiderando as etapas de transporte</i>	108
5.5	AVALIAÇÃO PERANTE O LEVANTAMENTO DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS	109
5.5.1	<i>Uso de Recursos Naturais</i>	109
5.5.2	<i>Riscos à Saúde</i>	110
5.5.3	<i>Efeito Estufa, Chuva Ácida e Toxicidade Humana</i>	111
5.5.4	<i>Avaliação Completa</i>	111
5.5.5	<i>Avaliação completa desconsiderando a etapa de transporte</i>	112
6	CONCLUSÕES	115
6.1	PROPOSTA DE PESQUISA E RESULTADOS ATINGIDOS	116
6.2	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	118
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Caracterização de resíduos de construção, reforma e demolição.....	32
Quadro 2 - Caracterização de resíduos em diferentes tipos de obras.....	33
Quadro 3 - Estimativa de geração de RCD em diferentes locais e tipos de construções.....	34
Quadro 4 - Selos verdes em diversos países.....	35
Quadro 5 - Evolução da produção anual mundial de Amianto (em toneladas).....	41
Quadro 6 - Classificação mineral do amianto.....	42
Quadro 7 - Constituições químicas, fórmulas e origem dos diferentes tipos de amianto.....	42
Quadro 8 - Listagem, em ordem cronológica, dos países que baniram o uso do amianto.....	47
Quadro 9 – Resumo de estudos com o uso da ACV.....	62
Quadro 10 – Composição das telhas.....	77
Quadro 11 – Questionário aplicado durante a visita à Brasilit em Esteio-RS.....	77
Quadro 12 – Valores unitários de emissão atmosférica por tonelada de lenha utilizada.....	79
Quadro 13 – Emissões na fase de transporte dos materiais e produtos.....	81
Quadro 14 – Locais de fabricação de telhas de fibrocimento.....	81
Quadro 15 – Gases causadores de efeito estufa e seus respectivos potenciais em CO ₂	82
Quadro 16 – Médias anuais referentes à geração de energia expressas em toneladas de CO ₂	82
Quadro 17 – Substâncias causadoras de chuva ácida e seus respectivos potenciais em SO ₂	83
Quadro 18 – Substâncias que possuem toxicidade humana e seus respectivos potenciais em Tolueno.....	83
Quadro 19 – Comparativos em equivalência de CO ₂ , SO ₂ , Tolueno, kWh e m ³	84
Quadro 20 – Cenários estudados para a fabricação de telhas de fibrocimento.....	84
Quadro 21 - Questionário estruturado respondido por um funcionário da Brasilit.....	89
Quadro 22 – Emissões na fase de mineração das matérias primas e fabricação do cimento.....	93
Quadro 23 – Emissões na fase de mineração do amianto.....	94
Quadro 24 – Emissões na fase de fabricação do polipropileno.....	94
Quadro 25 – Distâncias entre as matérias primas e as fábricas.....	95
Quadro 26 – Distâncias entre as fábricas e a obra e entre a obra e o destino final.....	95
Quadro 27 – Emissões na fase de fabricação das telhas de fibrocimento com amianto.....	96
Quadro 28 – Emissões na fase de fabricação das telhas de fibrocimento sem amianto.....	96
Quadro 29 – Cenário 1 – Telhas de fibrocimento com amianto fabricadas em Colombo-PR.....	98
Quadro 30 – Cenário 2 – Telhas de fibrocimento com amianto fabricadas em Goiânia-GO.....	99
Quadro 31 – Cenário 3 – Telhas de fibrocimento com amianto fabricadas no Rio de Janeiro-RJ.....	100
Quadro 32 – Cenário 4 – Telhas de fibrocimento com polipropileno fabricadas em Esteio-RS.....	101
Quadro 33 – Cenário 5 – Telhas de fibrocimento com polipropileno fabricadas em Iporã-PR.....	102
Quadro 34 – Cenário 6 – Telhas de fibrocimento com polipropileno fabricadas em Jacaré-SP.....	103
Quadro 35 – Cenários avaliando apenas o potencial causador de efeito estufa.....	104
Quadro 36 – Cenários avaliando apenas o potencial causador de chuvas ácidas.....	104
Quadro 37 – Cenários avaliando apenas os potenciais de toxicidade humana.....	105
Quadro 38 – Cenários avaliando apenas o consumo de água.....	106
Quadro 39 – Cenários avaliando apenas o consumo de energia.....	106
Quadro 40 – Cenários avaliados sob todas as categorias de impacto.....	107
Quadro 41 – Cenários avaliados com fibras de polipropileno.....	108
Quadro 42 – Uso de recursos naturais.....	109

Quadro 43 – Riscos à saúde (Telha com amianto).....	110
Quadro 44 – Riscos à saúde (Telha sem amianto).....	110
Quadro 45 – Melhores cenários de cada fibra.....	111
Quadro 46 – Comparativo perante as categorias	111
Quadro 47 – Comparativo perante as categorias	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Resíduo de Construção.	28
Figura 2 - Resíduo de Construção.	28
Figura 3 - Característica dos resíduos e sua correta destinação.	31
Figura 4 - Fatores de influência na gestão dos resíduos.	36
Figura 5 - Amianto interligado à rocha.	38
Figura 6 - Difração de Raios-X da fibra de amianto, a temperatura ambiente (25 °C).....	39
Figura 7 - Microscopia Eletrônica de Varredura da fibra de amianto.	40
Figura 8 - Detalhamento das etapas no processo “berço-túmulo”.....	55
Figura 9 - Detalhamento das etapas no processo “berço-berço”.	55
Figura 10 - Dimensões da Análise do Ciclo de Vida.	56
Figura 11 - Fluxograma de Fases da Análise do Ciclo de Vida.	60
Figura 12 - Etapas de ACV e SGA.....	70
Figura 13 - Unificação das etapas de ACV e SGA.....	71
Figura 14 - Largura das telhas de fibrocimento.....	76
Figura 15 - Mapa do Brasil com a localização das fábricas.	85
Figura 16 - Diagrama de blocos contendo todas as etapas do ciclo de vida do material.	92

LISTA DE ABREVIATURAS

ACV	Análise do Ciclo de Vida
ABCP	Associação Brasileira do Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABREA	Associação Brasileira dos Expostos ao Amianto
CCA	Cinza de Casca de Arroz
CNTA	Comissão Nacional dos Trabalhadores em Amianto
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
FAPERGS	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FIGR	Fatores de Influência no Gerenciamento de Resíduos
FISPQ	Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos
HEI-AR	Health Effects Institute - Asbestos Research
ISO	International Organization for Standardization
LAIA	Levantamento de Aspectos e Impactos Ambientais
LCA	Life Cycle Assessment
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MRE	Ministério das Relações Exteriores
MS	Ministério da Saúde
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NBR	Norma Brasileira
NH	Novo Hamburgo
NIST	National Institute of Standards and Technology
OMS	Organização Mundial da Saúde
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PP	Polipropileno
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
RSU	Resíduo Sólido Urbano
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção
STF	Supremo Tribunal Federal
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos
USGS	United States Geology Survey
US EPA	United States Environmental Protection Agency
WHO	World Health Organization

RESUMO

MARQUES, V. M. **Avaliação de Aspectos e Impactos Ambientais ao Longo do Ciclo de Vida de Telhas de Fibrocimento com e sem Amianto.** São Leopoldo, 2014. 132p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2014.

A indústria da construção civil tem passado por transformações significativas no Brasil e há de se destacar a crescente demanda na reutilização dos resíduos do setor, incentivada principalmente pela regulamentação da resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente e da lei federal nº 12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Em paralelo à preocupação com os resíduos de construção, verifica-se um agravante com relação aos resíduos classificados como perigosos, especificamente, para este trabalho, tratando-se do uso de materiais com amianto. Embora se tenha conhecimento sobre as consequências e os malefícios do uso deste constituinte, observa-se resistência do setor em substituir o material. É neste cenário que se insere o presente trabalho, que tem por objetivo avaliar o ciclo de vida deste tipo de resíduo através da aplicação da técnica de Análise do Ciclo de Vida (ACV) do material amianto no setor da construção civil, especificamente as telhas empregadas em coberturas. Nesta avaliação determinaram-se, para todas as etapas, as emissões atmosféricas causadoras do efeito estufa e da chuva ácida e as que possuem toxicidade humana, além do consumo de insumos (água e energia). Posteriormente foi aplicada a técnica do Levantamento de Aspectos e Impactos Ambientais (LAIA), a fim de comparar os melhores cenários criados na análise do ciclo de vida. Este levantamento agregou à avaliação da ACV os impactos de utilização de recursos naturais e os riscos à saúde devido aos fatores cancerígenos dos materiais constituintes das telhas. Foram avaliados seis cenários de ciclo de vida de telhas de fibrocimento, sendo três com amianto e três com polipropileno (fibra alternativa). Em todos estes cenários, se fixou o local de extração das matérias-primas, o local da obra em que seriam utilizadas as telhas e o local de destinação final dos resíduos após o ciclo de vida, variando-se o local de fabricação das mesmas.

Como resultado final, perante as técnicas de ACV e LAIA, o melhor cenário com polipropileno apresentou melhor avaliação em quatro das sete categorias estudadas, em comparação ao melhor cenário com amianto, que obteve índices melhores nas outras três categorias. Por outro lado, quando foram desconsideradas as etapas de transporte na avaliação, o melhor cenário com amianto gerou menos impactos em seis das sete categorias, quando comparado com o melhor cenário com as fibras de polipropileno. Deste modo, na ciência de que a etapa de transporte sempre estará presente nos ciclos de vida, considerando-se as duas técnicas, e sob o foco ambiental, verifica-se que os cenários de fabricação de telhas de fibrocimento sem amianto mostraram uma menor geração de emissões, porém com maior utilização de insumos (água e energia). Cabe salientar que, de todo ciclo de vida, os resultados mostraram uma maior geração de emissões nas etapas de transporte, portanto, ao se adotar valores de transportes menores, poderiam-se encontrar cenários mais favoráveis.

Palavras-chave: Gerenciamento de Resíduos, Resíduos de Construção e Demolição, Amianto, Aspectos e Impactos Ambientais, Ciclo de Vida, Telha de Fibrocimento.

ABSTRACT

MARQUES, V. M. **Assessment of Aspects and Environmental Impacts throughout life cycle of Cement Roofing Sheets with and without Asbestos.** São Leopoldo, 2014. 132 p. Dissertation (Master Degree in Civil Engineering) – Postgraduate Civil Engineering Program, Unisinos, São Leopoldo.

The construction industry has passed through significant changes in Brazil and it is of big importance to emphasize the growing demand for the reuse of this sector's wastes, which is encouraged mainly by the National Environment Council's regulation of the resolution 307/2002 and by the federal law 12.305/2010, which establishes the National Policy of Solid Waste. Together with the concern about construction waste, there are additional challenges regarding waste classified as hazardous, specifically, in this research project, the use of wastes composed by asbestos. Although the consequences and disadvantages of asbestos' use are known, there is considerable resistance of the sector in substituting its use. This research project is, then, inserted in this scenario, with the purpose of evaluating the life cycle of this type of waste by applying the technique of Life Cycle Assessment (LCA) of asbestos in the civil construction sector, specifically in roof sheets. In this evaluation, the atmospheric emissions that cause the greenhouse effect and acid rain and the emissions with human toxicity potential beyond resource consumption (water and energy) were determined, in all the stages of the life cycle. After, aiming to compare the best scenarios generated in the life cycle analysis, the Assessment of Aspects and Environmental Impacts (AAEI) technique was applied. This assessment of the LCA evaluation added the impact on the use of natural resources and the health risk due the carcinogen factors of the tiles' constituent material. Six scenarios of the fiber-cement tiles' life cycle were evaluated, three of them containing asbestos and the other three containing polypropylene (alternative fiber). For all of them, the raw material extraction location, the location of the construction site in which the roof sheets would be used and the destination of the waste after its life cycle were determined, varying the location of production.

As a final result, regarding the LCA and AAEI techniques, the best scenario with polypropylene had a better evaluation in four of the seven categories analyzed, in comparison to the best scenario with asbestos, which had better rates in the other three categories. When the transportation stages were not considered in the evaluation, the best scenario with asbestos generated fewer impacts in six of the seven categories than the one with polypropylene fiber (alternative fiber). Thus, with the knowledge that the transportation stages always will be part of life cycles, with both techniques considered, under the light of environmental evaluation, it is noticed that production scenarios of roofing tiles without asbestos show smaller generation of emissions, although with a higher resource consumption (water and energy). It is important to mention that, regarding the entire life cycle, the results have shown higher emission generation in the transportation stages; therefore, in adopting smaller transportation values, it would be possible to find more favorable scenarios.

Key-words: Waste Management, Construction and Demolition Waste, Asbestos, Aspects and Environmental Impacts, Life Cycle Assessment, Fiber Cement Roofing Sheets.

1 INTRODUÇÃO

O cenário da construção civil no país tem passado por inúmeras transformações, e há de se destacar a tendência crescente dos últimos anos na demanda de construções. Este fato, por si só, é considerado extremamente positivo, pois significa que a economia do país dá sinais de que o atual momento é promissor. Porém, com a grande demanda do setor de construção civil, cria-se uma consequência proporcional: um grande volume de resíduos gerados nas obras novas e nas reformas e demolições.

Conforme Pinto (1999), os resíduos de construção e demolição (RCD) podem ser constituídos por “material de obras viárias, material de escavação, demolição de edificações, construção e renovação de edifícios e limpeza de terrenos”, e calcula-se que cerca de 20 a 30% de material destas atividades seja perdido (PINTO, 1999). Segundo dados da agência ambiental americana, foram gerados aproximadamente 280 milhões de toneladas de RCD por ano nos Estados Unidos da América (US EPA, 2009). No Brasil, até o ano de 2001 não se possuía nenhuma política para a gestão dos resíduos gerados pelo setor da Construção Civil. No município de São Paulo, segundo Pinto (1999), a única lei municipal que existia se limitava a proibir a disposição de RCD em vias públicas, passando ao gerador o ônus pela sua remoção e destinação final.

Em paralelo com essas regulamentações, foi publicada em 2010 a lei federal nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) a qual tem por objetivos diagnosticar a situação atual dos resíduos sólidos, além de estabelecer metas de redução, reciclagem e reaproveitamento energético e, sobretudo metas referentes à eliminação dos lixões, entre outras ações mitigadoras no intuito de regulamentar o setor (BRASIL, 2010).

Conforme lei do Estado do Rio Grande do Sul, nº 11.643 sancionada em 21 de junho de 2001, foram estipuladas diversas datas de proibição progressiva sobre diversos setores em relação ao uso do amianto. Outros Estados também sancionaram leis similares a esta, a citar: São Paulo com a lei nº 10.813 de 2001, Rio de Janeiro com a lei nº 3.579 de 2001, Pernambuco com a lei nº 12.589 de 2004 e Mato Grosso do Sul com a lei nº 2.210 de 2001. Já no Estado do Mato Grosso e Pará as leis foram criadas e aprovadas, porém não sancionadas pelos seus respectivos governadores (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL,

2001; ESTADO DE SÃO PAULO, 2001; ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2001; ESTADO DO PERNAMBUCO, 2004 e ESTADO DO MATO GROSSO DO SUL, 2001).

Em 08 de maio de 2003, o Supremo Tribunal Federal (STF) revogou as leis, citando como argumento que as disposições destas leis invadiam a competência legislativa da União relativa a normas gerais de produção, consumo e proteção ao meio ambiente. Porém, até os dias atuais não se formulou nenhuma lei federal que complemente a abordagem das leis revogadas, ou seja, o STF considerou inválidas todas as leis estaduais de proibição do uso de amianto, considerando que estas deveriam partir da esfera federal, mas aparentemente os legisladores federais ignoraram o assunto. Com esse imbróglio, os órgãos de fiscalização ficaram sem parâmetros para fiscalizar o setor e definir se é permitido ou não o uso do amianto. Afinal, pode-se ou não utilizar o amianto em produtos em geral e em que casos o material deveria ser considerado perigoso?

Reforçando a preocupação com a falta de definição da legislação aplicada verifica-se na literatura médica estudos que apontam que todas as fibras de amianto são cancerígenas, qualquer que seja o seu tipo ou origem. Ainda, o Programa sobre Segurança das Substâncias Químicas, da Organização Mundial de Saúde, conclui que o contato com o material envolve riscos, bem como não se conhece valores limites de exposição abaixo dos quais não haja riscos cancerígenos (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 1998).

O cenário envolvendo os resíduos de materiais contendo amianto é polêmico, pois ao mesmo tempo em que a literatura médica dá exemplos e indica que a melhor solução seria o banimento do uso deste material, o setor de engenharia e pesquisa de materiais ainda não definiu um material que possa ser padronizado oficialmente como substituto. Espera-se concluir que novo material poderá atender a todas as características que o amianto possui, agregando menores índices de periculosidade e que possa atender a demanda de produtos dessa natureza. Deste modo, este trabalho foi proposto, com o intuito de exemplificar algumas das atuais possibilidades de fabricação e utilização das telhas de fibrocimento.

Paralelamente a esta situação posta está sendo executado um projeto em convênio entre a Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS e o Sindicato da Indústria da Construção de Novo Hamburgo – SINDUSCON/NH com o propósito de estudar cenários para a construção civil e implantação de uma usina de triagem e reciclagem de RCD no município de Novo Hamburgo. O foco do projeto da universidade com o sindicato é propor alternativas de ações para minimizar a geração de RCD no município e ainda orientar o

gerenciamento destes resíduos, grande desafio para o setor devido à quase inexistência de fiscalização em termos de coleta e destino final dos mesmos.

Esta pesquisa, inserida no projeto maior anteriormente citado, se concentrou em estudar a geração de resíduos perigosos dentre os RCD gerados, especificamente aqueles gerados após o uso de materiais com amianto, empregando a ferramenta de Análise do Ciclo de Vida (ACV).

Esta dissertação foi estruturada em cinco capítulos, organizados da seguinte forma:

No Capítulo 1 são apresentadas a introdução ao tema e a justificativa da pesquisa. O Capítulo 2 compreende os objetivos gerais e específicos. No Capítulo 3 é exposta a revisão bibliográfica, abordando itens considerados importantes na contextualização do tema estudado. São comentadas as questões acerca da reutilização de resíduos de construção, bem como da disposição irregular que dificulta uma melhor triagem dos materiais. É igualmente analisada, a problemática dos resíduos de materiais contendo amianto, seja na questão de riscos à saúde pelo contato com o material, seja pela substituição do material por outro com menores índices de periculosidade.

No Capítulo 4 apresenta-se a metodologia utilizada para a realização da pesquisa. O Capítulo 5 apresenta os resultados do trabalho e suas análises. E no Capítulo 6 são apresentadas as conclusões baseadas nos resultados apresentados no capítulo anterior.

2 OBJETIVOS

Este estudo foi proposto para avaliar os seguintes objetivos:

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa foi o de levantar os aspectos e impactos ambientais gerados no ciclo de vida de materiais de construção (telhas de fibrocimento) que utilizam ou não fibras de amianto na sua composição.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos foram:

- Comparar, através da ACV e do Levantamento de Aspectos e Impactos, os processos de extração, fabricação, uso e descarte de telhas de fibrocimento que empregam amianto ou fibras de polipropileno;
- Avaliar a importância da etapa de transporte na gestão ambiental envolvida com o processo de telhas de fibrocimento.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo foram apresentados os conteúdos relativos às pesquisas e estudos realizados com RCD, em especial uma abordagem sobre o material amianto, além de uma revisão sobre a ferramenta de análise do ciclo de vida.

3.1 GERENCIAMENTO DE RCD

Neste subcapítulo serão abordados assuntos relacionados aos RCD, mostrando as preocupações do setor quanto à geração de grandes volumes, importância da segregação dos resíduos na fonte geradora, tentativas de quantificação dos resíduos e utilização do conceito de construção mais limpa, na busca incessante pela minimização da geração dos resíduos.

3.1.1 Introdução ao Gerenciamento de RCD

O setor da indústria da construção civil é um indicador fiel quando se deseja mensurar o crescimento da economia de um país, ou seja, quando o cenário econômico é positivo a construção civil tende a expandir. Segundo Agopyan e John (2011), a construção civil é o setor responsável por promover toda a infraestrutura necessária para suprir as necessidades da sociedade, passando pela geração de energia, saneamento básico, transportes e evidentemente pela moradia. A contrapartida desse fato, é que para suprir toda a demanda, o setor é responsável por uma parcela significativa no consumo de recursos naturais e geração de resíduos sólidos. Como em todo crescimento industrial, a utilização de insumos gera resíduos, e eles necessitam ser gerenciados.

Um fato que demonstra o crescimento do setor faz referência ao volume gerado de resíduo da construção e demolição (RCD) em relação ao volume de resíduos sólidos urbanos (RSU). Conforme Cabral (2007), o RCD representa em média, 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos, tanto no Brasil como em outros países. O mesmo autor cita que as disposições irregulares e os aterros clandestinos, ocasionados pela falta de gerenciamento, tornaram-se uma realidade no território nacional, dificultando ainda mais o processo de gestão dos resíduos (Figura 1 e Figura 2).



Figura 1 - Resíduo de Construção.

Fonte: <http://construcaocivilpet.files.wordpress.com/2011/08/rcds-foto2.gif>



Figura 2 - Resíduo de Construção.

Fonte: <http://www.sinduscon-ba.com.br/conteudo/not/006/img/0001407.jpg>

No Brasil, a indústria da construção civil gera, aproximadamente, 65 milhões de toneladas de resíduos anualmente. Desse montante, estima-se que apenas 5% são reciclados ou reutilizados (CAPELLO, 2006).

Conforme Vaz Filho e Cordeiro (2000), o rápido crescimento populacional em áreas restritas foi o motivo que ocasionou uma urbanização descontrolada das cidades, que tem como uma de suas consequências, em uma futura reurbanização, a geração de resíduos provenientes do processo.

3.1.2 Preocupações do setor

Segundo John et al. (2003), a utilização de coletores únicos de descida de resíduos em obras ou de caçambas únicas para todos os tipos de resíduos faz com que se misturem resíduos originados em fases diferentes da obra, gerados em um estágio anterior de forma separada, diminuindo a eficiência da reciclabilidade. Detectam-se situações semelhantes na demolição de forma convencional no Brasil. Dessa forma, o resíduo de construção e demolição disponível é um resíduo misto de concretos, alvenarias, revestimentos e outros com menores possibilidades de utilização.

Este problema não se refere somente à reutilização de resíduos, a qual faz com que recursos naturais não renováveis deixem de ser extraídos da natureza, mas também está se tornando um problema social. As disposições irregulares têm como consequência um efeito deteriorante do ambiente local, verificando-se o comprometimento da paisagem urbana, do tráfego de pedestres e de veículos, do entupimento da drenagem urbana, e até mesmo criando foco de doenças (PINTO, 1999). Outros autores vão além e dizem que ao comparar o Brasil

com países onde a tecnologia de reuso de resíduos de construção é usada em grande escala, o nosso país é considerado muito atrasado (VIEIRA, 2003).

Na tentativa de regulamentar o setor, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) instituiu, em 2002, a Resolução nº 307, que tem os seguintes objetivos (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2002):

- Reduzir os impactos ambientais originados na construção civil seja pelos volumes gerados seja pelos locais inadequados os quais são dispostos e;
- Responsabilizar os geradores de resíduos da construção civil, bem como resultantes da remoção de vegetação e escavação de solos, por sua destinação final.

Esta Resolução indica também que os geradores devem ter por objetivo prioritário a não geração de resíduos, e caso não seja possível, o objetivo secundário deve ser a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final dos resíduos. De 2002 para cá, a classificação indicada na resolução já foi modificada duas vezes, sendo a atual a que a seguir está indicada (CONAMA 348/2004 e CONAMA 431/2011):

- Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:
 - a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
 - b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, argamassa e concreto);
 - c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.
- Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e gesso; (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2011);
- Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação;
- Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações

industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2004).

De acordo com Vazquez (2001), a Europa tem uma preocupação maior no quesito reciclabilidade dos resíduos de construção e demolição, e alguns países reciclam quase sua totalidade de resíduos. A Holanda, país com pouca disponibilidade de recursos naturais e com grande demanda de materiais de construção, vem procurando aumentar a eficiência do processo de reciclagem de resíduos, preocupada para que no futuro não haja um colapso da indústria de extração de minérios, e vem procurando aumentar a eficiência do processo de reciclagem de resíduos. Os países vizinhos, como Dinamarca e Bélgica, já alcançaram índices de reciclagem de mais de 80 % dos seus resíduos de construção e demolição, enquanto que em países como a Grécia, Irlanda, Portugal e Espanha esse percentual não chega a 5 % do total (DORSTHORST e HENDRIKS, 2000).

Já no Brasil, segundo Vieira (2003), ainda é pouco ou quase inexistente a utilização de materiais reciclados na fabricação de elementos da construção civil, embora haja grande disponibilidade deste material com potencial de ser reciclado, sendo quase em sua totalidade, utilizado essencialmente em sub-bases de vias e rodovias, fato que demonstra a despreocupação com o tema, corroborando com a ideia de que o problema da escassez dos recursos naturais, aparentemente, não afeta este país.

Conforme Zordan (2000), entre todos os resíduos industriais, o resíduo de construção e demolição é o mais heterogêneo.

Na Figura 3, encontram-se os diversos tipos de resíduos, suas classificações e os destinos corretos para cada classe, confirmando a heterogeneidade anteriormente citada.

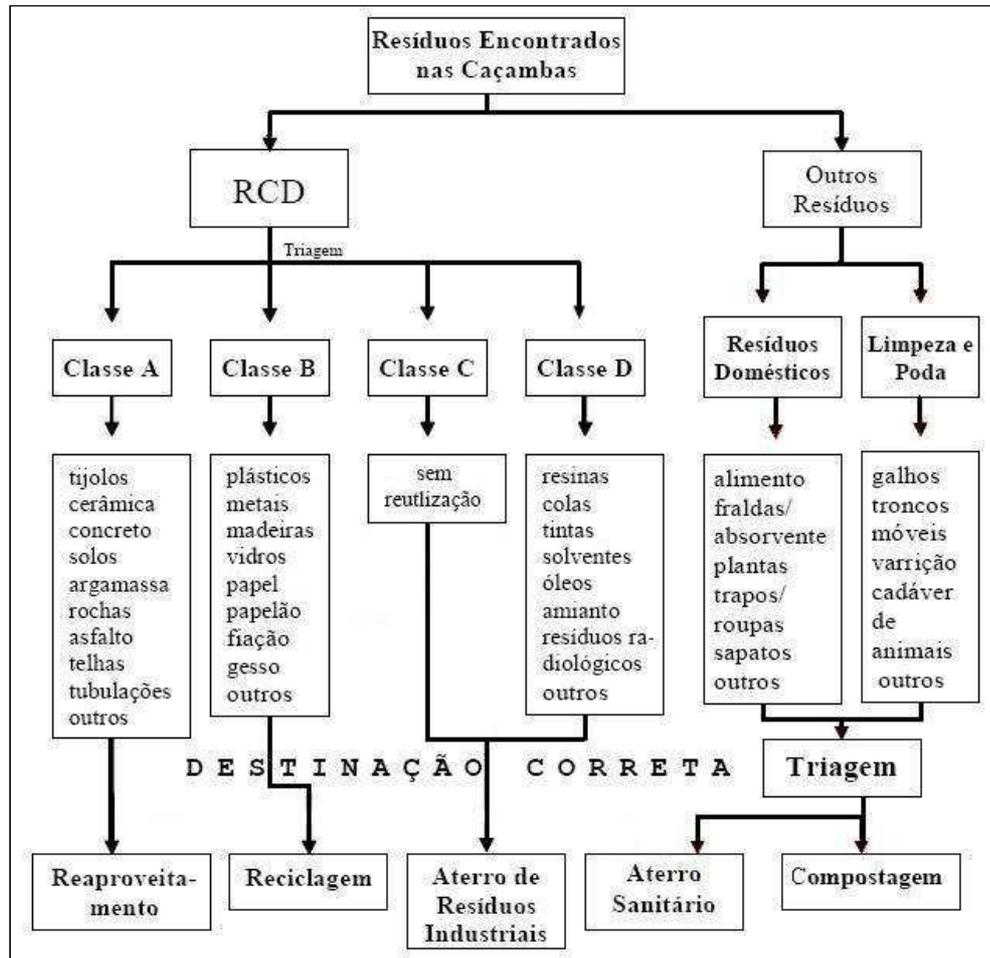


Figura 3 - Característica dos resíduos e sua correta destinação.

Fonte: Adaptado de Pasquali (2005)

Galivan e Bernold (1994) descreveram quatro etapas para se obter uma gestão adequada para o RCD, e cuja aplicabilidade continua sendo classificada como atual. Eles ainda reiteram a ideia de que todas as adaptações necessárias sejam feitas, levando-se em conta características regionais. As etapas são:

- Caracterizar e estimar o volume de resíduos de RCD gerados;
- Determinar o potencial de reciclagem (volume, custos e retorno econômico);
- Avaliar as opções de usabilidade final (reciclagem, aterro e incineração);
- Considerar o lado econômico e a proteção ambiental.

3.1.3 Segregação e quantificação dos resíduos

Quanto à caracterização gravimétrica dos resíduos de construção e demolição, diversos autores citam que os materiais predominantes são o concreto e materiais cerâmicos

como tijolos e azulejos (KAZMIERCZAK, KULAKOWSKI, e WERLE, (2011); COELHO e BRITO, (2011); OLIVEIRA et al., (2011); MIRANDA, ANGULO e CARELI, (2009)). Ainda de acordo com Coelho e Brito, (2011), destaca-se também a importância de se considerar o tipo de operação (construção, demolição ou reforma), quando da etapa de quantificação de RCD.

Conforme Pinto (1999), o conceito de reforma se diferencia de demolição pelo fato de incluir os resíduos gerados na construção de espaços novos após a demolição parcial da estrutura antiga. Estes resíduos gerados pela reconstrução, se comparados com uma eventual demolição total da estrutura, são na maioria das ocorrências de menor volume.

O Quadro 1, ilustra a diferenciação entre geração de resíduos em reformas e demolições:

Quadro 1 - Caracterização de resíduos de construção, reforma e demolição.

MATERIAL (em %)	TIPO DE CONSTRUÇÃO					
	ESCRITÓRIO	HOSPITAL	FÁBRICA	FABRICA	CASA DE ALVENARIA	CASA PRÉ-FABRICADA
	TIPO DE ATIVIDADE					
	REFORMA			DEMOLIÇÃO		
CERÂMICO	1,0	67,0	2,3	-	9,3	16,0
METAL	1,5	1,0	3,1	0,4	2,8	2,0
MOBÍLIA	59,9	-	2,3	-	-	1,0
PLÁSTICO	1,7	1,0	0,6	1,1	-	-
CONCRETO	34,1	12,0	86,8	85,2	86,5	78,0
MADEIRA	1,8	19,0	3,5	7,7	1,4	2,0
OUTROS*	-	-	1,4	5,6	-	1,0

* OUTROS = O autor não especifica do que se trata, mas pelo contexto entende-se que sejam materiais não reaproveitáveis, como por exemplo, resíduos perigosos ou gesso.

Fonte: Adaptado de Hurley (2003).

No Quadro 1, nota-se uma alteração substancial no que se refere às reformas, seja no caso do escritório com aproximadamente 60% de mobília, seja no hospital com quase 70% de material cerâmico. Isto se deve ao fato da peculiaridade das edificações, o que não se evidencia ao olhar apenas o resíduo proveniente de demolições. Neste caso observa-se que o material predominante é o concreto, em torno de 80% ou mais, fato sustentado pelo tipo construtivo das edificações.

Outro exemplo que evidencia peculiaridades na geração de resíduos conforme diferentes tipos de obras é demonstrado no Quadro 2. O autor exemplifica quatro tipos de obras: obra em fase inicial utilizando sistema estrutural, obra em fase inicial sem o uso de

sistemas estruturais, e duas obras recém-acabadas, uma com materiais tradicionais do ramo e outra com a utilização de materiais com menores pesos específicos (leves).

Quadro 2 - Caracterização de resíduos em diferentes tipos de obras.

MATERIAL	VOLUME (%)	MATERIAL/ÁREA (kg/m²)	PESO (%)
OBRA EM FASE INICIAL (ESTRUTURAL)			
Concreto/Cerâmica	15	3,30	54,20
Metal	8	1,10	17,80
Papel	5	0,08	1,23
Plástico	12	0,02	0,39
Madeira	60	1,60	26,40
Total	100	6,10	100,00
OBRA EM FASE INICIAL (NÃO ESTRUTURAL)			
Concreto/Cerâmica	84	67,60	97,60
Metal	1	0,50	0,71
Papel	7	0,39	0,56
Plástico	4	0,03	0,04
Madeira	3	0,29	0,42
Outros	1	0,46	0,66
Total	100	69,30	100,00
OBRA RECÉM-ACABADA (MATERIAIS TRADICIONAIS)			
Concreto/Cerâmica	40	29,30	75,30
Metal	4	1,80	4,60
Papel	15	0,75	1,90
Plástico	13	0,09	0,20
Madeira	7	0,62	1,60
Gesso	20	5,90	15,30
Outros	1	0,42	1,10
Total	100	38,40	100,00
OBRA RECÉM-ACABADA (MATERIAIS MODERNOS/LEVES)			
Concreto/Cerâmica	10	7,30	50,80
Metal	4	1,80	12,50
Papel	15	0,75	5,20
Plástico	30	0,20	1,40
Madeira	15	1,30	9,30
Gesso	25	2,60	18,00
Outros	1	0,42	2,90
Total	100	14,40	100,00

Fonte: Adaptado de Reixach, Cusco e Barroso (2000).

Verifica-se nos trabalhos de Oliveira et al. (2011), Coelho e Brito (2011) e Reixach, Cusco e Barroso (2000) a ausência de maiores explicações sobre a categoria “outros” e talvez isto ocorra pelo objetivo maior de caracterizar os RCD, o qual visa à reciclagem. Encontra-se situação semelhante no trabalho de Bernardes et al. (2008), porém os autores justificam que a ausência de valores deva-se a época do ano em que se realizou a pesquisa ou até por uma separação prévia dos resíduos ainda na obra.

Bakoss e Ravindrarajah, (1999) demonstram que a taxa de geração de RCD pode ser influenciada por inúmeros fatores, podendo-se citar: técnicas construtivas, fatores econômicos, incentivos públicos para a minimização de resíduos, entre outros.

Muitos trabalhos foram realizados com o objetivo de quantificar o RCD gerado. Morales, Mendes e Angulo (2006) obtiveram o volume de RCD gerado por unidade de área de reforma igual a 0,470 t/m². Além das reformas o volume de resíduos obtidos em construções novas foi estimado, sendo encontrados valores de RCD por unidade de área para edificações verticais variando entre 0,050 e 0,150 t/m² (PINTO (1999); SOUZA (2004); CARELI (2008)). Conforme Bossink e Brouwers (1996) na Alemanha e Europa Ocidental dois terços dos resíduos são provenientes de manutenção e demolição de edifícios, e o terço restante provém de atividades de construção.

Já Bronstrup (2010), realizou uma estimativa de geração de RCD no município de Gramado-RS e determinou o valor de 51 t/dia. Considerando a população de 31.000 habitantes, conclui-se que a taxa de geração é de 1,64 kg/hab.dia de RCD. Ainda, Tessaro, Sá e Scremin (2012) efetuaram pesquisa semelhante no município de Pelotas-RS, e chegaram a valores próximos aos encontrados por Bronstrup (2010), como a taxa de geração de 1,23 kg/hab.dia e a massa unitária encontrada para o RCD foi de 1,28 t/m³. Diversos outros autores realizaram processos semelhantes na busca de uma resposta em comum (Quadro 3).

Quadro 3 - Estimativa de geração de RCD em diferentes locais e tipos de construções.

Autor	Ano	País	Tipo	Estimativa RCD	Conclusões	* RCD estimado (m ³ /m ²)
Reixach et al.	2000	Espanha	Residencial e não residencial	m ³ /m ² (sem solo)	0,125 m ³ /m ² área construída	0,125
Tam et al.	2007	Hong Kong	Residencial e não residencial	Nível desperdício em % por quatro tipos diferentes de resíduos	Habitação privada: 13,28%	-
Kofowoeola et al.	2009	Tailândia	Residencial e não residencial	kg/m ²	Residencial: 21,38 kg/m ² Comercial: 18,99kg/m ²	0,025
Solis-Guzmán et al.	2009	Espanha	Construção e demolição	m ³ /m ² de acordo com três tipos de resíduos por unidade de área	Nova const: 0,3076 m ³ /m ² Demolição: 1,2676 m ³ /m ²	0,79

* Adotado a massa unitária do RCD de 1,28 t/m³.

Fonte: Adaptado de Sáez, Merino e Porrás-Amores (2012).

Analisando os dados anteriores evidenciou-se que os índices finais de geração de RCD divergiram. Provavelmente a justificativa é que a abordagem para esse tipo de

determinação deve ser local, considerando características da região e da população (SÁEZ, MERINO e PORRAS-AMORES, 2012).

3.1.4 Produção mais limpa e fatores de influência

Os selos verdes de construção foram designados como ferramentas de avaliação ambiental, no qual se valoriza: o aumento da eficiência de projeto no uso de energia e consumo de recursos naturais, a redução de impactos ambientais seja pela diminuição de emissões gasosas ou no aumento de áreas verdes de projeto, e também a minimização da geração de resíduos de construção com foco na utilização de materiais não poluentes e recicláveis, reduzindo os impactos socioambientais (SHI et al., 2013); (TSENG e HUNG, 2013). No Quadro 4, encontram-se alguns selos verdes utilizados e seus países de origem.

Quadro 4 - Selos verdes em diversos países.

NOME DO SELO VERDE	PAÍS (ORIGEM)
Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM)	Reino Unido
Leadership in Energy and Environment Design (LEED)	EUA
Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency (CASBEE)	Japão
Green Building Certification (GBC)	Coréia do Sul
Green Building Tool (GBTool)	Canadá
Building Environment Performance Assessment Criteria (BEPAC)	Canadá
Building Environment Assessment Method	Hong Kong
Casa Azul – Caixa Econômica Federal	Brasil
AQUA - Alta Qualidade Ambiental	Brasil

Fonte: Adaptado de Cha, Kim e Han (2009).

No contexto da construção civil, alguns fatores de projeto e execução podem ser correlacionados e ter influência no processo de minimização na geração de resíduos.

Segundo Cha, Kim e Han (2009) podem-se definir Fatores de Influência no Gerenciamento de Resíduos (FIGR), como algo que tenha impacto, na redução de resíduos ou que facilite o uso de materiais reciclados. De acordo com os autores foram identificadas cinco áreas nas quais se puderam diagnosticar alguma relação com o processo, dentre elas mão-de-obra, práticas de gerenciamento, materiais e equipamentos, métodos construtivos e políticas industriais. Na Figura 4, os autores expõem cada área com a respectiva importância no processo de gestão de resíduos.

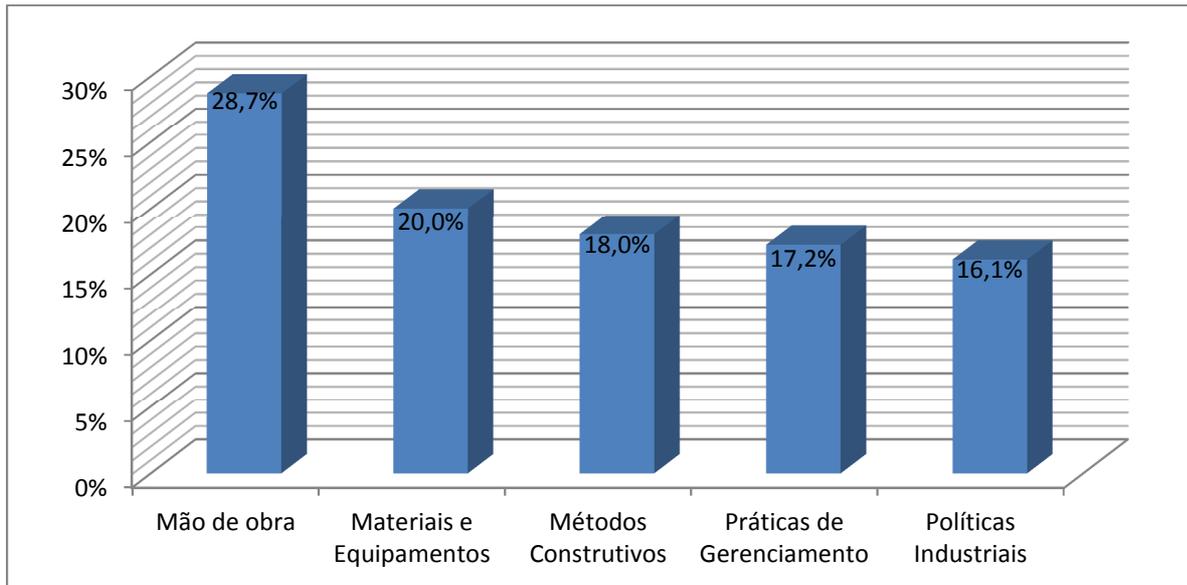


Figura 4 - Fatores de influência na gestão dos resíduos.

Fonte: Cha, Kim e Han (2009)

Observa-se pelas informações da Figura 4, que na opinião dos autores o fator mão de obra é responsável por aproximadamente 28,7% do sucesso na gestão de resíduos.

Porém, o fator mão de obra é uma categoria criada pelo autor para mascarar possíveis erros humanos. Conforme Almeida (2013), no setor da construção civil, encontram-se trabalhadores sem o conhecimento específico para realizar determinadas tarefas do dia a dia, pois não tiveram a oportunidade de estudar, grande maioria originada no meio rural e que aprenderam a exercer a profissão apenas observando colegas mais experientes, os quais muito provavelmente também adquiriram suas habilidades da mesma maneira, fato este, que com o passar do tempo, gera velhos e novos hábitos, que prejudicam a eficiência de produção.

Ainda conforme Almeida (2013), este fato pode se tornar um grande aliado na busca pela melhoria no gerenciamento de resíduos, pois se considerando os baixos índices de produtividade evidenciados por Cha, Kim e Han (2009), o setor possui um grande potencial de evolução. Segundo estudo elaborado por Almeida (2013) diretamente com os trabalhadores do setor, os resultados indicam que os treinamentos oferecidos aos funcionários promovem oportunidades para a qualificação do trabalhador, com o intuito de aumentar o entrosamento, a confiança, autoestima e desse modo possibilitar que os trabalhadores atendam as demandas da empresa e do gerenciamento de resíduos.

3.1.5 Considerações finais

Conforme tratado no subcapítulo 3.1, o gerenciamento de resíduos tem se mostrado um grande desafio ao setor, visto que a quantificação dos resíduos não se dá de maneira direta, relacionando área construída ou reformada por um índice gerador de resíduos. Outro problema encontrado foi o fato de grande parte do setor não se preocupar com a segregação na fonte geradora dos resíduos, fato este que dificulta e diminui a eficiência na reciclabilidade dos resíduos.

Além destes tópicos tratados, há ainda a preocupação com resíduos classificados como perigosos, os quais devem ser descartados em locais próprios. Dentre estes, pode-se destacar o amianto, que há pelo menos 30 anos alguns países vêm proibindo o comércio em seus territórios.

Indo de encontro com esta tendência, o Brasil, que é um dos maiores produtores mundiais do minério, ainda permite a utilização do amianto em diversos produtos, mesmo com comprovações científicas do seu malefício a saúde. Estes assuntos serão abordados no item 3.2.

3.2 AMIANTO

Neste subcapítulo serão tratados tópicos relacionados ao material amianto, demonstrando como o minério é encontrado na natureza, suas principais características e classificações, legislação e normas atuais, riscos a saúde pelo manejo do material, questões políticas sobre o banimento do uso no país, os principais fabricantes no Brasil, a busca por materiais substitutos e o posicionamento de órgãos públicos nacionais.

3.2.1 Introdução ao Amianto

O amianto ou asbesto, como é chamado, tem o nome de origem latina *amianthus* que significa “inocorrível” e também do grego *asbesto* quer dizer: “o que não pode ser destruído pelo fogo”, fato que já demonstra uma de suas principais características: suportar altas. Característica esta que é interessante para a indústria, e que o popularizou no período pós Revolução Industrial como uma eficiente matéria-prima para isolamento térmico de máquinas a vapor (ABREA, 2013).

De acordo com Scliar (1998) as principais características do amianto são a resistência à tração, que pode ser equivalente à resistência do aço, e a resistência ao calor, já que o material só entra em fusão quando em contato com temperaturas bastante elevadas.

Segundo Castro et al. (1999) o material amianto é um conjunto de minerais, sendo o seu principal constituinte o silicato de magnésio, encontrado na natureza em estado bruto e não contém elementos orgânicos.

Ele tem origem em rochas metamórficas, e com o passar de centenas de anos, transforma-se em um material fibroso. Desde os tempos antigos é conhecido e utilizado, conforme relatos o material foi encontrado durante escavações na Finlândia, e era utilizado como reforço de utensílios cerâmicos. Também há indícios de que os romanos há mais de 2.000 anos extraíam a matéria prima das minas situadas nos Alpes italianos e nos Montes Urais na Rússia (ABREA, 2013). A Figura 5 ilustra como o amianto é encontrado na natureza.



Figura 5 - Amianto interligado à rocha.

Fonte: Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (2010).

A Figura 6 mostra o ensaio de difração de raios-X da fibra de amianto.

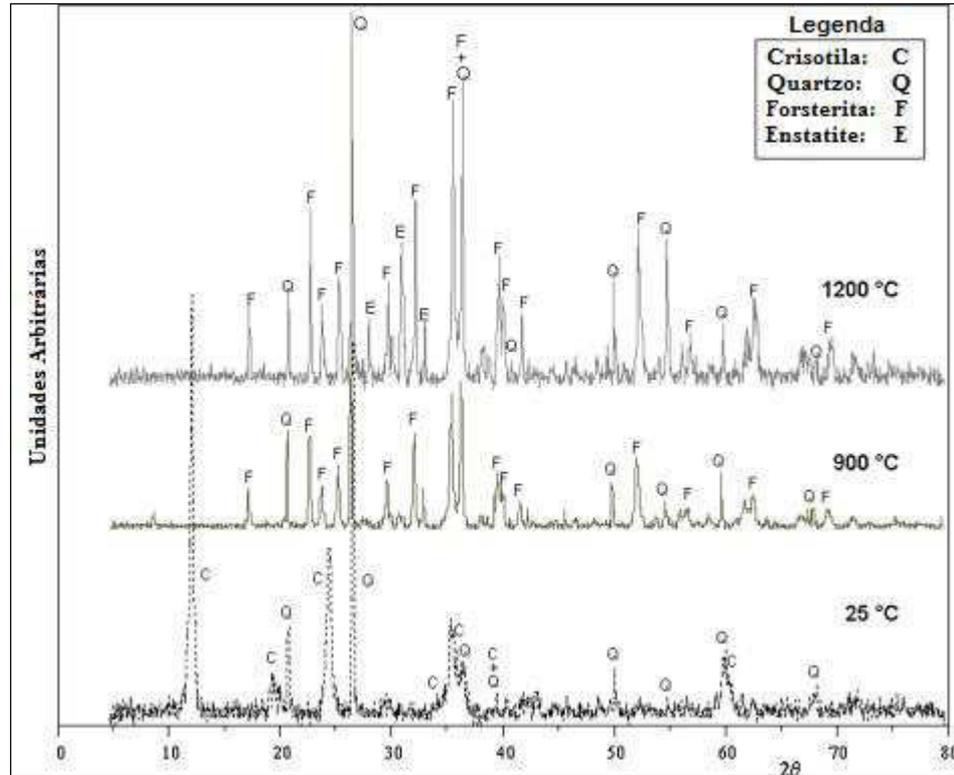
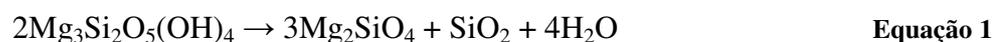


Figura 6 - Difração de Raios-X da fibra de amianto, a temperatura ambiente (25 °C) e após aquecimento de 900 °C e 1200 °C.

Fonte: Adaptado de BELARDI e PIGA (2013).

Na Figura 6 observa-se o espectro de raios-X das amostras da fibra de amianto, a 25°C tratado pelos autores como temperatura ambiente, e após a queima do material a 900°C e 1200°C.

Conforme Belardi e Piga (2013), o espectro da primeira amostra (25° C) mostra os picos esperados atribuíveis a crisotila e quartzo, enquanto que os demais materiais poliméricos, não são visíveis nesta técnica utilizando esta temperatura. As análises realizadas sobre o resíduo após a queima a 900° C e 1200° C, confirma efetivamente a reação de decomposição da crisotila em duas etapas separadas, em função da temperatura de queima final da amostra. No espectro do resíduo após a queima, tanto da amostra a 900° C quanto a 1200°C, os picos de crisotila já não estão presentes, pelo fato do amianto ter sido transformado em SiO₂ amorfa e forsterita (Mg₂SiO₄), de acordo com a Equação 1:



A Figura 7 mostra uma microscopia eletrônica de varredura da fibra de amianto.

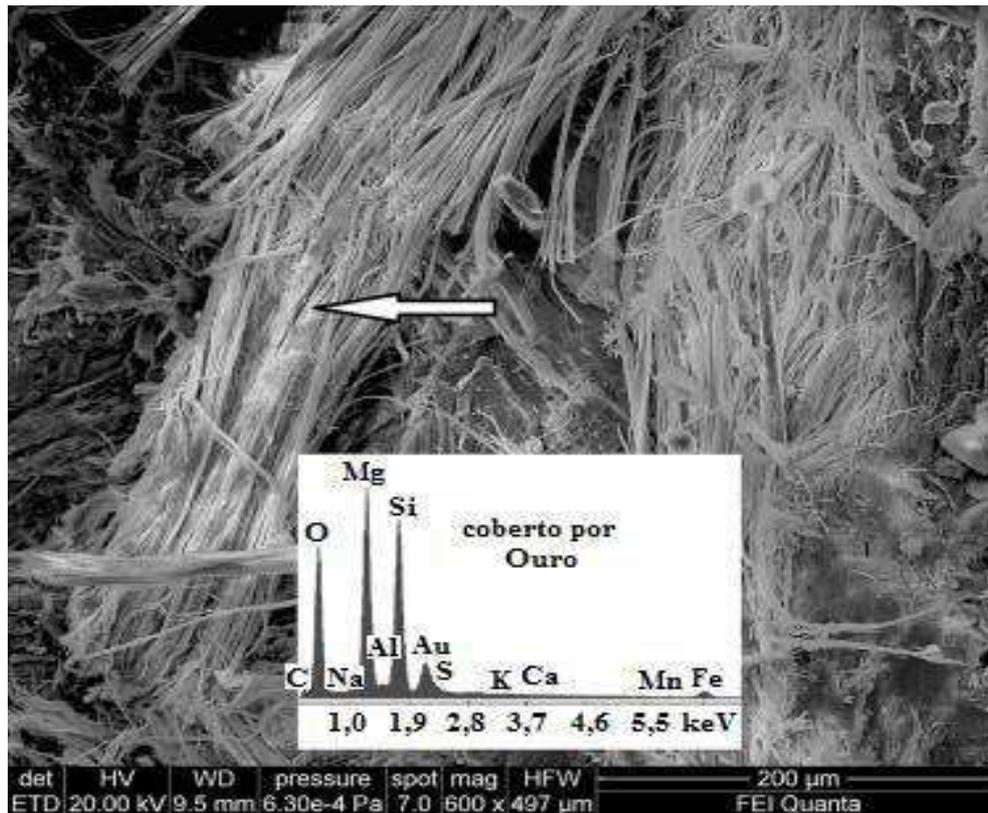


Figura 7 - Microscopia Eletrônica de Varredura da fibra de amianto.

Fonte: Adaptado de BELARDI e PIGA (2013).

A microscopia eletrônica da Figura 7 mostra um grupo de fibras contidas numa amostra contendo fibras de amianto. Com o intuito de encontrar quais fases estavam presentes na amostra, uma análise semi-quantitativa de alguns pontos das fibras foi realizada. O ponto indicado pela seta é o local onde foi realizada a análise e os resultados são mostrados no quadro contido na mesma Figura 7. A análise mostrou que o Mg e Si são os principais elementos presentes na amostra, que ainda contém vestígios de Fe, que não deveria estar presente na estrutura ideal (BELARDI e PIGA, 2013).

3.2.2 Exploração

Embora o amianto seja uma das matérias-primas mais exploradas desde a antiguidade, ainda não se tem certeza sobre as decisões que devem ser tomadas no quesito saúde pública (TERRA FILHO e BAGATIN, 2010).

Segundo Terra Filho e Bagatin (2010), desde 1940 o amianto é explorado legalmente no Brasil, e estima-se que sua produção seja na da ordem de 200.000 toneladas por ano. Acredita-se que cerca de 10.000 trabalhadores já teriam se contaminado com o material

na atividade de mineração, porém alguns jornais e revistas já teriam divulgado a informação de que cerca de 200.000 a até 300.000 pessoas foram expostas ao material, incluindo as fases de extração e manejo do material.

De acordo com Silva e Etulain (2010), cerca de 40 países possuem reservas naturais desse mineral, mas grande parte destes abandonou a extração ou tem reduzida importância. Atualmente a produção mundial está dividida em apenas seis países: Rússia (46,2%), China (20,2%), Brasil (10,9%), Cazaquistão (10,3%), Canadá (7,8%) e Zimbábue (3,6%), valores os quais estão demonstrados no Quadro 5.

Quadro 5 - Evolução da produção anual mundial de Amianto (em toneladas).

ANO	RÚSSIA E CAZAQUISTÃO	CHINA	BRASIL	CANADÁ	ZIMBÁBUE	OUTROS
1995	808.400	263.000	208.683	515.587	169.256	51.500
1996	743.700	293.000	213.213	506.000	165.494	49.000
1997	892.000	288.000	208.447	455.000	144.959	37.300
1998	755.400	314.000	198.332	309.000	123.295	149.300
1999	814.300	229.000	188.386	337.366	115.000	107.000
2000	983.200	315.000	209.332	307.000	152.000	108.500
2001	1.021.300	310.000	172.695	277.000	136.327	144.000
2002	1.066.100	270.000	194.732	241.000	168.000	107.500
2003	1.231.000	260.000	231.117	241.000	130.000	93.000
2004	1.300.000	230.000	252.067	235.000	117.000	74.500
2005	1.330.000	450.000	236.047	175.000	110.000	20.000
2006	1.310.000	470.000	227.000	170.000	116.000	25.000
2007	1.318.000	472.000	254.000	183.000	85.000	23.000

Fonte: QUEIROGA (2005, 2006, 2007, 2008); in DNPM (2010) e USGS (2008).

De toda a demanda de produção de amianto, estima-se que aproximadamente 90% seja empregada em produtos de fibrocimento, entre eles telhas e caixas d'água (Silva e Etulain, 2010).

3.2.3 Características e classificação

Com relação à classificação mineral, o amianto se divide em duas categorias: as serpentinas e os anfibólios. A serpentina tem somente uma variedade de amianto, já os anfibólios possuem cinco diferentes variações, conforme mostra o Quadro 6:

Quadro 6 - Classificação mineral do amianto.

SERPENTINAS	ANFIBÓLIOS
CRISOTILA	TREMOLITA
	ACTINOLITA
	ANTOFILITA
	AMOSITA (amianto marrom)
	CROCIDOLITA (amianto azul)

Fonte: COMISSÃO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (2010).

Na classe dos anfibólios, as fibras são classificadas como duras, retas e pontiagudas. Apenas duas variedades de anfibólios são economicamente viáveis e têm interesse comercial: a amosita e a crocidolita. Porém, em escala mundial a comercialização de anfibólios está reduzida (COMISSÃO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2010).

No Quadro 7, podem-se encontrar os diferentes tipos de amianto com as suas respectivas nomenclaturas, fórmulas e locais de extração.

Quadro 7 - Constituições químicas, fórmulas e origem dos diferentes tipos de amianto.

AMIANTO	CONSTITUIÇÃO QUÍMICA	FÓRMULA	LOCALIZAÇÃO DAS MINAS
CRISOTILA	Silicato hidratado de Magnésio	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	Canadá, Rússia, Brasil (Minaçu/GO), Cazaquistão e Zimbábue
CROCIDOLITA	Silicato hidratado de ferro e sódio	$Na_2(Fe,Mg)_5Si_8O_{22}(OH)_2$	África do Sul e Austrália
ANTOFILITA	Silicato hidratado de ferro e magnésio	$Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2$	Finlândia e Brasil (Jaramataia/AL)
AMOSITA	Silicato hidratado de ferro e magnésio	$Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2$	África do Sul
TREMOLITA	Silicato hidratado de ferro, magnésio e cálcio.	$Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$	Aparece junto aos depósitos de crisotila e talco
ACTINOLITA	Silicato hidratado de ferro, magnésio e cálcio.	$Ca_2(Mg,Fe^{+2})_5Si_8O_{22}(OH)_2$	China, Rússia, Nova Zelândia e Canadá

Fonte: QUEIROGA e FERREIRA FILHO (2008).

Conforme Scliar (1998), Faustino (2012) e Huet (2012), além das vantagens já citadas de resistência a tração e a altas temperaturas, o amianto possui inúmeras outras características como: baixa condutividade térmica, resistente a microrganismos, resistente a produtos químicos, elevada resistência dielétrica, excelente isolante elétrico e acústico, alta durabilidade, flexível, estável em diferentes valores de pH, fácil manuseio para ser tecido ou fiado, boa interação com a água além de ter afinidade com o cimento, resinas e ligantes.

Queiroga e Ferreira Filho (2008) dizem que a propriedade de resistência ao calor do amianto crisotila permite aplicações em altas temperaturas. O autor cita que o material começa a desidratar por volta dos 90°C. A desidroxilação se inicia aos 640°C e se completa

a 810°C e ainda que a temperatura de fusão é de aproximadamente 1.500°C. Queiroga (2008) ainda complementa, dizendo que todos os tipos de anfíbolios suportam temperaturas de várias centenas de graus sem degradação, excedendo a 1.124°C.

Segundo os mesmos autores, o amianto já esteve presente em aproximadamente três mil produtos, porém o uso mais difundido socialmente foi nas telhas de fibrocimento. O fibrocimento é um produto que se caracteriza pela mistura de amianto, celulose, cimento, calcário e água, formando uma massa básica. Essa massa é moldada em fôrmas e colocada para curar. Nenhuma norma técnica determina a relação entre quantidades de materiais, deixando a cargo de cada fabricante, porém os fabricantes majoritários do setor utilizam a quantidade de amianto nesta massa entre 7% e 10%.

3.2.4 Legislação e Normas

Conforme a Lei 9.055/95, a mineração e comércio das fibras anfíbolios estão proibidos no Brasil, já a fibra crisotila (ou amianto branco), que do grego significa “fibra de ouro”, está liberada. (COMISSÃO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2010).

O processo de fabricação das telhas é padronizado por leis e normas, dentre elas pode-se destacar, a NBR 7.581/1993 a qual foi substituída e dividida em três partes: NBR 7.581/2012 – Telha Ondulada de Fibrocimento (Parte 1 – Classificação e Requisitos, Parte 2 – Ensaio, Parte 3 – Padronização) e ainda a NBR 15.210/2005 – Telha Ondulada de Fibrocimento Sem Amianto e Seus Acessórios (Parte 1 – Classificação e Requisitos, Parte 2 – Ensaio, Parte 3 – Amostragem e Inspeção) (ABNT, 1993, 2005 e 2012). Nota-se que esta última, já normatiza os produtos fabricados sem a utilização de amianto.

Como já citado, em nenhuma destas se observa alguma classificação indicativa quanto à composição química ou a quantitativos, ficando cada fabricante responsável por elaborar fórmulas e selecionar matérias-primas para o produto final, que devem respeitar e atingir requisitos e ainda atender a valores mínimos de ensaios quanto às propriedades mecânicas do material indicadas nas normas técnicas brasileiras.

Segundo Silva e Etulain (2010), há uma lacuna a ser preenchida pela legislação federal, que posicione oficialmente sobre o banimento, uso controlado ou liberação do uso de amianto. Alguns Estados brasileiros já se pronunciaram contra o uso, como por exemplo,

Pernambuco, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo, conforme citado no capítulo de introdução.

3.2.5 Riscos a saúde

Aspectos financeiros a parte, no âmbito da saúde, dentre alguns estudos que avaliaram o impacto ambiental da exposição ao amianto, pode-se destacar os divulgados pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 1998), que baseados em dados de inúmeros países, destacaram algumas medições de concentrações de fibras por centímetro cúbico de ar (f/cc). Nos anos 70 as concentrações médias eram de aproximadamente 20 f/cc, sendo que hoje em dia esses mesmos níveis são na ordem de 0,002 a 0,02 f/cc, ou seja, entre 0,01 a 0,1% da concentração total a qual os trabalhadores eram expostos há 40 anos atrás (TERRA FILHO e BAGATIN, 2010).

Conforme o mesmo estudo, no ambiente em geral a taxa de concentração medida em vários países da América do Norte, Europa, África e Japão variou entre 0,00005 a 0,02 f/cc. Nestas referidas localidades, em edifícios públicos que utilizaram telhas com amianto no processo construtivo, as concentrações médias foram entre 0,00005 e 0,0045 f/cc. De acordo com Terra Filho e Bagatin (2010), a literatura ainda não respondeu uma dúvida quanto a essas taxas de concentração: “qual o eventual efeito na saúde decorrente desses níveis de exposição?”.

Conforme a literatura afirma e considerando as inúmeras características já citadas, o material foi utilizado de inúmeras formas ao longo da história. Em paralelo, estas mesmas características do amianto são as principais responsáveis por seu poder cancerígeno, fato que levou 58 países a proibirem sua utilização, sendo pioneiras na ação a Islândia em 1983 e a Noruega em 1984. Outra data que merece realce foi a do banimento total do amianto nos países da Comunidade Europeia a partir de 01/01/2005.

A exposição a fibras de amianto maiores ou iguais a 5 μm de comprimento é internacionalmente considerada como aquela de potencial patogênico respiratório definido, tanto para condições não malignas (placas pleurais e asbestose), como malignas (mesotelioma e câncer de pulmão) (HEI-AR, 1991). Desta forma, os organismos internacionais de vigilância à exposição ao amianto (OMS, 1998; USEPA, 2003 e USEPA, 2005) não consideram, em seus relatórios, a presença de fibras de menores dimensões, incluindo-se por exemplo, a

avaliação de exposição no incidente do dia 11/09/2001 no World Trade Center (LANDRIGAN, 2004).

Com relação aos dados sobre doenças relacionadas ao contato com o amianto, baseado em grupos de trabalhadores em seis países na Europa, estima-se que a taxa de mortalidade por mesotelioma continuarão altos até o ano de 2015 (PETO et al., 1999).

Existem estudos científicos, datados de 1907 que revelam uma relação entre exposição ao amianto e o surgimento de determinadas doenças. Inicialmente se diagnosticou a asbestose, depois se detectou que a ocorrência de um tipo de câncer de pulmão também estava relacionada ao amianto (alterações pleurais ditas “benignas” (placas pleurais e derrame pleural)), e posteriormente o mesotelioma maligno de pleura e peritônio. Uma das últimas descobertas no assunto é que a exposição ao amianto também foi associada a um aumento no risco de câncer de laringe e de tumores digestivos, mas esta analogia ainda não se tornou consenso na literatura médica (STRAIF et al., 2009).

Estudos realizados em trabalhadores expostos a crisotila em diferentes áreas demonstraram em geral uma relação entre exposição e efeito para a asbestose induzida por amianto crisotila, pois crescentes níveis de exposição produziram um aumento na incidência e potencialidade da doença. Apesar disso, existiram dificuldades em se definir uma relação definitiva, devido a fatores como a incerteza no diagnóstico e possibilidade de progressão da doença após o fim da exposição ao material (OMS, 1998). Estudos demonstram que as doenças do amianto levam 20, 30 ou até 40 anos para se manifestar (COMISSÃO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2010).

De acordo com Ferrer e Martínez (2008), a maior dificuldade no diagnóstico de problemas associados com o amianto continua na questão da determinação de quando um paciente teria sido exposto ou não. A prioridade em termos de melhorias no diagnóstico é fornecer treinamento a médicos para a tarefa de coleta de dados dos últimos empregos, sendo capaz de identificar ou descartar o amianto como a causa de um distúrbio.

É consenso na área médica de que todas as doenças originadas do amianto são progressivas e incuráveis. Mesmo que a pessoa a qual foi exposta ou inalou a poeira seja afastada da fonte do problema, a doença continua evoluindo progressivamente, e com frequência leva à morte (ROCHA, 2003).

3.2.6 Banimento no Brasil

No Brasil, a dúvida pelo banimento do material continua sendo debatida, mesmo com a Resolução 348 do CONAMA, que inseriu o resíduo de construção contendo amianto como material perigoso e tendo que ser destinado a um Aterro Industrial, cabendo a cada Unidade da Federação legislar quanto aos aterros industriais (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2004).

Porém, alguns defensores do uso do amianto apoiam-se em argumentos financeiros e trabalhistas. Eles citam que o custo da cobertura de fibrocimento com alguma fibra alternativa acarretaria em aumento de até 30% em relação à cobertura contendo amianto (DNPM, 2007). Outro fator apontado consiste no prejuízo à balança comercial do país no ato da substituição da fibra natural por uma fibra sintética, devido à alta demanda de importação de matéria-prima necessária para o novo produto. Neste argumento, esta importação é desnecessária caso o amianto crisotila continue sendo utilizado, pois o Brasil possui grandes reservas do minério (DNPM, 2007).

Silva e Etulain (2010) citam que o setor gera em torno de 170 mil empregos nas áreas de mineração, fabricação, transporte, distribuição e revenda. Se o amianto fosse retirado de circulação não só estas áreas sofreriam efeitos negativos, mas toda a cadeia produtiva. Contudo, estes números são desmentidos por Castro (2008), que em seu estudo constatou que 16.863 trabalhadores estavam empregados no setor, sendo destes 3.893 na etapa de fabricação e apenas 453 na mineração, demonstrando que talvez a realidade não seja tão verdadeira quanto apontam os números dos adeptos do amianto.

Baseados nestes indicativos e na tentativa de frear os crescentes índices de mortalidades alguns países baniram o uso do amianto em seus territórios (Quadro 8).

Quadro 8 - Listagem, em ordem cronológica, dos países que baniram o uso do amianto.

PAÍS	ANO DO BANIMENTO
Islândia	1983
Noruega	1984
Dinamarca e Suécia	1986
Cingapura e Suíça	1989
Áustria	1990
Holanda	1991
Finlândia e Itália	1992
Alemanha	1993
Brunei	1994
Kuwait	1995
Bahrain, Eslovênia e França	1996
Principado de Mônaco e Polônia	1997
Arábia Saudita, Bélgica e Burkina Faso	1998
Reino Unido	1999
Emirados Árabes e Irlanda	2000
Argentina, Chile, Letônia e Omã	2001
Espanha, Luxemburgo, Nova Zelândia e Uruguai	2002
Austrália	2003
Honduras e Japão	2004
Bulgária, Chipre, Egito, Eslováquia, Estônia, Grécia, Hungria, Jordânia, Lituânia, Malta, Portugal, República Checa e Romênia	2005
Croácia	2006
África do Sul e Coréia do Sul	2007
Taiwan	2009
Qatar	2010

Fonte: (ABREA, 2012)

Durante este processo, algumas pessoas do setor do amianto, em parceria com integrantes acadêmicos da medicina ocupacional, buscaram desqualificar os fatos que gradativamente foram sendo divulgados a favor do banimento do asbesto. Seja por resultado de pressões do poder público ou de proibições legais, a exploração e utilização do amianto foram interrompidas em muitos países. A partir de tal fato, alguns países subdesenvolvidos viraram alvo de uma campanha desencadeada pelo setor da crisotila, especialmente o canadense, que tentava distorcer informações dizendo que os danos causados pelo uso desta fibra não seriam altos. A partir disso, em seu único mercado potencial, procuraram recuperar nos países em desenvolvimento a tática que estava sendo empregada no passado em países desenvolvidos, para a confirmação de seus apontamentos (WUNSCH-FILHO, NEVES e MONCAU, 2001).

No Brasil ocorreu processo semelhante. O grupo que tem o monopólio do setor no país liderou uma campanha pelo “uso controlado do amianto”. Os envolvidos argumentam que mesmo o amianto sendo um produto prejudicial à saúde, seria possível a extração e manuseio controlado. Dizem ainda que se forem adotadas tecnologias de segurança adequadas ao processo industrial, a possibilidade do amianto causar danos à saúde seria diminuída ou até eliminada (COMISSÃO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2010).

Há muito tempo o banimento do amianto no Brasil vem sendo discutido, no entanto sem ainda ter se chegado a um veredito final. Na opinião de Silva e Etulain (2010), o grupo líder do mercado arquitetou progressivamente uma estratégia de ignorar os efeitos nocivos à saúde e ao ambiente, causados pelo amianto. Ainda conforme destacam os autores, o grupo defende o movimento pelo uso controlado ao invés de abandonar o uso da matéria-prima e tentar usar algum material substituto. Paralelamente ao fato do consumo interno de amianto diminuir, o grupo procurou ampliar suas vendas para países onde o comércio ainda fosse permitido. Como grande produtor de amianto no Brasil, o grupo Eternit continuou a produção de produtos de fibrocimento com amianto, mas não deixou de mover esforços necessários na tentativa de capacitação efetiva para participar do mercado de produtos com fibras alternativas.

Outro exemplo vem da América do Norte; nos Estados Unidos da América o uso é legalizado, porém com restrições, sendo o máximo de tolerância de exposição ocupacional ao amianto adotado no país de 0,1 fibras/cm³ para uma jornada de trabalho de oito horas diárias, fato este que comprova porque o uso do amianto nos EUA vem declinando substancialmente e a extração do mineral no território norte-americano foi proibida em 2002. Este limite é vinte vezes mais rígido do que o definido na legislação brasileira que é de 2,0 fibras/cm³ (CARVALHO, 2009 e NIOSH, 2009).

O Canadá por sua vez, é um dos grandes defensores do uso controlado do amianto, pois o próprio Estado é proprietário das três minas de amianto em atividade, mas mesmo assim, sua legislação prevê inúmeras restrições ao uso do produto (CARVALHO, 2009).

3.2.7 Fabricantes no Brasil

No ano de 1997 a BRASILIT, comandada por um grupo francês, separou-se da brasileira ETERNIT e passou a não utilizar amianto nos seus produtos. O material alternativo encontrado à época foi a fibra sintética alternativa de PVA (álcool polivinílico), que posteriormente em 2003 foi substituída pela fibra de polipropileno (PP).

Uma única mina de crisotila está em operação no país e responde pela totalidade da produção, trata-se da mina de Cana Brava, localizada no município de Minaçu no estado de Goiás. De forma que, a empresa SAMA - Mineração de Amianto Ltda. da ETERNIT, concessionária do local, se tornou uma empresa nacional de capital totalmente brasileiro (QUEIROGA, 2005).

Um dos maiores fabricantes do setor brasileiro que não utiliza amianto passou a utilizar como material substituto a fibra de polipropileno (BRASILIT, 2013a). Ainda no ano de 2003, a empresa inaugurou a primeira fábrica brasileira de fio sintético à base de polipropileno (PP), na cidade de Jacareí (SP), material este que substituiu o amianto na produção de telhas e caixas d'água.

Conforme Silva e Etulain (2010) há uma maneira eficaz de se controlar efetivamente os riscos apresentados pelo uso do amianto, e é justamente proibindo o trabalho em todas as etapas do processo que o compõe, seja extração, transporte, comercialização e utilização do amianto no território brasileiro.

Esta ação traria um pequeno impacto econômico, que poderia ser reduzido ao se adotar algumas práticas de política industrial por um tempo específico, como por exemplo, incentivos fiscais às empresas que se adequarem ao processo. Outro ponto importante a ser destacado seria o incentivo por parte do governo e das próprias empresas a pesquisas de novos componentes e materiais alternativos, além dos presentes no mercado hoje em dia (SILVA e ETULAIN, 2010).

Embora haja um consenso de que a saúde dos trabalhadores e da população deva ter sempre maior importância, os autores citam que haverá determinados grupos que continuarão defendendo a permanência das vendas desses produtos sob a visão econômica, apenas para o mercado internacional, sem o consumo interno destes produtos, como atualmente é permitido no Canadá, e dirão que assim o país não deixará de utilizar o material ainda não explorado, e assim diminuir o prejuízo pela proibição, já que atualmente as exportações de amianto são na ordem de US\$ 50 milhões/ano (SILVA e ETULAIN, 2010).

Sobre o município de Minaçu-GO, local onde hoje existe a maior jazida do minério no país, os autores creem que a proibição do uso do amianto trará grandes impactos negativos ao local, porém este poderá ser remediado com ações alternativas de apoio como, por exemplo, o turismo da mina abandonada e museus contando a história do minério (SILVA e ETULAIN, 2010).

O veto do uso do amianto pelo mercado europeu, no ano de 2005, alterou drasticamente os números de comercialização do material, que passou a circular apenas em países pobres ou em desenvolvimento, que são notoriamente atrasados em relação aos europeus. O desconhecimento sobre os danos a saúde, algumas vezes fatais, no uso do amianto no atual cenário destes países com condições de trabalho precárias, em alguns anos trará como resultado além dos malefícios a saúde, gastos financeiros por parte do governo para tratar os contaminados. Gastos estes que não serão pagos pelos reais envolvidos no setor e que lucram muito com este trágico mercado (SILVA e ETULAIN, 2010).

Alguns países permitem a exploração no próprio país, mas proibem a venda no mercado interno, somente exportação. E desse modo, se beneficiam pela extração do produto que não seria minerado e o vendem a países carentes para incrementarem seus lucros. Um dos países que pratica esta técnica é o Canadá, que é considerado o maior exportador mundial do material, tendo na maioria das vezes como mercados receptores do seu amianto a África e Ásia. Ainda de acordo com a reflexão de Silva e Etulain (2010), “espera-se que o Brasil não siga este exemplo”.

3.2.8 Busca por materiais substitutos

Quanto à procura por materiais alternativos, Silva e Etulain (2010) e Hosseinpourpia et al. (2012) dizem que não se pode apenas considerar os aspectos financeiros. Retardando o processo de adaptação para novos materiais, se está apenas criando problemas para o Brasil num futuro próximo. Os países que já abandonaram esse material e partiram para a descoberta de novas possibilidades estão criando suas tecnologias, tendo notoriedade no setor ambiental e aprendendo a lidar com essas dificuldades. Quando o Brasil tomar conhecimento do que está acontecendo e se situar perante os outros países, verá quantas oportunidades foram desperdiçadas no campo das pesquisas, seja de materiais, seja tecnológica.

Silva e Etulain (2010) citam que embora o governo federal continue sem uma decisão definitiva, nos últimos anos o país se adiantou no processo de adaptação, capacitação e substituição por alguma outra fibra alternativa com opções mais seguras que atendam os requisitos tecnológicos, ambientais e de proteção à saúde humana. Os autores concluem que o ajuste das linhas de produção para a utilização de outras fibras seria simples e poderia ser efetuado em pequenos espaços de tempo, e que grande parte da indústria do setor já tem em suas mãos a tecnologia necessária para a produção dos produtos com outros tipos de fibras, além de já possuir maquinários adaptáveis para as novas linhas de produção.

Pesquisas relacionadas com este tema já vêm sendo elaboradas há algumas décadas, como é o caso de Pye (1979) que exemplificou diversos materiais que poderiam ser utilizados como alternativos ao amianto. Hoje se pode encontrar no mercado produtos de fibrocimento sem amianto. O relatório elaborado pela USGS (2013) cita que, no intuito de encontrar algum substituto para o amianto, inúmeros materiais estão sendo utilizados em produtos, dentre eles silicato de cálcio, fibra de carbono, fibra de celulose, fibra cerâmica, fibra de vidro, fibra de aço e algumas fibras orgânicas tais como aramida, polietileno, polipropileno e politetrafluoretileno.

Segundo pesquisa realizada por Frazão e Fernandes (2004), os autores afirmam que pelo fato das telhas de fibrocimento sem amianto serem usadas a partir de 1980, sua vida útil teve que ser estimada através de testes de envelhecimento, porém não encontraram nenhum fator determinante que as diferencie das telhas de fibrocimento com amianto, e a partir desta informação os autores estipularam a vida útil de 50 anos para ambas as matrizes de telha.

Ainda, conforme informações disponíveis nos sites dos fabricantes brasileiros, a vida útil das telhas de fibrocimento pode chegar a cerca de 50 anos. Porém um estudo elaborado por Dias et al. (2008), afirma que pela exposição do material a intempéries como lixiviação, chuva ácida e até pelo efeito de carbonatação, a vida útil estimada do material seria de no máximo 37 anos.

Outro argumento contestado pelos que defendem o uso do amianto, diz respeito a um possível aumento no preço entre as atuais telhas contendo amianto e outros produtos similares contendo uma fibra alternativa. Chegou-se a cogitar uma diferença de 40% ou mais no custo do produto, fato que não foi comprovado (SILVA e ETULAIN, 2010).

Inclusive, o relatório desenvolvido em nome da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) e elaborado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) com inúmeros argumentos favoráveis a utilização do amianto no país, reconheceu o fato de não se poder afirmar categoricamente se esta substituição de materiais traria diferenças nos preços dos produtos: “vale notar que pesquisa realizada no comércio de materiais e entre os informantes do CUB41 não comprovou diferença relevante de preço entre os produtos com e sem amianto no comércio” (FIESP, 2009).

Outro fato que chamou a atenção ocorreu em 2008, quando o Grupo de Trabalho do Amianto, formado por membros da Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, compareceu em uma visita técnica à mina de amianto abandonada em Bom Jesus da Serra-BA. Apenas alguns dias depois algumas revistas de circulação nacional trouxeram publicações de duas páginas incentivando o uso do amianto. Consultados, os veículos de notícias informaram que os valores de custo destas publicações ficaram em aproximadamente R\$ 1 milhão. Sabe-se que propagandas nesse tipo de veículo servem para espalhar notícias e formar opiniões (COMISSÃO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2010).

3.2.9 Posicionamento de órgãos públicos brasileiros

Demonstrando a complexidade do tema, alguns órgãos públicos brasileiros têm divergido perante esta situação.

O Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) nos últimos tempos tem insistido pelo banimento do amianto. O ministério através da Nota Técnica nº 205 (2007) repudia a forma que o trabalhador é visto pelo setor, que segundo eles são considerados como uma peça de engrenagem manipulando um produto que vai lhes tirar a vida. Segundo o MTE, este tema não é exclusivamente da medicina ocupacional, mas sim um problema de saúde pública (MTE, 2008).

Entretanto, o posicionamento oficial do MTE foi ignorado pelo próprio ministro. Carlos Lupi, então ministro da referida pasta em 2007, visitou as instalações da mineradora SAMA, em Minaçu-GO, a pedido da Federação dos Trabalhadores da Construção Civil e Comissão Nacional dos Trabalhadores em Amianto (CNTA), fato este que pode levar a uma conclusão sobre uma possível relação dúbia com as empresas que fazem a defesa do amianto (COMISSÃO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2010).

Indo ao encontro com o posicionamento do Ministério do Trabalho e do Emprego, o Ministério da Saúde (MS) também tem se manifestado claramente pela extinção do uso do amianto. Para consolidar definitivamente a posição favorável ao banimento do amianto, no ano de 2009, o ministro José Gomes Temporão editou a Portaria 1.644/2009, proibindo a utilização do material nas instalações do ministério e órgãos pertencentes (MS, 2009).

Assim como também foi feito no Ministério do Meio Ambiente (MMA), o ministro Carlos Minc, em 2009, publicou a Portaria 43/2009, impedindo o uso de qualquer tipo de amianto no ministério e em órgãos vinculados (MMA, 2009).

Contrariando os ministérios já citados neste trabalho, o Ministério das Minas e Energia (MME) tem uma opinião contrária ao banimento do amianto. Sabe-se que o MME é o órgão federal encarregado por gerir e controlar as riquezas do solo brasileiro. Conforme citam os autores, deveria fazê-lo para o bem do país em geral, mas atuando em defesa do material, concentra suas ações mais nos interesses financeiros de um grupo específico que possui hegemonia no setor. (COMISSÃO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2010).

Outro ministério que defende o amianto é o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC). Contestando inúmeros estudos que comprovam os malefícios do uso do amianto, o MDIC cita que não há um veredito científico internacional relacionado aos malefícios causados pelo amianto crisotila, afirmando que as causas atuais de problemas relacionados à saúde seria pelo contato com fibras anfibólicas, já proibidas no país. O MDIC indica que a melhor maneira de lidar com o problema seria através do uso controlado do material, citando como embasamento os estudos de Claudio Scliar e Ericson Bagatin. Porém estas pesquisas foram financiadas pela SAMA, sendo suspeitas do ponto de vista ético e científico e contrárias a publicações anteriores dos mesmos autores (COMISSÃO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2010).

Segundo a Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (2010), o Ministério das Relações Exteriores (MRE) sempre adota o mesmo posicionamento da Casa Civil, que é o mesmo do MME. Na prática o MRE se restringiu a divulgação do mesmo parecer emitido pelo MME. Sabe-se que o MRE compreende que o uso controlado do amianto é discutível no Brasil e que os países que comprem do Brasil não tem o devido cuidado no manuseio, ou seja, na opinião da comissão, o governo brasileiro seria cúmplice na ocultação de evidências do problema.

3.2.10 Considerações finais

Conforme tratado no item 3.2, o amianto tem seu uso difundido há centenas de anos, porém nas últimas décadas se aprofundaram os estudos que relacionam o uso do material com o surgimento de inúmeras doenças respiratórias.

Diversos países já adotaram o banimento do uso em seus territórios, porém outros ainda debatem sobre esta situação, situação que se inclui o Brasil.

No Brasil existem fabricantes de telhas de fibrocimento que utilizam o amianto e há outros que substituíram o material por fibras alternativas, caso da fibra de polipropileno. Não há uma legislação federal coesa que proíba o uso, mesmo após alguns Estados brasileiros elaborarem leis no intuito da proibição.

Deste modo, a fim de entender melhor a situação e avaliar possíveis substitutos, surge como alternativa de trabalho a utilização da técnica de análise do ciclo de vida (ACV) de produtos similares com e sem a presença de amianto.

3.3 ACV

Neste subcapítulo serão abordados tópicos relacionados à técnica de análise do ciclo de vida, demonstrando sua importância como ferramenta de tomada de decisão, definindo suas etapas de atividades e mostrando aplicações da ferramenta em trabalhos da área de gerenciamento de resíduos.

3.3.1 Introdução a ACV

Na esfera ambiental, no momento da tomada de decisões, necessita-se de ferramentas que deem embasamento perante as alternativas das quais se dispõe, e uma das ferramentas que tem mostrado bom desempenho é a Análise do Ciclo de Vida (ACV) (NOGUEIRA, 2012).

Conforme Chehebe (1998), “A análise do ciclo de vida é uma técnica para avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto”. Outro conceito de ACV exposto por Ribeiro (2004), diz que “ACV é uma técnica da gestão

ambiental que avalia os efeitos de um produto sobre o meio ambiente, ao longo de todo o seu ciclo de vida”.

Segundo Chehebe (1998) um dos primeiros casos a utilizar a ACV foi à ocasião da primeira crise do petróleo, que por se tratar de uma matéria-prima fóssil não renovável, quando surgiu a necessidade de otimização da sua utilização.

A ferramenta ACV é a melhor alternativa quando, em um ciclo produtivo, se deseja: avaliar as questões ambientais, apoiar decisões em investimentos e desenvolvimento interno, identificar prioridades e afastar o enfoque tradicional de “fim-de-tubo” e ainda subsidiar ações de marketing sob o olhar da reciclabilidade dos produtos (BARBOZA (2001); RIBEIRO, C. M., GIANNETI e ALMEIDA (2011) e MANCIO (2012).

Partindo do raciocínio de Chehebe (1998), tal análise deve ser elaborada considerando as etapas que fazem parte do processo, seja a fase de extração das matérias-primas, definida como berço do processo, até o seu uso final, denominada pelo autor como túmulo ou fim do ciclo, ou ainda utilizando-se a técnica da reciclagem, e tornando o produto após o uso matéria-prima novamente (volta ao berço), técnicas conhecidas como berço-ao-túmulo (*cradle-to-grave*) ou berço-ao-berço (*cradle-to-cradle*) (CUÉLLAR-NETO, (2002); MANCIO (2012); NOGUEIRA (2012)). As Figura 8 e Figura 9 ilustram as etapas dos processos citados.

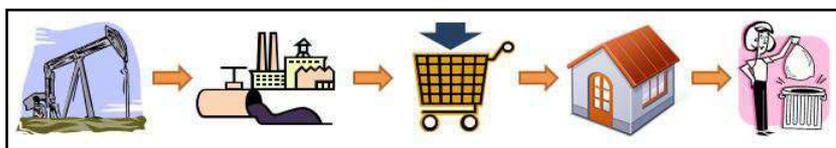


Figura 8 - Detalhamento das etapas no processo “berço-túmulo”.

Fonte: NOGUEIRA (2012)

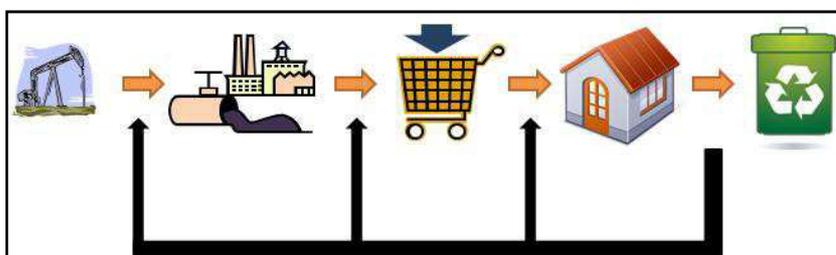


Figura 9 - Detalhamento das etapas no processo “berço-berço”.

Fonte: NOGUEIRA (2012)

Outro fato importante destacado por Chehebe (1998) é quanto à delimitação do trabalho de acordo com os objetivos, pois ao fugir da linha de pensamento inicial e adicionarem-se alguns detalhes extras ao estudo, se adicionará por consequência maiores

complexidades, maiores despesas e o entendimento final do estudo poderá ser reduzido. Então, deve-se conhecer os limites do sistema em estudo e quais processos são verdadeiramente importantes para serem analisados, tornando a ferramenta prática e econômica, mas sem perder a confiabilidade do trabalho.

A Figura 10 demonstra o pensamento idealizado por Chehebe (1998). No eixo da largura estão definidos os números de subsistemas (tipos de materiais), já no eixo chamado de extensão são postos o início e fim do estudo, enquanto no eixo de profundidade são inseridos os níveis de detalhamentos necessários ao estudo. Nota-se que entre os eixos se forma uma área delimitada, também chamada de limites do sistema, pela qual o estudo não deve ultrapassar, a fim de que obtenha o nível desejado de praticidade no entendimento, economia financeira e de tempo além da já citada confiabilidade nos resultados.

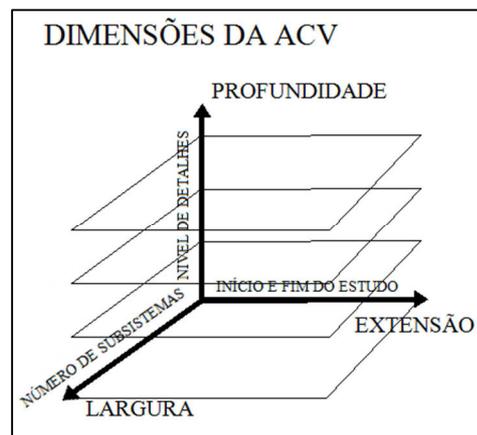


Figura 10 - Dimensões da Análise do Ciclo de Vida.

Fonte: Adaptado de CHEHEBE (1998)

Conforme Pasquali (2005), conhecendo-se desde o início as dimensões do sistema, a ACV se mostra adequada e eficiente no desenvolvimento de estudos nos mais diversos campos que exijam soluções imediatas, pois adapta o sistema de trabalho a cada etapa do processo, sendo possível executar correções nas etapas de forma independente, não existindo a obrigação de conclusão de todo ciclo.

A metodologia do berço-ao-berço permite a criação de um sistema industrial totalmente benéfico, impulsionado pela busca de ganhos econômicos, de metas ambientais e sociais. Este conceito define uma estrutura para desenvolver produtos e processos industriais que transformam materiais em nutrientes, permitindo o fluxo perpétuo dentro de um dos dois metabolismos distintos: o metabolismo biológico e o metabolismo técnico (MCDONOUGH, BRAUNGART e BOLLINGER, 2007).

Embora a metodologia ainda esteja sendo melhorada em alguns aspectos, a ACV fornece uma contribuição útil ao quantificar os impactos ambientais utilizando o conhecimento atual. Fazendo-se uma comparação de alternativas, seja considerando a aplicabilidade de determinados produtos ou avaliando opções de técnicas construtivas, pode ajudar na tomada de decisões para reduzir impactos ambientais de construções ou projetos urbanos (PEUPOURTIER, THIERS e GUIAVARCH, 2013).

Toda atividade no decorrer da vida de um produto resulta em impactos ambientais, devido ao consumo de recursos e emissão de substâncias no meio ambiente, entre outros (REBITZER et al., 2004).

De acordo com Suh, Sangwon e Huppés (2005), no entendimento da International Organization for Standardization (ISO), a ACV seria um modo de avaliar e reunir os dados de entrada, saída e os respectivos impactos ambientais de um determinado produto na sua vida útil.

Segundo Lewandowska (2011), quando comparada com métodos tradicionais de gerenciamento ambiental, a ACV garante dados quantitativos obedecendo-se as etapas metodológicas, assegurando a verificação de dados coletados e sendo possível reproduzir os resultados gerados.

A ACV é uma ferramenta que auxilia na estratégia de ações para a diminuição de impactos ambientais da indústria da construção, tornando os produtos ecoeficientes e mais recentemente nos guiando para encontrar um modo mais sustentável de fazer negócios (O'CONNOR et al., 2012). Esses autores citam a ACV como uma relação entre melhores estimativas aliada às medições de desempenho relativas a todas as opções. Não se trata de classificar um produto como ambientalmente correto ou não, mas sobre quantificar os impactos e ver se, como e quando podem ser feitas melhorias.

3.3.2 Normatização da Técnica

A ACV é balizada por normas da série ISO 14.000. No Brasil, os princípios gerais e as etapas de definição de objetivos e escopo além da análise do inventário são abordados na NBR ISO 14.040 (ABNT, 2009a). Ainda, a abordagem da avaliação de impactos ambientais aliada com a interpretação do ciclo de vida é determinada pela NBR ISO 14.044 (ABNT, 2009b). Além destas já citadas, na esfera internacional as normas brasileiras são complementadas pela legislação internacional, e pode-se destacar a ISO/TR 14.047 (ISO,

2012a) que oferece exemplos de aplicação, a ISO/TS 14.048 (ISO, 2002) que estabelece o formato de apresentação de dados e a ISO/TR 14.049 (ISO, 2012b) que exemplifica especificamente quanto à definição de objetivos.

Considerando todas estas normativas, pode-se concluir que a ACV constitui-se de uma técnica de apoio ao gerenciamento e desenvolvimento sustentável, visando colaborar para uma contínua melhoria na qualidade do ambiente, atenuando as fontes de poluição e incentivando o setor produtivo para a otimização no uso de recursos naturais (LIMA, 2007).

3.3.3 Definição das etapas da ACV

A primeira etapa é chamada de “Definição de Objetivo e Escopo”, e justamente nela que se definem a abrangência, os limites do trabalho, a metodologia, além da unidade funcional.

Segundo Nogueira, Palma e Armando (2009) “a unidade funcional é uma base importante que possibilita que bens ou serviços sejam comparados e analisados”.

De acordo com Finnveden et al. (2009) a unidade funcional da ACV refere-se à avaliação e escolha de uma unidade comum a todos os critérios. Emissões gasosas para a atmosfera, podem ser determinadas como partes proporcionais da unidade funcional de cada processo. Conforme Pasquali (2005) é nesta fase que se definem quais os requisitos de qualidade serão cobrados no final do estudo.

Já a segunda etapa denominada “Análise do Inventário”, é a fase onde as informações são coletadas. Colhidas desde o início até o final do processo que compete ao objeto de estudo, seu envolvimento se dará pelo escopo definido na etapa anterior (PASQUALI, 2005). Conforme Nogueira, Palma e Armando (2009) esta é a etapa onde se valora a utilização de recursos e a quantidade de fluxos de resíduos e emissões ocasionados ou impostos pelo ciclo de vida de determinado produto.

Segundo Sharma et al. (2011) a análise do inventário trata do recolhimento e síntese de informações materiais físicas e fluxos de energia em inúmeras fases do ciclo de vida dos produtos. De acordo com Finnveden et al. (2009), o resultado da etapa de inventário é uma compilação de entradas (ou recursos) e de saídas (ou emissões) do produto sobre seu ciclo de vida, sempre relacionado com a unidade funcional.

A terceira etapa intitulada de “Avaliação dos Impactos” compõe a fase em que se apontam os indicadores que contribuem potencialmente na extração de recursos ou que geram resíduos e emissões (NOGUEIRA, PALMA e ARMANDO, 2009). Segundo Pasquali (2005)

todos os riscos potenciais ao meio ambiente são verificados nesta etapa, os quais foram discriminados nos passos anteriores, e neste momento se indicam mudanças e alterações se necessário.

Conforme Finnveden et al. (2009) esta etapa visa compreender e avaliar a importância dos potenciais impactos ambientais no ciclo em análise. De acordo com Sharma et al. (2011) os impactos ambientais de vários fluxos de energia e material são atribuídos a diferentes categorias, como por exemplo, o fator usado para calcular a contribuição de cada constituinte em diferentes indicadores ambientais (emissões de gases do efeito estufa, diminuição da camada de ozônio, etc.).

Outras categorias de impacto são apresentadas pela literatura. Forster et al. (2007), introduziu no capítulo 2, “*Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*” do livro “*Climate Change 2007: The Physical Science Basis*” o conceito de que algumas substâncias químicas possuem um potencial de aquecimento global (em inglês *Global Warming Potential* - GWP). Os mesmos autores, através de fatores diretos e indiretos atribuíram para estas substâncias um número, o qual representa a relação desta com o CO₂, sendo que o quilograma de CO₂ é a unidade referencial adotada para medir os potenciais de efeito estufa na atmosfera.

Já o relatório elaborado por GHK (2006), elencou diversas categorias de impacto ambiental. Dentre elas, na área de consumo de recursos, o indicador de uso de energia, que tem como unidade o kWh e ainda o indicador de utilização de água, onde a unidade adotada é o m³. Na área de poluição do ar, o autor além de apresentar o potencial de aquecimento global, calculado em quilograma de CO₂ equivalentes, apresentado anteriormente, também apresentou outras duas categorias de impacto, sendo uma delas a de oxidação fotoquímica, apresentada em quilograma de etileno (C₂H₄) equivalente e a outra categoria sendo o potencial de acidificação ou chuva ácida, calculado utilizando-se a unidade de quilograma de SO₂ equivalentes.

O mesmo autor, na área de poluição das águas, definiu duas categorias de impacto: potencial de eutrofização, medido em quilograma de fosfato (PO₄) equivalentes e o volume de poluição das águas, medido em m³ de água contaminada. Outra área ambiental considerada pelo autor é a de resíduos, na qual se elencou duas categorias de impacto: resíduos municipais, medidos em quilograma de resíduos coletados e resíduos perigosos, medidos também em quilograma.

Já Hertwich et al. (2006), em seu trabalho estabeleceu critérios para avaliação de mais de 350 substâncias químicas perante a categoria de toxicidade humana, na qual introduziu duas escalas de avaliação: cancerígena e não cancerígena.

Nesta separação de escalas, todas as substâncias em que se detectou potencial cancerígeno, foram convertidas em quilograma de benzeno-equivalentes, e todos os lançamentos de produtos químicos que causam efeitos não cancerígenos na saúde foram convertidos em quilograma de tolueno-equivalentes. Tais substâncias foram utilizadas como unidade de comparação, pelo simples fato de que dentro de cada categoria, eram as substâncias com o nome químico de maior familiaridade perante o público em geral.

Por último em ordem de apresentação neste trabalho, mas não por nível de importância ou função no ciclo de vida, está a fase de Interpretação. Pasquali (2005) e Nogueira, Palma e Armando (2009) citam que esta etapa acontece durante todo o processo, no fim de qualquer etapa do ciclo de vida, e que tem a função de corrigir falhas ou deslizes na elaboração de alguma etapa sempre que necessário.

Além desta função, conforme Sharma et al. (2011), esta fase lida com a interpretação dos resultados de ambas as fases anteriores, como análise do inventário e avaliação de impacto do ciclo de vida, incluindo a identificação de paradigmas e valoração de resultados. Finnveden et al. (2009) acrescenta que a fase de interpretação dos resultados das fases anteriores é realizada a fim de se obter conclusões e recomendações.

Na Figura 11 se encontra a ilustração com as fases da ACV:



Figura 11 - Fluxograma de Fases da Análise do Ciclo de Vida.

Fonte: (PASQUALI, 2005)

Conforme Barreto et al. (2007) um resumo de todas as etapas do ACV pode ser obtido analisando a produção de produtos, na qual se dividem em uma sequência de fases que poderão compor a ACV, tais como: entrada de matérias primas no processo de produção; preparo ou processamento das matérias primas para o uso; fabricação do produto; embalagem do produto fabricado; transporte e distribuição do produto; recuperação dos resíduos gerados e elaboração de coprodutos; descarte dos resíduos impróprios para reuso.

Ainda segundo Barreto et al. (2007) a utilização da ACV atua diretamente na cadeia de valor das empresas, fazendo com que reflitam com maior responsabilidade perante os impactos gerados pelos seus produtos e busquem o avanço em alguns pontos:

- Design (projeto) do produto: avaliação e comparação de diversos produtos a fim de avaliar suas vantagens e desvantagens ambientais;
- Informações ambientais: com a crescente demanda de informações sobre todos os produtos que são gerados ou consumidos, obter informações ambientais sobre os produtos é de suma importância, para que a sua divulgação sirva para melhorar a reputação e imagem das empresas perante os consumidores;
- Marketing: as empresas que utilizarem a ACV possuirão boas relações com entidades internacionais que também já implantam o sistema, além de pressionarem o restante da cadeia produtiva para que adote os mesmos padrões ambientais;
- Vantagens econômicas: através da utilização da ACV se descobriria os pontos positivos e negativos de cada produto, sendo possível eliminar ou reduzir alguns impactos ambientais, e assim aumentar a eficiência no uso de matéria prima e insumos;
- Benefícios para o processo: resultado de algumas respostas da ACV como aumento na eficiência do processo; economia de matéria-prima com a utilização de reuso ou reciclagem dos insumos; redução no custo de armazenamento de materiais; eliminação ou redução de custo nas atividades de descarte ou manuseio de resíduos; redução dos riscos com possíveis problemas ambientais e economia de energia;
- Benefícios para o produto: redução nos custos dos produtos com possível substituição de materiais e insumos; produtos com maior qualidade; redução

nos custos de embalagem; maior eficiência dos recursos utilizados pelos produtos e redução do custo líquido no descarte de produtos pelo cliente.

3.3.4 Aplicações da ACV na área de gerenciamento de resíduos

Na literatura encontram-se inúmeros usos da técnica de ACV em diversos campos de estudo, desde Ribeiro (2004), que utilizou a ACV no setor energético a fim de classificar e categorizar a geração de energia nos mais diversos tipos de usinas, até Jorgensen, Villanueva e Wenzel (2004) que se fez valer da ACV como ferramenta de apoio a decisão para o reuso de água e tratamento dos resíduos em uma lavanderia industrial na Dinamarca.

O Quadro 9 apresenta o resumo de estudos realizados que serão citados no desenvolvimento deste subcapítulo. Algumas informações do quadro não foram citadas no texto por não terem importância justificada.

Quadro 9 – Resumo de estudos com o uso da ACV.

AUTOR	OBJETIVO	ESCOPO	INVENTÁRIO	AValiação
Ribeiro (2004)	Classificar a geração de energia em diversas fontes	Hidroelétrica, Nuclear, Eólica, Solar, UTE óleo, UTE gás natural, UTE carvão	Emissão de CO ₂ ; Emissão de SO ₂ ; Emissão de NO _x ; Uso do solo	Hidroelétrica e eólica obtiveram melhores resultados
Cybis e Santos (2000)	monitoramento em uma construção de um condomínio horizontal	oito unidades autônomas de habitação unifamiliar, constituindo ao todo uma área de 2.104 m ²	espessuras das juntas; as dimensões dos tijolos; traço e tempo de mistura da argamassa	seis impactos ambientais: chuva ácida; toxicidade ao ser humano; aumento dos níveis de nutrientes; efeito estufa; produção de ozônio a baixas altitudes; redução das reservas energéticas.

AUTOR	OBJETIVO	ESCOPO	INVENTÁRIO	AVALIAÇÃO
Jorgensen, Villanueva e Wenzel (2004)	Reuso de água e tratamento de resíduos em uma lavanderia industrial	6 cenários: Referência (1), biofiltro +biogás +incineração (2), ultrafiltração +biogás +incineração (3), biofiltro +vitrificação (4), ultrafiltração +vitrificação (5) e biofiltro +lodo (6)	Toxicidade de substâncias perigosas, uso de energia e consumo de água	Cenário 5 se destacou com os menores índices
Boer, Boer e Jager (2007)	Prognóstico de resíduos municipais e avaliação no gerenciamento	Aplicação de ferramenta para prever futuros cenários em cidades europeias	3 cenários: armazenamento temporário(1), coleta e transporte(2), tratamento, disposição e reciclagem (3)	O programa permite que os responsáveis por municípios europeus tomem decisões ambientalmente positivas, economicamente viáveis e socialmente aceitáveis sobre futuros cenários na gestão de resíduos
Staniškis e Miliūtė (2010)	Construir um modelo e testar diferentes cenários de gestão de resíduos de modo a verificar se a hierarquia na gestão é influenciada por condições locais	5 cenários: aterro (1), reciclagem, compostagem e aterro(2), reciclagem, compostagem, tratamento biológico mecânico e incineração (3), reciclagem e incineração (4), reciclagem, tratamento biológico mecânico e incineração (5)	Aquecimento global, acidificação, eutrofização e foto-oxidantes	Cenário 4 se destaca com menores índices

AUTOR	OBJETIVO	ESCOPO	INVENTÁRIO	AVALIAÇÃO
Rives, Rieradevall e Gabarrell (2010)	Comparar de sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos que realizam a coleta através de containers	Observar tipos de materiais e diferentes volumes nos containers de recolhimento de resíduos	14 tipos diferentes de containers: 9 de polietileno de alta densidade e 5 de aço, variando seus volumes desde 60L até 2400L	Grandes volumes e o material aço obtiveram impactos menores
Peuportier, Thiers e Guiavarch (2013)	Evidenciar se benefícios ambientais de construções de melhor qualidade trazem vantagens, e também descobrir se o comportamento dos ocupantes influencia na construção	Duas casas idênticas	Aquecimento, iluminação, ventilação	Amostra insuficiente
Sharma et al. (2011)	Analisar construções em diferentes lugares cuja ACV foi implantada durante a construção, e verificar qual fase do ciclo de vida das construções e qual tipo de construção utiliza mais energia e possui maiores índices de geração de emissões gasosas	13 construções, residenciais e comerciais	Uso de energia, emissões gasosas, acidificação e eutroficação	Fase construtiva: 0,4% a 11% do total de energia gasta. Fase operacional: o consumo de energia é máximo, tal qual a taxa de emissões gasosas, sendo quantificada em aproximadamente 80% a 85% do total.
Moraes et al. (2010)	Analisar a inserção de cinzas de casca de arroz (CCA) em argamassas de revestimento	0%, 5% e 10% de incorporação de CCA	6 níveis de riscos de impactos	Aumento na resistência no teor de 5%

AUTOR	OBJETIVO	ESCOPO	INVENTÁRIO	AValiação
Pasquali (2005)	Solucionar problemas ambientais relacionados com as etapas de coleta, transporte e destinação do RCD	Recolhimento de resíduos, grandes geradores (caçamba) e pequenos (carroças)	Poluição das águas, poluição atmosférica, Saúde humana, poluição do solo, tipos de resíduos	Criação de pontos de entrega voluntário de resíduos poderia aumentar a eficiência do recolhimento
Frazão e Fernandes (2004)	Comparar o ciclo de vida de telhas de fibrocimento	Telhas com e sem amianto	Extração, fabricação, uso e destinação final	Telhas com amianto são mais eco-eficientes

No campo de gerenciamento de resíduos Boer, Boer e Jager (2007) fizeram uso de duas ACV no mesmo trabalho como suporte de decisão em duas questões: prognóstico de resíduos municipais e avaliação no sistema de gerenciamento de resíduos. A delimitação de trabalho de ambas ACVs partiu do desenvolvimento de estratégias integradas de gerenciamento de resíduos para cidades e regiões com rápido crescimento econômico e utilizou como parâmetro de medição as fases de armazenamento temporário, coleta e transporte e ainda o tratamento de resíduos, reciclagem e disposição de rejeitos.

Na mesma linha de pensamento Staniškis e Miliūtė (2010) empregou a ACV para construção de um modelo de testes em diferentes cenários do gerenciamento de resíduos na Lituânia, com a intenção de verificar se a hierarquia no gerenciamento de resíduos é influenciada por condições locais. O estudo também aborda qual variável do sistema de gerenciamento de resíduos seria mais significativa no resultado final da ACV.

Outro trabalho de concepção semelhante é o de Rives, Rieradevall e Gabarrell (2010), o qual aplica a ACV para comparação de sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos que realizam a coleta através de containers. O escopo inicial foi definido através da escolha de 14 tipos diferentes de containers, 9 feitos de polietileno de alta densidade e 5 de aço, variando seus volumes desde 60L até 2400L.

Conforme o autor, a unidade funcional adotada foi o volume necessário de coleta de resíduo sólido urbano durante um dia, em um bairro com média de 1.000 habitantes, com uma taxa de geração de resíduos média de 1,47 kg/habitante.dia e uma densidade de resíduo de 106 kg/m³.

Como delimitação do tema, o autor abordou apenas parte do ciclo. As fases associadas ao ciclo de vida de um container de resíduos vão desde a extração da matéria-prima até a gestão final dos resíduos gerados pelo próprio recipiente do container. Foram incluídas na ACV do autor as fases de extração de matérias-primas, o seu transporte, processamento, transporte para a fábrica e a fabricação do recipiente de resíduos, enquanto que as etapas seguintes foram excluídas.

Ainda conforme Rives, Rieradevall e Gabarrell (2010), após inúmeras investigações concluiu-se que os sistemas de recolhimento de resíduos que utilizaram recipientes de capacidade de 2.400 L constituído de aço apresentaram menor impacto ambiental, seguido do sistema que usa container de 1.700 L de material aço. Enquanto que os sistemas de recolhimento com containers de polietileno de alta densidade (PEAD) com baixa capacidade de armazenamento, 60 L, representaram o maior impacto ambiental, seguido por aqueles de 80 L e 120 L, respectivamente.

Vários outros parâmetros mostraram dependência direta entre variáveis, como porcentagem de utilização nos recipientes, frequência no recolhimento dos containers, índice de geração per capita e densidade do resíduo dentro dos containers. Pôde-se observar também que esses sistemas compostos de pequenos containers obtiveram o maior impacto, enquanto que os sistemas de containers compostos de recipientes grandes tinham menor impacto. Outro fator de análise constatou uma preocupação quanto ao material constituinte do container. Sistemas que utilizaram PEAD tiveram um impacto maior do que o sistema de recipientes de aço, pois ao final da vida útil do container o material aço possui maior facilidade em ser reaproveitado.

O'Connor et al. (2012) faz uma abordagem mais teórica da ACV, na qual trata dos padrões internacionais que são seguidos para que as definições dela tenham uma avaliação final aceitável e clara. Segundo os autores, com relação à aplicabilidade da técnica ACV alguns pontos das normas ISO poderiam ser revistas, como: não haver apenas um método de trabalho para a elaboração da técnica, ou seja, as organizações terem autonomia na execução da técnica e ainda a ACV deveria enumerar todos os potenciais impactos ambientais, pois ela não prevê impactos ambientais devido à integração com espaço e tempo, nem referenciando-se a unidade funcional, torna incerta a modelagem dos impactos ambientais e não correlaciona impactos ambientais atuais com futuros impactos (O'CONNOR et al., 2012).

Os autores ainda citam que a etapa de interpretação deveria refletir o fato de que os resultados dos impactos são baseados em uma abordagem relativa, que indicam apenas

potenciais efeitos ambientais. E complementam argumentando que os resultados dos impactos não constituiriam uma base única de informações, mas sim pontos adicionais os quais serão necessários para superar algumas limitações na avaliação dos impactos, tais como: escolha de valores, abordagem relativa e exclusão de espaço e tempo.

O'Connor et al. (2012) ainda lista algumas ferramentas que complementam a técnica de ACV tais como, *The Athena Impact Estimator*, *The Athena EcoCalculator*, BEES e GaBi.

Segundo os autores, o software *The Athena Impact Estimator* dá acesso as informações da ACV no nível de toda edificação. Designers especificam os elementos da estrutura de todo o edifício e recebem como resultado os impactos da construção, fato que permite uma troca de informações em diversos projetos de construção e montagens. Quando combinado com um simulador de operação de energia, o software também pode destacar o equilíbrio entre efeitos incorporados e de operação.

Ainda de acordo com os autores o software *The Athena EcoCalculator* é uma versão mais simples e limitada do software citado anteriormente, usado para acessar os resultados pré-calculados de paredes, telhados e outras edificações semelhantes (O'CONNOR et al., 2012).

Os autores afirmam que o software BEES disponibilizado pela agência americana *National Institute of Standards and Technology* (NIST) permite que o usuário acesse e compare os dados da ACV para produtos individuais tais como componentes estruturais. O ponto negativo é que o software não suporta a avaliação de edificações por completo (O'CONNOR et al., 2012).

Os autores também citam ferramentas mais avançadas, utilizadas a nível profissional com a finalidade de avaliar produtos ou processos, e que podem ser aplicados na avaliação de construções. Um exemplo dessa categoria de software é o GaBi 5, que pode ser adequado para alguns projetos mais complexos, caso eles não obtenham nível satisfatório utilizando-se as ferramentas Athena anteriormente citados (O'CONNOR et al., 2012).

Porém no sentido oposto a O'Connor et al. (2012), encontra-se o trabalho desenvolvido por Malmqvist et al. (2011) o qual prega pela simplicidade na elaboração da ACV, realizando etapas como: Simplificação na aquisição de dados focando em grandes elementos da construção, omitindo-se a parcela de transporte, simplificação na análise do inventário com o foco em processos mais importantes que contribuem com maior grau de

certeza nos impactos ambientais, simplificação de cálculos focando em apenas algumas categorias e ainda redução do tempo de aquisição de dados da construção pelo uso de aplicações CAD melhoradas.

No setor da construção, mas com foco na questão energética de construções Peuportier, Thiers e Guiavarch (2013) e Sharma et al. (2011) proporam a utilização da técnica da ACV para identificarem critérios e indicadores capazes de melhorar a eficiência energética das edificações.

Já o estudo conduzido por Sharma et al. (2011) objetivou analisar diversas construções em diferentes lugares cuja ACV foi implantada durante a construção, e verificar qual fase do ciclo de vida das construções e qual tipo de construção utiliza mais energia e possui maiores índices de geração de emissões gasosas. Segundo os autores, o uso de energia em edifícios residenciais geralmente se refere aos sistemas de aquecimento no inverno e resfriamento no verão. Conforme os mesmos autores, na Grã-Bretanha metade do consumo de energia e de emissões de CO₂ provém destas atividades. Ainda de acordo com os autores, os parâmetros importantes para o uso de energia em construções adotada pelo autor foram: transporte e produção de materiais de construção durante a fase de pré-uso da construção; e aquecimento, ventilação, resfriamento, fabricação e manutenção; uso de água; geração de resíduos e consumo de recursos naturais durante a fase operacional da edificação.

Os autores constatarem que perante a totalidade do ciclo de vida da edificação, os impactos da fase construtiva são pequenos, na faixa de 0,4% a 11%. Porém durante a fase operacional o consumo de energia é máximo, tal qual a taxa de emissões gasosas, sendo quantificada em aproximadamente 80% a 85% do total durante todo o ciclo (SHARMA et al.,2011).

Segundo Sharma et al. (2011), no setor imobiliário, comercial ou residencial, a energia é consumida em taxas elevadas, contribuindo para o consumo de combustíveis fósseis e conseqüentemente colaborando com altos índices de emissões de gases perigosos que facilitam o processo de efeito estufa da atmosfera. Apesar de encontrar em todas as fases do ciclo de vida algum aspecto ambiental negativo, o autor enfatiza que o foco das atenções deve permanecer na fase operacional da construção, e conclui que se a construção for executada com o conhecimento dos efeitos da fase operacional, o desempenho da construção poderá ser elevado, fato que não só minimiza o uso da energia, mas também cria fatores econômicos positivos.

Com o intuito de minimizar os resíduos gerados através da incorporação destes no setor da construção, se encontra o trabalho realizado por Moraes et al. (2010), o qual busca analisar a inserção de cinzas de casca de arroz (CCA) em argamassas de revestimento, com a justificativa de trazer benefícios sustentáveis tanto para as empresas, com a adição de materiais de menor valor bruto, quanto para a sociedade, com a desobrigatoriedade do setor público em dar uma destinação final para o resíduo.

Segundo Moraes et al. (2010), quanto às propriedades mecânicas da argamassa com a incorporação de CCA, a literatura mostra evidências claras de que o uso melhora tais características, porém tal afirmação não se pode confirmar quando se avalia o ciclo de vida do produto, que segundo os autores ainda possui uma lacuna a ser preenchida pela literatura. Dessa forma o trabalho objetivou a determinação de viabilidades técnica e ambiental com a incorporação de resíduos, a fim de manter as características necessárias para o material, de aderência com a matriz do cimento aliado com a análise do ciclo de vida do material.

Os autores definiram o trabalho em etapas: preparação de dois tipos de substrato, com CCA e sem; execução do revestimento; determinação de resistências de aderência e aplicação da ACV. Foram incorporadas três quantidades de CCA 0%, 5% e 10% a argamassa com proporção de materiais de 1:2:9, respectivamente de cimento, cal e areia. Após a conclusão das fases de mistura, moldagem e ruptura dos materiais, se obtiveram os valores característicos de resistência e se realizou a ACV atribuindo pontuações elevadas para materiais com maiores impactos ambientais.

Através de uma qualificação dos impactos em categorias denominadas moderada, séria e inaceitável, os processos do ciclo de vida foram listados e classificados perante estas categorias, separando-se em colunas diferentes, cada percentual de incorporação de CCA para posterior comparação.

Como conclusão do trabalho, Moraes et al. (2010) cita que os resultados dos ensaios revelaram um aumento na resistência de aderência com a adição de 5% de CCA, números considerados suficientes para classificá-lo como de uso interno e externo. Já os resultados referentes às adições de 0% e 10% este aumento na resistência não se verificou, limitando o material para uso interno em construções.

Com relação aos impactos ambientais, Moraes et al. (2010) revela que a incorporação de CCA diminuiu o efeito de alguns impactos, pois no material sem adições há um maior consumo de cimento, fazendo com que os impactos relacionados com atividades do

ciclo de vida do cimento sejam mais impactantes. Moraes et al. (2010) ainda conclui que futuros estudos seriam necessários a fim de quantificar os impactos sociais e econômicos.

Entrando no campo do gerenciamento de resíduos na construção está o trabalho de Pasquali (2005), o qual utilizou a ACV buscando solucionar problemas ambientais relacionados com as etapas de coleta, transporte e destinação do RCD.

O trabalho foi motivado pela necessidade de adequação no tratamento dos resíduos, visando minimizar seus efeitos ao meio ambiente, principalmente com ações voltadas a desativar depósitos clandestinos, proteger os recursos hídricos e proibir o descarte em terrenos baldios e nas margens de estradas.

A metodologia de trabalho elaborada por Pasquali (2005) adota duas ferramentas: a Análise do Ciclo de Vida do resíduo (ACV) e o Sistema de Gestão Ambiental (SGA) as quais se complementam. Segundo o autor, estas ferramentas têm como preocupação a minimização dos impactos ambientais negativos, melhorando a sinergia entre empresas e comunidade. A Figura 12 demonstra as etapas das duas ferramentas utilizadas:

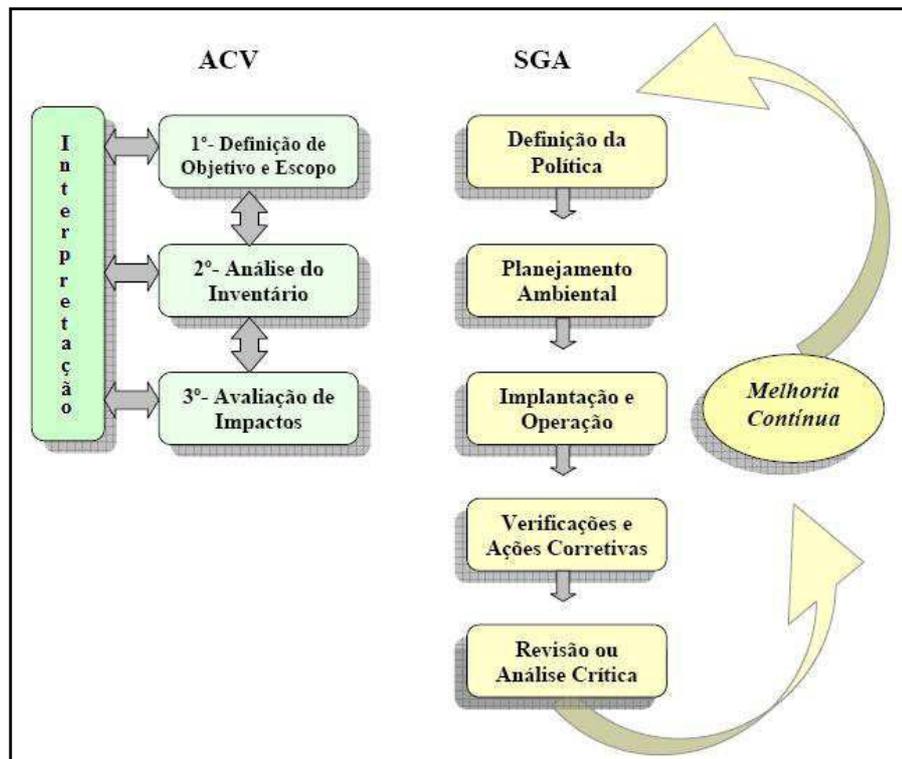


Figura 12 - Etapas de ACV e SGA.

Fonte: Pasquali (2005)

Ainda conforme Pasquali (2005), os métodos foram adaptados e mesclados. O autor cita como principais motivos para tal, o número de etapas do SGA ser maior que a ACV

e a etapa de melhoria contínua apenas no final do ciclo, enquanto que na ACV o número de etapas é menor e a interpretação dos dados é feita concomitantemente a evolução do ciclo, sem a obrigatoriedade do fim deste. Exibe-se na Figura 13 o detalhamento da unificação dos métodos:

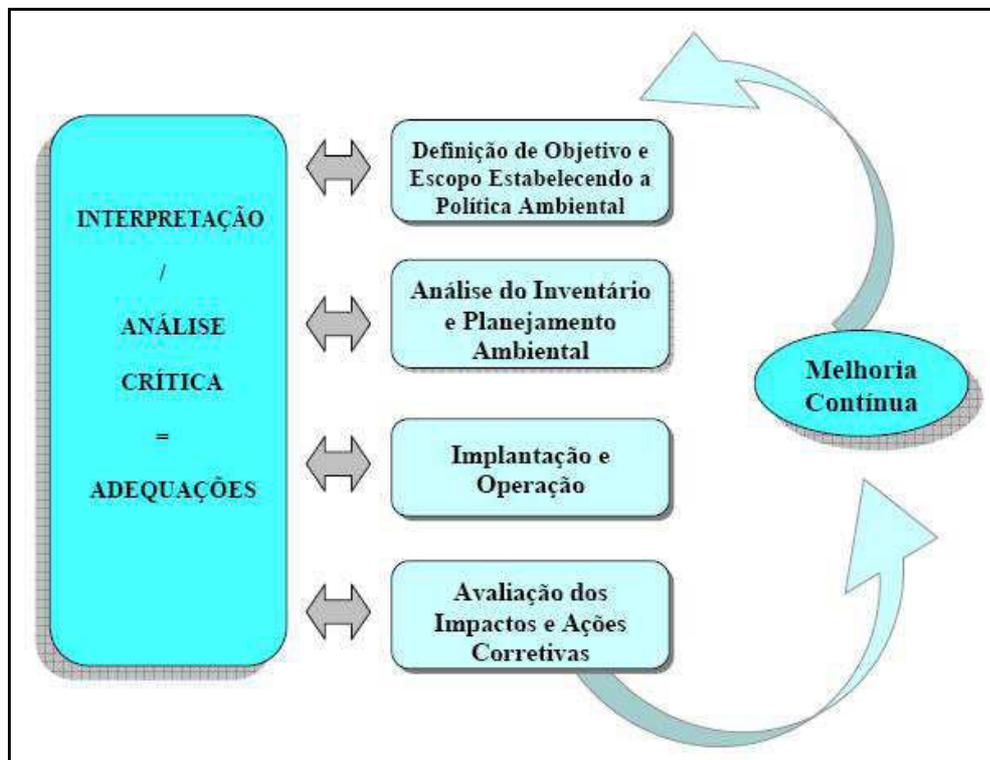


Figura 13 - Unificação das etapas de ACV e SGA.

Fonte: Pasquali (2005)

O levantamento de dados foi elaborado com valores fornecidos por empresas transportadoras (caçambeiros), grandes construtoras e pequenos transportadores (carroças). Complementando os dados referentes a volume de resíduos obtidos, o autor colhe informações sobre locais de descarte, que na sua grande maioria são ilegais.

Ainda segundo Pasquali (2005), após a análise de todos os dados possibilitou-se a realização de uma avaliação ambiental relacionada com as atividades prestadas pelos coletores de RCD, com o objetivo de localizar os maiores fatores de impacto destas atividades, para se determinar possíveis correções.

Concluindo, Pasquali (2005) garante que a melhor alternativa para o problema seria o regramento do setor de coleta de resíduos. No modelo atual, a atividade apresenta problemas em todo o seu ciclo, porém ela é essencial diante do cenário urbano. Pasquali (2005) ainda tenta demonstrar algumas soluções para algumas etapas da atividade:

Para Pasquali (2005), na etapa de coleta uma das soluções seria limitar o volume das caçambas, fazendo com que resíduos não sejam colocados em excesso e perdidos durante o transporte. Na fase de transporte, o autor cita que poderia ser instalada nas caçambas uma proteção contra perda de materiais em deslocamento. Tal fato diminuiria o risco de acidentes com motoristas.

Pasquali (2005) alega que a utilização da ACV foi crucial para se determinar o ciclo de vida atual do resíduo, e perante os resultados da técnica determinar mudanças que serão implementadas no setor.

Já Frazão e Fernandes (2004), realizaram uma análise comparativa do ciclo de vida entre telhas de fibrocimento com amianto e com fibra polivinilica em substituição ao amianto, avaliando desde a etapa de extração das matérias primas, passando pela fabricação das telhas, o transporte dos materiais e a destinação final dos resíduos ao final da vida útil. O trabalho tinha por objetivo principal a comparação em termos de eficiência, o ciclo de vida das diferentes telhas. O resultado do estudo, encomendado por uma fabricante de telhas, seria crucial para o processo de tomada de decisão.

Os autores utilizaram um software próprio para a realização da ACV, o “SimaPro 5.1”. Deste modo, promoveu-se a utilização de 11 categorias de impacto, entre as áreas de saúde humana, qualidade do ecossistema e utilização de recursos humanos.

No estudo, os autores não citam quais fatores de impactos foram adotados, apenas ficando implícito que estes valores estão ocultos na rotina de execução do programa utilizado.

Desta forma, com os resultados obtidos no software, os autores chegaram a conclusão de que as telhas com amianto são economicamente e ecologicamente mais favoráveis, perante as telhas sem amianto.

3.4 LEVANTAMENTO DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS

Outro exemplo de ferramenta de avaliação ambiental é a técnica de Levantamento de Aspectos e Impactos Ambientais. Tal instrumento, amparada pela NBR 14.001 (2004), tem como ponto forte, o fato de buscar a “melhoria contínua”, permitindo alcançar objetivos ambientais e econômicos (ABNT, 2004).

Conforme ABNT (2004), tal ferramenta é baseada na metodologia chamada de Planejar/Executar/Verificar/Agir (do inglês “*Plan-Do-Check-Act*” - PDCA) e dividida em quatro etapas:

Planejar: Estabelecer os objetivos e processos necessários para atingir os resultados em concordância com a política ambiental da organização.

Executar: Implementar os processos.

Verificar: Monitorar e medir os processos em conformidade com a política ambiental, objetivos, metas, requisitos legais e outros, e relatar os resultados.

Agir: Agir para continuamente melhorar o desempenho do sistema da gestão ambiental.

Quanto ao nível de detalhamento e complexidade do sistema da gestão ambiental, a norma diz que depende de alguns fatores, tais como: o escopo do sistema utilizado, o porte da organização e a natureza de suas atividades, produtos e serviços. Este pode ser, em particular, o caso das pequenas e médias empresas (ABNT, 2004).

Ainda, conforme esta norma, as mudanças no meio ambiente, prejudiciais ou benéficas, que resultem total ou parcialmente dos aspectos ambientais, são chamadas de impactos ambientais. Esta relação entre aspectos e impactos é uma relação de causa e efeito (ABNT, 2004).

Segundo a mesma norma, é necessário que se identifique dentro do escopo analisado, os aspectos ambientais decorrentes de atividades passadas, existentes ou planejadas da organização, produtos e serviços, para determinar os impactos ambientais significativos.

A norma em questão não obriga a adoção de todas as categorias de impacto, porém dá exemplos de algumas que poderiam ser consideradas, de acordo com o escopo em questão, tais como:

- Emissões atmosféricas;
- Lançamentos em corpos d'água;
- Lançamentos no solo;
- Periculosidade dos materiais envolvidos;
- Uso de matérias-primas e recursos naturais;

- Uso da energia;
- Energia emitida, por exemplo, calor, radiação, vibração;
- Resíduos e subprodutos;
- Atributos físicos, por exemplo, tamanho, forma, cor, aparência.

Pela mesma norma, recomenda-se ainda que sejam considerados aspectos associados às atividades, produtos e serviços da organização, tais como:

- Projeto e desenvolvimento;
- Processos de fabricação;
- Embalagem e transporte;
- Desempenho ambiental e práticas de prestadores de serviços e fornecedores;
- Gerenciamento de resíduo;
- Extração e distribuição de matérias-primas e recursos naturais;
- Distribuição, uso e fim de vida de produtos;

Desta forma, esta técnica de avaliação ambiental se torna completa, pois não se limita a avaliar as entradas e saídas do ciclo de vida de processos e produtos, mas também analisa as etapas de projeto, embalagem, distribuição, transporte, uso de matérias primas, periculosidade dos materiais envolvidos e destinação final dos produtos ao final de suas vida úteis. (ABNT, 2004).

4 METODOLOGIA

O programa experimental foi constituído da utilização de duas técnicas: da Análise do Ciclo de Vida e do Levantamento de Aspectos e Impactos Ambientais em telhas de fibrocimento com fibras de amianto e telhas de fibrocimento com fibras de polipropileno, com o intuito de se determinar as respostas aos objetivos propostos.

4.1 DEFINIÇÃO DO ESCOPO

A pesquisa foi realizada baseando-se em uma obra qualquer no município de Novo Hamburgo-RS, apenas para efeito de cálculos e porque o projeto maior ao qual esta pesquisa está vinculada é realizado neste município.

Serão avaliados diferentes cenários, onde se fixou os locais de extração de matéria-prima, o local da obra e o aterro industrial para o qual seriam levados os resíduos das telhas após a vida útil dos mesmos e variou-se os locais de fabricação das telhas. Para cada cenário foi determinada a geração de emissões gasosas, efluentes e rejeitos e também avaliou-se o consumo de energia e água. Resumindo, o escopo do estudo indica que as fronteiras do sistema adotadas foram desde a extração da matéria-prima até a fase de disposição final em aterros (berço-túmulo), conforme vários trabalhos anteriormente citados (capítulo 3.3) e que empregaram também este procedimento.

Os dois tipos de telhas de fibrocimento (com e sem amianto) são fabricados no Brasil e podem-se destacar duas empresas concorrentes. A Brasilit fabrica telhas de fibrocimento com a incorporação de fibras de polipropileno (PP) em substituição ao amianto e a Eternit utiliza o amianto como matéria prima na fabricação de telhas.

As dimensões das telhas comercializadas possuem diferentes valores de largura e comprimento, mas ambas as empresas estudadas fabricam os mesmos modelos. Quanto à largura, as telhas podem ser de 92 cm ou de 110 cm (Figura 14). Já quanto ao comprimento, podem ser de 122 cm, 153 cm, 183 cm, 213 cm, 244 cm, 306 cm, 366 cm.

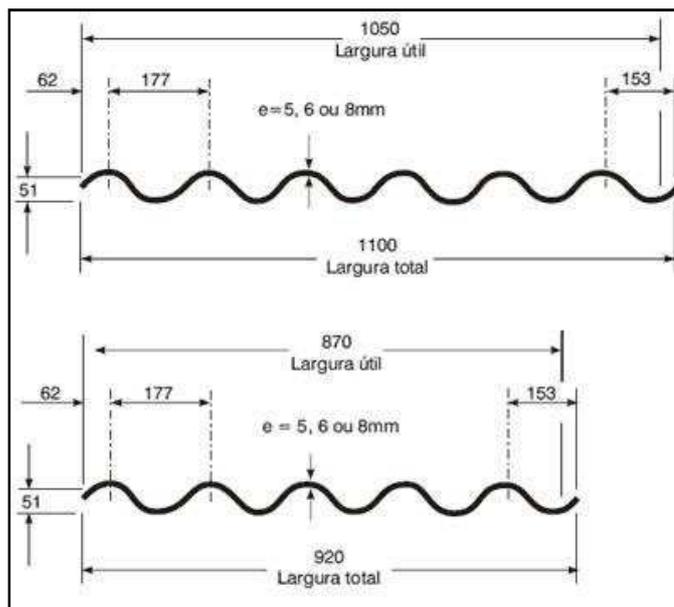


Figura 14 - Largura das telhas de fibrocimento.

Fonte: BRASILIT (2013b)

A unidade funcional (UF) neste trabalho foi escolhida como sendo um pallet de 60 telhas de fibrocimento com dimensões de 92 cm x 213 cm, com espessura de 6 mm. Estas dimensões foram adotadas, pois esta largura é o tipo mais utilizado comercialmente, e o comprimento é o valor intermediário mais próximo da média entre todos os comprimentos, igual a aproximadamente 226 cm.

Conforme orientações dos fabricantes, telhados utilizando este tipo de cobertura devem prever o transpasse entre as telhas, diminuindo assim a área útil de cada telha de 92 cm x 213 cm para 87 cm x 198 cm. Portanto cada telha teve uma área útil calculada em 1,72 m², e como a unidade funcional adotada foi de um pallet de 60 telhas, a unidade funcional foi dimensionada para uma área de 103,2 m², suficiente para cobrir uma área aproximada de 10 m x 10 m.

4.2 ANÁLISE DO INVENTÁRIO - ACV

Após a definição do escopo, a próxima etapa da ACV é o levantamento dos dados envolvidos, ou a Análise do Inventário. Nesta etapa identificou-se em outros trabalhos parâmetros básicos para serem empregados neste estudo. Para isto pesquisou-se os sites das duas empresas fabricantes de telhas (www.ternit.com.br e www.brasilite.com.br) e sites de empresas fabricantes das matérias-primas das telhas (www.abcp.org.br, www.vcimentos.com.br) de forma a obter-se dados do tipo: composição e tamanho das telhas,

emissões atmosféricas na fabricação das matérias-primas, principalmente do cimento e localização das fábricas.

Como a composição das telhas não foi obtida, nem na visita técnica nem nos sites especializados definiu-se por aplicar os mesmos valores citados em Frazão e Fernandes (2004) para a unidade funcional deste trabalho (Quadro 10).

Quadro 10 – Composição das telhas

TELHA COM AMIANTO		TELHA COM POLIPROPILENO	
Material	kg	Material	kg
Cimento	1015,0	Cimento	1115,0
Amianto	160,0	PP	28,0
Celulose	5,0	Carbonato de Cálcio	14,9
Cinza muito fina	47,0	Celulose	35,0
Enchimento	33,0	Cinza muito fina	3,5
		Sílica amorfa	73,5
		Fita de Segurança (PP)	2,6
		Floculante	0,3
		Agente antiespumante	0,4
TOTAL	1260,0	TOTAL	1273,2

Fonte: Frazão e Fernandes (2004)

Para dar continuidade a esta etapa de levantamento de dados foi realizada visita a fábrica da Brasilit no município vizinho de Esteio-RS, na qual são produzidas exclusivamente telhas de fibrocimento com fibras de polipropileno. Para esta visita foi realizada entrevista apoiada no questionário apresentado no Quadro 11.

Quadro 11 – Questionário aplicado durante a visita à Brasilit em Esteio-RS

N	PERGUNTA E RESPOSTA
1.	Nome completo do funcionário:
2.	Cargo e tempo de trabalho na empresa:
	<u>Especificamente sobre a empresa:</u>
3.	Qual a capacidade da fábrica local?
4.	Quais os principais produtos?
5.	Quais os principais compradores?
6.	Existe algum motivo pela não utilização do amianto como matéria-prima?
7.	Atualmente se utiliza fibra de polipropileno. Existe algum estudo interno com relação à utilização de outros tipos de fibras?
	<u>Especificamente sobre telhas de fibrocimento:</u>
8.	Qual a porcentagem deste produto perante os outros em termos de produção mensal?
9.	Qual a composição das telhas?
10.	Qual a origem dos materiais constituintes?

N	PERGUNTA E RESPOSTA
11.	Com quais empresas negociam a matéria prima?
12.	A empresa exige dos fornecedores alguma documentação que comprove cuidados com o meio ambiente, como por exemplo, a Licença de Operação?
13.	Como é feito o transporte dos materiais até a fábrica?
14.	Como ocorre o preparo e a mistura dos materiais?
15.	É feito algum controle tecnológico sobre este processo?
16.	Qual a eficiência da mistura?
17.	É monitorado o consumo de energia e de água? Existem planilhas, valores médios?
18.	Existem perdas no processo?
19.	Se sim, qual o destino das perdas?
20.	Há reaproveitamento de algum material da construção civil (ou de outro setor) na produção de telhas?
21.	Se não, há intenção de incorporar algum resíduo ao processo?
22.	A empresa controla as emissões gasosas, líquidas e sólidas que o processo gera?
23.	É feita alguma ação no sentido de tratamento dessas emissões?

Na etapa de fabricação das telhas, foram encontradas certas dificuldades na aquisição de informações, pelo fato das fabricantes de telhas não disponibilizarem suas planilhas de controle de emissões. Os dados referentes a consumo de água e energia foram extraídos do questionário feito em entrevista na Brasilit e estão apresentados no Quadro 21. Para o caso da Eternit os dados foram obtidos via e-mail, respondido por um funcionário da empresa. Porém a grande maioria das informações, basicamente sobre as emissões atmosféricas, não foram disponibilizadas pelas empresas.

Na tentativa de resolver este entrave, pensou-se em adotar para ambos os fabricantes o limite estabelecido pela legislação ambiental em vigor, balizada pelas licenças de operação das fábricas e principalmente pelas resoluções CONAMA n° 3/1990, n° 5/1989 e n° 8/1990 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1990a); (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1989) e (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1990b). Contudo estas resoluções fixam os limites máximos de poluentes, medidos através de taxas de concentração no ar, as quais teriam uma difícil transformação para as unidades adotadas no trabalho, que são de taxa de emissão por toneladas de produção.

Deste modo, buscou-se na literatura trabalhos que relacionassem emissões atmosféricas com o tipo de caldeira utilizado nas fábricas. Como no site das fabricantes, há a menção de caldeiras a lenha, utilizou-se o trabalho de Nascimento (2007) que quantificou o

consumo médio de caldeiras deste tipo em 600 m³ de lenha por mês. Já conforme um estudo elaborado pela CETESB (2009) foram determinados para cada m³ de lenha utilizada, os valores unitários de emissão atmosférica emitida ao ar, como mostra o Quadro 12:

Quadro 12 – Valores unitários de emissão atmosférica por tonelada de lenha utilizada.

EMISSIONES ATMOSFÉRICAS	kg DE EMISSÃO / tonelada DE LENHA
CO	0,017
CO ₂	0,827
HC	0,063
NO _x	0,429
SO _x	0,021
MP	2,514

Fonte: CETESB (2009)

No inventário, além dos valores anteriores foi elaborado um fluxograma de processos composto pelas etapas de extração das matérias-primas, transporte até a fábrica, fabricação da telha de fibrocimento, transporte até a obra, uso da telha, transporte para o aterro e destinação final.

Vários autores citam que as emissões gasosas mais significativas são: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarbonetos (HC), nitratos em geral (NO_x), sulfatos em geral (SO_x) e material particulado (MP) (FRANCO et al. (2013); CHINA (2010); CHEN et al. (2007); COSTA (2001) e HAUSBERGER et al. (2005)). Sendo assim, a geração destas emissões foi quantificada em todas as etapas do ciclo de vida do material. Ainda conforme Claudino e Talamini (2013), além destas emissões já citadas, a quantificação de rejeitos e efluentes líquidos gerados, somados ao consumo de água e energia incorporada gasta no processo, é de suma importância, se for levada em consideração a escassez de locais apropriados para destinação dos rejeitos, bem como o fato de a água ser uma fonte não renovável. Levando em consideração todas essas análises, buscaram-se na literatura alguns índices que servissem de parâmetro para a quantificação das principais entradas do sistema além das matérias-primas. Igualmente foram considerados os consumos de energia elétrica e água. As saídas foram compostas de emissões gasosas e geração de efluentes líquidos e rejeitos.

Na literatura, diversos autores buscaram a quantificação de emissões gasosas nos diversos modais existentes, seja hidroviário, ferroviário ou rodoviário. No caso do presente trabalho se optou pelo transporte rodoviário, utilizando caminhões pesados.

Há um consenso na literatura em quantificar quilogramas de emissões produzidas a partir de quilogramas de combustível utilizado (kg emissões / kg diesel). Mas sabe-se que os fabricantes de veículos não fornecem os seus rendimentos dessa forma, sendo preciso fazer um ajuste nas unidades utilizadas.

Conforme PETROBRAS (2013), empresa na qual fabrica e distribui o combustível no Brasil, a densidade do diesel é de 0,85 kg/L e de acordo com as principais montadoras de caminhões no país, o consumo médio de caminhões pesados é de aproximadamente 2 km/L. Deste modo, fez-se a transformação dos valores encontrados na literatura para a obtenção de índices de geração de emissão por km rodado, como mostra a Equação 2:

$$(\text{kg emissões / kg diesel}) \times D / C = (\text{kg emissões / km rodado}) \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

D = densidade (kg / L);

C = consumo (km / L);

Vale destacar, de que na fase de transportes foi levado em consideração apenas o uso do combustível e não os valores incorporados na sua fabricação. Deste modo, não se obteve valores de consumo de água e energia, bem como geração de efluentes e rejeitos.

Alguns autores, tais como Franco et al. (2013), ECEN (2001) e Gazzoni (2012), em seus estudos não realizam a medição das emissões de todos os tipos aqui analisados, deixando, portanto, algumas lacunas na quantificação nas emissões. Há ainda, o fator do local da pesquisa. Pesquisas realizadas em locais distintos, por exemplo, China (2010), tendem a gerar valores diferentes, os quais poderiam criar confusão na etapa de quantificação. Deste modo, foram selecionados trabalhos similares ao propósito desta pesquisa e anexados ao Quadro 13, para representar os valores utilizados e demonstrar quais índices foram adotados para esta etapa do ciclo de vida.

Quadro 13 – Emissões na fase de transporte dos materiais e produtos.

EMIÇÃO / CONSUMO	LITERATURA		VALOR ADOTADO (kg EMISSÕES / km GASTOS)
	CHEN et al. (2007) kg emissão / kg combustível	HAUSBERGER et al. (2005) kg emissão / kg combustível	
CO	0,0070	0,0100	0,006
CO ₂	-	0,4800	0,288
HC	0,0030	0,0050	0,003
NO _x	0,0080	0,0350	0,021
SO _x	-	0,0015	0,001
MP	Não Calculado	0,0020	0,001
Efluente	-	-	0,000
Rejeitos	-	-	0,000
Água	-	-	0,000
Energia	-	-	0,000

A etapa de transporte contempla a ligação entre matérias primas e a fábrica das telhas de fibrocimento, a ligação entre a fábrica e a obra em Novo Hamburgo-RS e a ligação entre a obra e o aterro industrial para o qual seriam levados os resíduos após a vida útil estimada em 50 anos. Sendo assim, através do site das fabricantes, se determinou a localização real de todas as fábricas e de modo a aperfeiçoar as escolhas, foram selecionadas as três fábricas de cada fabricante mais próximas do local da obra para a elaboração dos cenários. Independentemente de qual empresa fosse, foram criados cenários para as duas fabricantes, a fim de se determinar, adotando as mesmas distâncias de transporte, quais cenários seriam os de menores impactos ambientais negativos. Os locais estão no Quadro 14:

Quadro 14 – Locais de fabricação de telhas de fibrocimento.

FABRICANTE	LOCAL
BRASILIT	Esteio-RS
BRASILIT	Ibiporã-PR
BRASILIT	Jacareí-SP
ETERNIT	Colombo-PR
ETERNIT	Goiânia-GO
ETERNIT	Rio de Janeiro-RJ

Para trabalhar com os resultados e avaliar os cenários perante as categorias de impacto adotadas, utilizou-se para cada tipo de emissão, os valores equivalentes em CO₂ para as emissões que afetam o efeito estufa, adotado por Forster et al. (2007); os valores equivalentes em SO₂ para as emissões que tem influência sob a chuva ácida, descritos por GHK (2006); os valores equivalentes de Tolueno (C₇H₈), estabelecido por Hertwich et al. (2006), para as emissões que possuem alguma toxicidade humana, além é claro dos valores unitários de consumo de energia, calculados utilizando a unidade de quilowatt-hora (kWh) e o consumo de água, medido através da unidade de volume em metros cúbicos (m³).

Os valores de equivalência de CO₂, para as substâncias que possuem potencial de causar efeito estufa estão apresentados no Quadro 15:

Quadro 15 – Gases causadores de efeito estufa e seus respectivos potenciais em CO₂.

SUBSTÂNCIA	FATOR DE EQUIVALÊNCIA (kg CO ₂ eq.)
CO ₂	1
CO	2
CH ₄	21
N ₂ O	310
HFCs	140 – 11.700
PFCs	6.500 – 9.200
SF ₆	23.900

Fonte: Forster et al. (2007).

Observando o Quadro 15, nota-se que o fator de equivalência em kg de CO₂ da substância CO₂ é igual a 1, justamente por esta ser a unidade de referência. Mas se for observado outra substância, como por exemplo, o N₂O, nota-se que o fator de equivalência é 310, ou seja, cada quilograma de N₂O tem o mesmo potencial de causar efeito estufa se comparado com 310 quilogramas de CO₂.

Além destes fatores referentes a emissões atmosféricas, conforme estudo da CEMIG (2013), há ainda uma parcela causadora de efeito estufa referente à geração de energia elétrica. Os valores médios anuais estão presentes no Quadro 16:

Quadro 16 – Médias anuais referentes à geração de energia expressas em toneladas de CO₂.

ANO	UNIDADE	MÉDIA ANUAL
2008	tCO ₂ /MWh	0,0484
2009	tCO ₂ /MWh	0,0246
2010	tCO ₂ /MWh	0,0513
2011	tCO ₂ /MWh	0,0292
2012	tCO ₂ /MWh	0,0686

Fonte: CEMIG (2013).

Já os valores referentes à equivalência de SO₂, das diferentes substâncias químicas que possuem potencial causador de chuva ácida, constam no Quadro 17:

Quadro 17 – Substâncias causadoras de chuva ácida e seus respectivos potenciais em SO₂.

SUBSTÂNCIA	FATOR DE EQUIVALÊNCIA DE SO ₂ (kg SO ₂ eq.)
1 kg SO ₂	1,00
1 kg NO ₂	0,70
1 kg HCl	0,88
1 kg HF	1,60
1 kg H ₂ S	1,88
1 kg NH ₄	0,89
1 kg NH ₃	0,93

Fonte: GHK (2006).

Do mesmo modo como foi observado anteriormente no Quadro 15, no Quadro 17 o fator de equivalência igual a 1 corresponde a unidade de referência para a comparação, que é da substância SO₂. Nota-se também que a amplitude dos valores não é tão grande, se comparada com os valores encontrados no Quadro 15, como por exemplo, cada quilograma da substância N₂O, tem o mesmo impacto perante a categoria de chuva ácida do que 0,70 quilogramas de SO₂.

No Quadro 18, são apresentados os valores de toxicidade humana, expressos em quilogramas equivalentes de tolueno:

Quadro 18 – Substâncias que possuem toxicidade humana e seus respectivos potenciais em Tolueno.

SUBSTÂNCIA	POTENCIAL DE TOXICIDADE HUMANA (kg TOLUENO equivalente)
C ₇ H ₈ (Tolueno)	1,00
CO	0,27
SO ₂	6,00
NO ₂	4,30
HF	7,10
HCl	24,00
O ₃	4,40
MP-10	2,90
MP-2,5	33,00
NH ₃	7,50
HNO ₃	4,20
H ₃ PO ₄	31,00
SO ₄ ⁻²	9,80

Fonte: Hertwich et al. (2006).

Observa-se no Quadro 18, além do valor do potencial do Tolueno ser igual a 1, pelo fato de esta substância ser a medida de referência, a segregação do material particulado em dois valores de toxicidade, variando conforme o tamanho das partículas. Conforme os valores encontrados pelo autor, quanto menor o tamanho das partículas, maior o grau de toxicidade. Cabe salientar, que o diâmetro da matéria particulada proveniente do processo de fabricação do cimento é de aproximadamente 10 micrometros, bem como o particulado

encontrado nos processos de fabricação da fibra de polipropileno e na etapa de fabricação das telhas de fibrocimento. No que se refere a etapa de extração do amianto na natureza, a literatura cita que as fibras entre 5 e 10 micrometros são as mais prejudiciais ao organismo. Deste modo, como todas as etapas pertencentes a este trabalho fazem menção a matérias particuladas de tamanho aproximado a 10 micrometros, o valor de potencial de toxicidade para este tamanho de fibra foi adotado como único para as etapas restantes do trabalho.

A seguir, encontra-se o Quadro 19, com o resumo de todos os indicadores adotados no trabalho e seus respectivos fatores perante as categorias de impacto adotadas nas etapas seguintes do trabalho:

Quadro 19 – Comparativos em equivalência de CO₂, SO₂, Tolueno, kWh e m³.

CATEGORIA	EFEITO ESTUFA	CHUVA ÁCIDA	TOXICIDADE HUMANA	CONSUMO DE ENERGIA	CONSUMO DE ÁGUA
UNIDADE	kg CO ₂	kg SO ₂	kg Tolueno	kWh	m ³
CO	2,00 (a)		0,27 (b)		
CO ₂	1,00 (a)				
HC			1,00 (b)		
NO _x		0,70 (c)	4,30 (b)		
SO _x		1,00 (c)	6,00 (b)		
MP			2,90 (b)		
Energia					1,00 (c)
Água	0,0000686 (d)			1,00 (c)	

a = Forster et al.(2007)

b = Hertwich et al.(2006)

c = GHK (2006)

d = CEMIG (2013)

Ao final, a análise do inventário resulta nas medidas dos quantitativos de entrada e saída em cada etapa do escopo em estudo. O somatório destes dados foram então comparados para os diferentes cenários. Foram criados seis cenários distintos, onde se variou apenas o local de fabricação das telhas, sendo fixados os locais de extração das matérias primas, a fabricação do cimento, o uso na obra e o aterro industrial.

Os três primeiros cenários foram designados para representar o ciclo de fabricação de telhas com a utilização da fibra de amianto, fibra esta que foi substituída pelo polipropileno nos últimos três cenários (Quadro 20).

Quadro 20 – Cenários estudados para a fabricação de telhas de fibrocimento.

CENÁRIO	FIBRA NA TELHA	LOCAL
1	amianto	Colombo-PR
2	amianto	Goiânia-GO
3	amianto	Rio de Janeiro-RJ
4	PP	Esteio-RS
5	PP	Ibiporã-PR
6	PP	Jacareí-SP

Tal posição foi adotada, a fim de identificar qual cenário seria o de menor impacto ambiental. Para melhor entendimento das distâncias de transporte, foi criado um mapa onde é possível visualizar os locais de fabricação das telhas de fibrocimento (Figura 15).

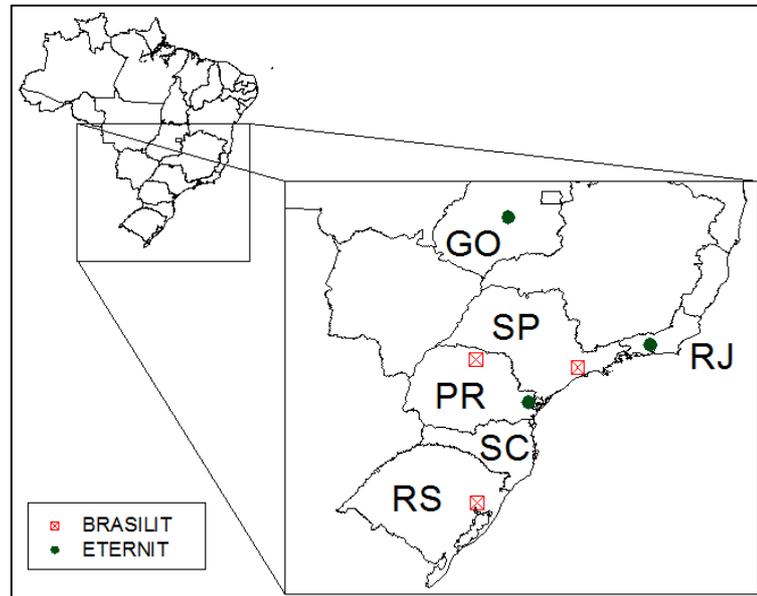


Figura 15 - Mapa do Brasil com a localização das fábricas.

4.3 AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS

A avaliação dos aspectos e impactos ambientais foi feita por meio de ferramentas computacionais, utilizando planilhas do software Microsoft Excel.

Os impactos foram avaliados conforme cinco categorias de impactos ambientais:

- Efeito estufa;
- Acidificação (chuva ácida);
- Toxicidade humana;
- Consumo de energia;
- Consumo de água.

Cada etapa do ciclo foi avaliada perante as cinco categorias e para a situação de cada um dos cenários estudados.

4.4 INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Neste item foi desenvolvida a etapa de interpretação dos dados, tanto para a ACV quanto para o Levantamento de Aspectos e Impactos.

4.4.1 Análise do Ciclo de Vida

Com os resultados obtidos na etapa anterior, os dados foram analisados e comparados nos diversos cenários.

Porém, estes dados avaliados pela técnica da ACV não fazem menção ao problema envolvido com os resíduos contendo amianto, que se baseia na sua classificação como resíduo Classe D (perigoso), justamente pela questão dos efeitos cancerígenos ao se respirar a fibra ao ser extraída da natureza e as incertezas quanto ao seu descarte no fim da vida útil.

Deste modo, em paralelo com a Análise do Ciclo de Vida, se optou por utilizar outra técnica de avaliação dos cenários, descrita como um Levantamento de Aspectos e Impactos Ambientais.

4.4.2 Levantamento de Aspectos e Impactos Ambiental

Tal avaliação foi baseada no procedimento de identificação do Sistema de Gestão Ambiental (SGA), elaborado em concordância com a NBR ISO 14.001 (SGA, 2013). Tal ferramenta foi amparada sob cinco categorias de impactos ambientais: uso de recursos não renováveis (matéria-prima), risco a saúde (toxicidade), efeito estufa (produção de emissões atmosféricas que contribuem para o aquecimento global), acidificação (produção de chuva ácida) e toxicidade humana. Cabe salientar que outras duas categorias foram elaboradas, sendo elas: preço de venda e durabilidade das telhas. Porém não se detectaram quaisquer alterações entre os cenários de fibras diferentes e deste modo, estas categorias foram desconsideradas.

Cada categoria foi aplicada para o melhor cenário calculado utilizando as fibras incorporadas às telhas de fibrocimento em questão, amianto e polipropileno. A pontuação de cada categoria é explicada da seguinte forma:

- Uso de recursos não renováveis: Empregando-se o Quadro 10 (Análise do Inventário) calculou-se o percentual utilizado tanto para telhas com amianto

quanto sem este material. Este percentual de uso de recursos não renováveis foi baseado no maior valor entre os dois somatórios de pesos.

- Riscos a saúde (toxicidade): Utilizou-se, observando o mesmo Quadro 10, o percentual de substâncias perigosas na composição química de cada telha. Os valores referentes a riscos à saúde, inflamabilidade e reatividade foram obtidos nas respectivas Fichas de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) (VOTORANTIM, 2009); (EMFAL, 2007); (LABSYNTH, 2009); (DANETO, 2006); (NEWPARK, 2013); (PAN-AMERICANA, 2005) (VETEC, 2005).
- Efeito estufa: Conservaram-se os mesmos valores de equivalência de CO₂ encontrados nos cenários calculados na ACV, para compor este item (Quadro 15).
- Acidificação (chuva ácida): Da mesma forma como foi feita na categoria de efeito estufa, os valores de equivalência de SO₂ foram mantidos na aplicação desta técnica (Quadro 17).
- Toxicidade humana: Os valores referentes à equivalência em quilogramas de tolueno foram preservados (Quadro 18).

Nestas últimas três categorias a comparação de cenários foi feita da mesma maneira: o menor valor entre os cenários de mesma fibra foram comparados, sendo o menor valor destes, nos cenários com amianto, considerado 100% e o menor valor dentre os cenários com polipropileno, a taxa de incremento calculada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A etapa de Análise do Inventário foi dividida em visita á fábrica da Brasilit, fluxograma dos processos, entradas e saídas e cenários.

5.1 VISITA TÉCNICA À BRASILIT

As respostas obtidas na visita realizada na Brasilit constam do Quadro 21:

Quadro 21 - Questionário estruturado respondido por um funcionário da Brasilit

N	PERGUNTA E RESPOSTA
1.	Informações sobre o entrevistado: Funcionário da empresa Brasilit Contato: (51) **** 4005
2.	Cargo e tempo de trabalho na empresa: Chefe de produção e manutenção, 18 anos exercendo a função <u>Especificamente sobre a empresa:</u>
3.	Qual a capacidade da fábrica local? 7.000 t/mês
4.	Quais os principais produtos? Produção local: somente telhas de fibrocimento onduladas (grandes e pequenas ondas)
5.	Quais os principais compradores? Distribuidores de material de construção, Leroy Merlin, Tumelero
6.	Existe algum motivo pela não utilização do amianto como matéria-prima? Basicamente a preocupação ambiental e saúde ocupacional
7.	Atualmente se utiliza fibra de polipropileno. Existe algum estudo interno com relação à utilização de outros tipos de fibras? Dentre os materiais testados na época de transição, foi o material que mais se aproximou das características físicas e mecânicas do amianto. As fibras são fabricadas em Jacareí-SP <u>Especificamente sobre telhas de fibrocimento:</u>
8.	Qual a porcentagem deste produto perante os outros em termos de produção mensal? 100% da produção local
9.	Qual a composição das telhas? Cimento, calcário, fibra de PP, resinas e ligantes.
10.	Qual a origem dos materiais constituintes? Cimento: Votorantim, Cimpor Calcário: Caçapava do Sul-RS Fibra de polipropileno: Jacareí-SP
11.	Com quais empresas negociam a matéria prima? Fabricantes locais da origem das matérias-primas

N	PERGUNTA E RESPOSTA
12.	<p>A empresa exige dos fornecedores alguma documentação que comprove cuidados com o meio ambiente, como por exemplo, a Licença de Operação?</p> <p>Sim, faz parte do processo de fornecimento de materiais, necessário para manter ISO 9.000, ISO 14.000 e ISO 18.000</p>
13.	<p>Como é feito o transporte dos materiais até a fábrica?</p> <p>Com caminhões, silos fechados, vasos de pressão, transporte pneumático</p>
14.	<p>Como ocorre o preparo e a mistura dos materiais?</p> <p>Retirados do caminhão, silados, transportados por via aérea por vasos de pressão, misturados por meio aquoso e se tornam uma massa, que é bombeada por todo o processo</p>
15.	<p>É feito algum controle tecnológico sobre este processo?</p> <p>Todo o ciclo é controlado. Vários itens, finura, superfície específica (blaine), concentração, densidade, início de pega, falsa pega. Parte dos ensaios são exigidos do fabricante o laudo, alguns são feitos internamente, e outros são feitos pela matriz da empresa em São Paulo</p>
16.	<p>Qual a eficiência da mistura?</p> <p>100%, se o produto não atinge as especificações ele retorna ao ciclo para ser reintegrado ou reprocessado</p>
17.	<p>É monitorado o consumo de energia e de água? Existem planilhas, valores médios?</p> <p>Sim, através do reciclo da água. 27kWh/t e 0,4m³/t</p>
18.	<p>Existem perdas no processo?</p> <p>100% controlado, através do reciclo da água.</p>
19.	<p>Se sim, qual o destino das perdas?</p> <p>Rejeito zero</p>
20.	<p>Há reaproveitamento de algum material da construção civil (ou de outro setor) na produção de telhas?</p> <p>Atualmente a empresa não aborda nenhum projeto relacionado a esta questão, talvez futuramente se for viável técnica e economicamente</p>
21.	<p>Se não, há intenção de incorporar algum resíduo ao processo?</p> <p>---</p>
22.	<p>A empresa controla as emissões gasosas, líquidas e sólidas que o processo gera?</p> <p>Sim, a caldeira aquece a estufa e é controlada a emissão e os resíduos dos processos são classificados e devidamente destinados</p>
23.	<p>É feita alguma ação no sentido de tratamento dessas emissões?</p> <p>A água retorna ao ciclo, e quanto as emissões a própria caldeira tem um equipamento de filtragem, e os silos possuem filtros manga para particulados, todos os valores se encontram dentro dos valores estipulados pela legislação ambiental</p>

No Quadro 21, observa-se a preocupação ambiental que a empresa tem, seja pelo reuso da água, pela política interna do rejeito zero e pelo monitoramento contínuo das emissões atmosféricas, fatores estes determinantes para a obtenção das certificações ISO da empresa.

Após a visita, foram feitos diversos contatos telefônicos, tanto com a Brasilit, localizada em Esteio-RS, quanto com a Eternit, com fábrica em Colombo-PR, a fim de obter

maiores informações sobre emissões atmosféricas medidas na etapa de fabricação, mas em nenhum dos casos se obteve os valores reais medidos nas caldeiras.

5.2 FLUXOGRAMA DOS PROCESSOS

Com a ajuda do Software Excel, foi possível elaborar um diagrama de blocos, mostrando as etapas do ciclo de vida do produto, fluxos de materiais e principais entradas e saídas do sistema. O diagrama está demonstrado na Figura 16:

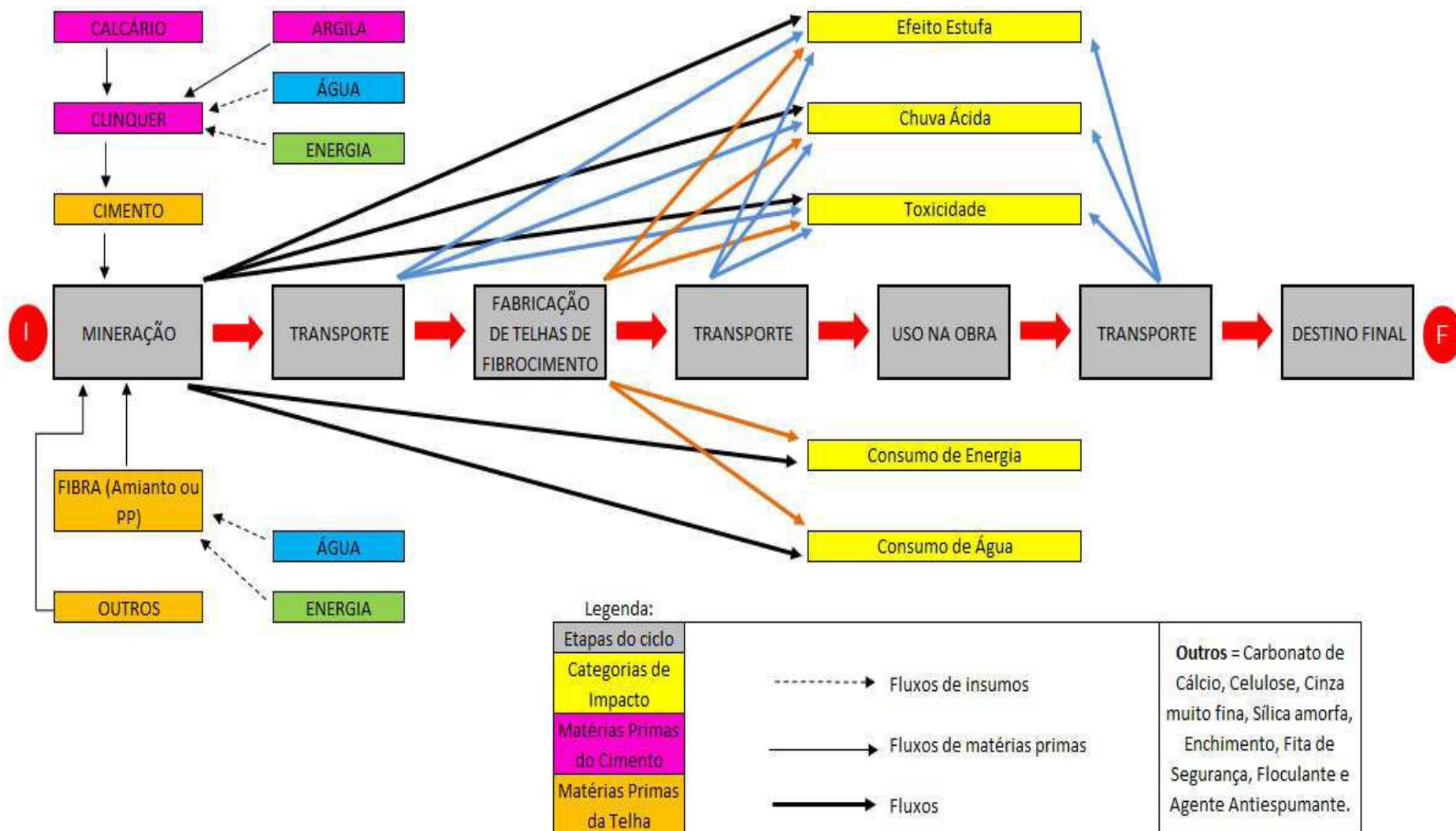


Figura 16 - Diagrama de blocos contendo todas as etapas do ciclo de vida do material.

5.3 ENTRADAS E SAIDAS DOS PROCESSOS

Neste item foram calculadas as emissões atmosféricas e também o consumo de água e energia para todas as etapas do ciclo de vida das telhas.

5.3.1 Etapa de extração e mineração das matérias-primas

Iniciando pela geração de emissões na fase de extração de matérias primas, identificou-se que o cimento e o polipropileno necessitam de processos industriais para a sua fabricação, o que não ocorre com o amianto, que é um produto “*in natura*”, e por consequência tendo menores índices nesta etapa.

No Quadro 22 encontram-se os valores referentes à extração e fabricação do cimento.

Quadro 22 – Emissões na fase de mineração das matérias primas e fabricação do cimento.

EMISSÃO / CONSUMO	kg DE EMISSÕES / 1.000 kg DE CLÍNQUER	UNIDADE	FONTE
CO	0,000	kg	Tosta, Souza e Silva (2007)
CO ₂	659,000	kg	Lima (2010)
HC	0,000	kg	Tosta, Souza e Silva (2007)
NOx	1,910	kg	VCimentos (2012)
SOx	1,250	kg	VCimentos (2012)
MP	0,260	kg	VCimentos (2012)
Efluente	0,000	L	ABCP (2012)
Rejeitos	0,000	kg	ABCP (2012)
Água	100,000	L	ABCP (2012)
Energia	110,000	kWh	Madlool et al. (2011)

Já no caso do amianto na etapa de mineração, as emissões atmosféricas não estão presentes, pelo fato de não haver necessidade de envolver processos químicos, apenas energia incorporada na utilização das máquinas que efetuam a extração da natureza e o material particulado pela presença de poeira (FRAZÃO e FERNANDES, 2004). Os dados estão presentes no Quadro 23:

Quadro 23 – Emissões na fase de mineração do amianto.

EMISSION / CONSUMO	UNIDADE / 1.000 kg DE AMIANTO	UNIDADE	FONTE
CO	0,000	kg	Frazão e Fernandes (2004)
CO ₂	0,000	kg	Frazão e Fernandes (2004)
HC	0,000	kg	Frazão e Fernandes (2004)
NOx	0,000	kg	Frazão e Fernandes (2004)
SOx	0,000	kg	Frazão e Fernandes (2004)
MP	0,006	kg	Frazão e Fernandes (2004)
Efluente	0,000	L	Frazão e Fernandes (2004)
Rejeitos	0,000	kg	Frazão e Fernandes (2004)
Água	0,000	L	Frazão e Fernandes (2004)
Energia	1.928,904	kWh	Frazão e Fernandes (2004)

Especificamente tratando-se do polipropileno, que é produzido através da polimerização do monômero propeno que por sua vez é originado do petróleo, tem altos índices de emissões e consumo de energia, justamente pelo fato de haver na sua fabricação processos químicos envolvidos.

No Quadro 24 apresentam-se os valores da etapa de fabricação do polipropileno.

Quadro 24 – Emissões na fase de fabricação do polipropileno.

EMISSION / CONSUMO	UNIDADE / 1.000 kg DE FIBRA	UNIDADE	FONTE
CO	0,180	kg	Fendrich (2008)
CO ₂	312,450	kg	Fendrich (2008)
HC	0,004	kg	Fendrich (2008)
NOx	1,010	kg	Fendrich (2008)
SOx	0,019	kg	Fendrich (2008)
MP	0,000	kg	Fendrich (2008)
Efluente	1.902,700	L	Fendrich (2008)
Rejeitos	16,430	kg	Fendrich (2008)
Água	10.933,220	L	Fendrich (2008)
Energia	464.820,000	kWh	Fendrich (2008)

Para efeito de cálculo no trabalho, foi apenas considerado, o processo de fabricação e as distancias de transporte para os principais materiais constituintes, ou seja, o cimento e as fibras utilizadas, amianto ou polipropileno.

5.3.2 Etapa de transporte de materiais e produtos

Levando em consideração este fato, foram determinadas as distâncias de transporte entre a fase de mineração ou fabricação das matérias primas até a fábrica de telhas de fibrocimento. Os locais de fabricação do cimento foram obtidos através do site

<http://www.snica.org.br/fabricas.asp> sendo determinados os locais de fabricação de cimento mais próximos das fábricas de telhas: Nova Santa Rita-RS, Rio Branco-PR para as duas fábricas do Paraná, Cubatão-SP e Sepetiba-RJ, respectivamente. Já a fabricação das fibras, ocorre em um único local no país inteiro. As distâncias foram calculadas através do site <http://br.distanciacidades.com> e estão discriminadas no Quadro 25 e Quadro 26:

Quadro 25 – Distâncias entre as matérias primas e as fábricas.

DISTÂNCIAS DE TRANSPORTE (km)		FÁBRICAS					
		Esteio (RS)	Colombo (PR)	Ibiporã (PR)	Jacareí (SP)	Goiânia (GO)	Rio de Janeiro (RJ)
Matérias primas	Fábrica de Cimento	15	240	421	134	320	69
	Fibra de Polipropileno (Jacareí-SP)	1.235	494	591	0	974	355
	Amianto (Minaçu-GO)	2.274	1.724	1.359	1.386	471	1.494

Já as distâncias entre as fábricas de telhas de fibrocimento e a obra e entre a obra e o aterro industrial estão demonstrados no Quadro 26:

Quadro 26 – Distâncias entre as fábricas e a obra e entre a obra e o destino final.

DISTÂNCIAS DE TRANSPORTE (km)		DISTÂNCIA ATÉ A OBRA EM NOVO HAMBURGO
Etapa de Fabricação e Uso	Esteio-RS	22
	Ibiporã-PR	988
	Jacareí-SP	1.156
	Colombo-PR	690
	Goiânia-GO	1.806
	Rio de Janeiro-RJ	1.505
Destinação Final	Aterro Industrial (Novo Hamburgo)	5

5.3.3 Etapa de fabricação das telhas

Há de se destacar que os valores mensais adotados foram iguais para as duas fabricantes, levando-se em consideração que as empresas não divulgaram os valores de emissões liberadas na atmosfera. Deste modo, somente o consumo de água e energia é diferenciado entre as duas empresas.

Vale salientar que, para se obter os valores unitários de geração de emissões por unidade funcional, basta dividir o valor de emissões mensais pela produção mensal da fábrica, 20.000 t com amianto e 15.000 t sem amianto, além de multiplicar o resultado pelo peso da unidade funcional em cada processo construtivo, 1.260 kg com amianto e 1.273 sem amianto.

Os valores referentes à fase de fabricação de telhas de fibrocimento com amianto estão presentes no Quadro 27:

Quadro 27 – Emissões na fase de fabricação das telhas de fibrocimento com amianto.

EMISSION / CONSUMO	VALOR MENSAL	UNIDADE	UNIDADE / UF	FONTE
CO	10,286	kg	0,648	CETESB (2009)
CO ₂	496,114	kg	31,255	CETESB (2009)
HC	37,714	kg	2,376	CETESB (2009)
NO _x	257,143	kg	16,200	CETESB (2009)
SO _x	12,686	kg	0,799	CETESB (2009)
MP	1.508,571	kg	95,040	CETESB (2009)
Efluente	0,000	L	0,000	ETERNIT (2013)
Rejeitos	0,000	kg	0,000	ETERNIT (2013)
Água	10.000,000	L	630,000	ETERNIT (2013)
Energia	1.934,400	kWh	121,900	ETERNIT (2013)

Já os valores referentes à fase de fabricação de telhas de fibrocimento sem amianto estão presentes no Quadro 28:

Quadro 28 – Emissões na fase de fabricação das telhas de fibrocimento sem amianto.

EMISSION / CONSUMO	VALOR MENSAL	UNIDADE	UNIDADE / UF	FONTE
CO	10,286	kg	0,873	CETESB (2009)
CO ₂	496,114	kg	42,110	CETESB (2009)
HC	37,714	kg	3,201	CETESB (2009)
NO _x	257,143	kg	21,826	CETESB (2009)
SO _x	12,686	kg	1,077	CETESB (2009)
MP	1.508,571	kg	128,048	CETESB (2009)
Efluente	0,000	L	0,000	Quadro 21
Rejeitos	0,000	kg	0,000	Quadro 21
Água	6.000,000	L	509,300	Quadro 21
Energia	405,000	kWh	34,400	Quadro 21

5.3.4 Etapa de uso das telhas na obra

Para efeito de cálculo no trabalho, na etapa de uso das telhas na obra, considerou-se que as ações de retirada das telhas dos caminhões transportadores, acondicionamento, transporte das telhas até o local em que foram utilizadas e a sua fixação foram feitas de forma manual, sem o auxílio de equipamentos eletro/mecânicos. Desta forma, não houve geração de resíduos nesta etapa, tanto líquidos quanto gasosos, bem como também não se quantificou o consumo de água e energia.

5.3.5 Etapa de destinação final das telhas

Da mesma forma como foi descrito no item anterior, após o transporte dos resíduos até o aterro industrial ou de inertes (já que telhas com amianto são resíduos classe I), não se considerou a utilização de nenhum equipamento de moagem de resíduos. Desta maneira, não foram quantificadas emissões atmosféricas, gerações de efluentes e rejeitos, bem como consumo de energia e água.

5.4 AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS FRENTE AO ACV

Neste item foram expostas diversas análises, entre cenários distintos, entre os tipos de fibra, entre os locais de fabricação e entre as categorias de aspectos ambientais, a fim de confrontar os dados encontrados e obter consistência nas comparações.

5.4.1 Avaliação completa, por cenários, frente à ACV

Nesta etapa apresentam-se os resultados completos para cada um dos 6 cenários que compõem o ACV, com suas respectivas planilhas de levantamento de dados (Quadro 29 ao Quadro 34, respectivamente Cenários 1 a 6).

Vale salientar que nestes quadros cada tipo de emissão, geração ou consumo está quantificado em linhas, sendo o valor apresentado como total parcial a soma de todas as etapas. Os valores apresentados como equivalentes de CO₂, SO₂ e Tolueno utilizaram os valores unitários indicados no Quadro 19. Ao final dos cenários, constam os valores calculados para cada uma das categorias de impacto adotadas, que simplesmente é a multiplicação do somatório em todas as etapas do ciclo de vida com os respectivos equivalentes unitários.

Quadro 29 – Cenário 1 – Telhas de fibrocimento com amianto fabricadas em Colombo-PR.

Emissão / Geração / Consumo	Extração Cimento	Extração Fibra	Transp. Cimento (Mina-Fábrica)	Transp. Fibra (Mina-Fábrica)	Fabricação	Transp. Telha (Fábrica-Obra)	Transp. Telha (Obra-Aterro)	SOMA
CO	0,0	0,0	1,4	10,3	0,6	4,1	0,0	16,6
CO ₂	668,9	0,0	69,1	496,5	31,3	198,7	1,4	1.465,9
HC	0,0	0,0	0,7	5,2	2,4	2,1	0,0	10,4
NO _x	1,9	0,0	5,0	36,2	16,2	14,5	0,1	74,0
SO _x	1,3	0,0	0,2	1,6	0,8	0,6	0,0	4,5
MP	0,3	0,0	0,3	2,1	95,0	0,8	0,0	98,5
Efluente	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rejeitos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Água	101,5	0,0	0,0	0,0	630,0	0,0	0,0	731,5
Energia	111,7	308,6	0,0	0,0	121,9	0,0	0,0	542,1

Emissão / Geração / Consumo	SOMA	POTENCIAIS UNITÁRIOS DOS IMPACTOS					Efeito Estufa (kg eq. CO ₂)	Chuva Ácida (kg eq. SO ₂)	Toxicidade (kg eq. Tolueno)	Consumo de Energia (kWh)	Consumo de Água (m ³)
		Eq. CO ₂ (kg)	Eq. SO ₂ (kg)	Eq. Tolueno (kg)	kWh	m ³					
CO	16,6	2,00	0,00	0,27	0,00	0,00	33,2	0,0	4,5	0,0	0,0
CO ₂	1.465,9	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.465,9	0,0	0,0	0,0	0,0
HC	10,4	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0	0,0	10,4	0,0	0,0
NO _x	74,0	0,00	0,70	4,30	0,00	0,00	0,0	51,8	318,1	0,0	0,0
SO _x	4,5	0,00	1,00	6,00	0,00	0,00	0,0	4,5	26,8	0,0	0,0
MP	98,5	0,00	0,00	2,90	0,00	0,00	0,0	0,0	285,6	0,0	0,0
Efluente	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rejeitos	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Água	731,5	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	731,5
Energia	542,1	0,0000686	0,00	0,00	1,00	0,00	0,0	0,0	0,0	542,1	0,0
							1.499,2	56,2	645,3	542,1	731,5

Quadro 30 – Cenário 2 – Telhas de fibrocimento com amianto fabricadas em Goiânia-GO.

Emissão / Geração / Consumo	Extração Cimento	Extração Fibra	Transp. Cimento (Mina-Fábrica)	Transp. Fibra (Mina-Fábrica)	Fabricação	Transp. Telha (Fábrica-Obra)	Transp. Telha (Obra-Aterro)	SOMA
CO	0,0	0,0	1,9	2,8	0,6	10,8	0,0	16,3
CO ₂	668,9	0,0	92,2	135,6	31,3	520,1	1,4	1.449,5
HC	0,0	0,0	1,0	1,4	2,4	5,4	0,0	10,2
NO _x	1,9	0,0	6,7	9,9	16,2	37,9	0,1	72,8
SO _x	1,3	0,0	0,3	0,4	0,8	1,6	0,0	4,4
MP	0,3	0,0	0,4	0,6	95,0	2,2	0,0	98,4
Efluente	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rejeitos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Água	101,5	0,0	0,0	0,0	630,0	0,0	0,0	731,5
Energia	111,7	308,6	0,0	0,0	121,9	0,0	0,0	542,1

Emissão / Geração / Consumo	SOMA	POTENCIAIS UNITÁRIOS DOS IMPACTOS					Efeito Estufa (kg eq. CO ₂)	Chuva Ácida (kg eq. SO ₂)	Toxicidade (kg eq. Tolueno)	Consumo de Energia (kWh)	Consumo de Água (m ³)
		Eq. CO ₂ (kg)	Eq. SO ₂ (kg)	Eq. Tolueno (kg)	kWh	m ³					
CO	16,3	2,00	0,00	0,27	0,00	0,00	32,5	0,0	4,4	0,0	0,0
CO ₂	1.449,5	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.449,5	0,0	0,0	0,0	0,0
HC	10,2	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0	0,0	10,2	0,0	0,0
NO _x	72,8	0,00	0,70	4,30	0,00	0,00	0,0	50,9	313,0	0,0	0,0
SO _x	4,4	0,00	1,00	6,00	0,00	0,00	0,0	4,4	26,5	0,0	0,0
MP	98,4	0,00	0,00	2,90	0,00	0,00	0,0	0,0	285,4	0,0	0,0
Efluente	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rejeitos	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Água	731,5	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	731,5
Energia	542,1	0,0000686	0,00	0,00	1,00	0,00	0,0	0,0	0,0	542,1	0,0
							1.482,1	55,4	639,4	542,1	731,5

Quadro 31 – Cenário 3 – Telhas de fibrocimento com amianto fabricadas no Rio de Janeiro-RJ.

Emissão / Geração / Consumo	Extração Cimento	Extração Fibra	Transp. Cimento (Mina-Fábrica)	Transp. Fibra (Mina-Fábrica)	Fabricação	Transp. Telha (Fábrica-Obra)	Transp. Telha (Obra-Aterro)	SOMA
CO	0,0	0,0	0,4	9,0	0,6	9,0	0,0	19,1
CO ₂	668,9	0,0	19,9	430,3	31,3	433,4	1,4	1.585,2
HC	0,0	0,0	0,2	4,5	2,4	4,5	0,0	11,6
NO _x	1,9	0,0	1,4	31,4	16,2	31,6	0,1	82,7
SO _x	1,3	0,0	0,1	1,3	0,8	1,4	0,0	4,8
MP	0,3	0,0	0,1	1,8	95,0	1,8	0,0	99,0
Efluente	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rejeitos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Água	101,5	0,0	0,0	0,0	630,0	0,0	0,0	731,5
Energia	111,7	308,6	0,0	0,0	121,9	0,0	0,0	542,1

Emissão / Geração / Consumo	SOMA	POTENCIAIS UNITÁRIOS DOS IMPACTOS					Efeito Estufa (kg eq. CO ₂)	Chuva Ácida (kg eq. SO ₂)	Toxicidade (kg eq. Tolueno)	Consumo de Energia (kWh)	Consumo de Água (m ³)
		Eq. CO ₂ (kg)	Eq. SO ₂ (kg)	Eq. Tolueno (kg)	kWh	m ³					
CO	19,1	2,00	0,00	0,27	0,00	0,00	38,2	0,0	5,2	0,0	0,0
CO ₂	1.585,2	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.585,2	0,0	0,0	0,0	0,0
HC	11,6	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0	0,0	11,6	0,0	0,0
NO _x	82,7	0,00	0,70	4,30	0,00	0,00	0,0	57,9	355,5	0,0	0,0
SO _x	4,8	0,00	1,00	6,00	0,00	0,00	0,0	4,8	29,0	0,0	0,0
MP	99,0	0,00	0,00	2,90	0,00	0,00	0,0	0,0	287,1	0,0	0,0
Efluente	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rejeitos	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Água	731,5	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	731,5
Energia	542,1	0,0000686	0,00	0,00	1,00	0,00	0,0	0,0	0,0	542,1	0,0
							1.623,4	62,7	688,3	542,1	731,5

Quadro 32 – Cenário 4 – Telhas de fibrocimento com polipropileno fabricadas em Esteio-RS.

Emissão / Geração / Consumo	Extração Cimento	Extração Fibra	Transp. Cimento (Mina-Fábrica)	Transp. Fibra (Mina-Fábrica)	Fabricação	Transp. Telha (Fábrica-Obra)	Transp. Telha (Obra-Aterro)	SOMA
CO	0,0	0,0	0,1	7,4	0,9	0,1	0,0	8,5
CO ₂	734,8	8,7	4,3	355,7	42,1	6,3	1,4	1.153,4
HC	0,0	0,0	0,0	3,7	3,2	0,1	0,0	7,0
NO _x	2,1	0,0	0,3	25,9	21,8	0,5	0,1	50,8
SO _x	1,4	0,0	0,0	1,1	1,1	0,0	0,0	3,6
MP	0,3	0,0	0,0	1,5	128,0	0,0	0,0	129,9
Efluente	0,0	53,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	53,3
Rejeitos	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
Água	111,5	306,1	0,0	0,0	509,3	0,0	0,0	926,9
Energia	122,7	13.015,0	0,0	0,0	34,4	0,0	0,0	13.172,0

Emissão / Geração / Consumo	SOMA	POTENCIAIS UNITÁRIOS DOS IMPACTOS					Efeito Estufa (kg eq. CO ₂)	Chuva Ácida (kg eq. SO ₂)	Toxicidade (kg eq. Tolueno)	Consumo de Energia (kWh)	Consumo de Água (m ³)
		Eq. CO ₂ (kg)	Eq. SO ₂ (kg)	Eq. Tolueno (kg)	kWh	m ³					
CO	8,5	2,00	0,00	0,27	0,00	0,00	17,1	0,0	2,3	0,0	0,0
CO ₂	1.153,4	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.153,4	0,0	0,0	0,0	0,0
HC	7,0	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0
NO _x	50,8	0,00	0,70	4,30	0,00	0,00	0,0	35,6	218,4	0,0	0,0
SO _x	3,6	0,00	1,00	6,00	0,00	0,00	0,0	3,6	21,7	0,0	0,0
MP	129,9	0,00	0,00	2,90	0,00	0,00	0,0	0,0	376,6	0,0	0,0
Efluente	53,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rejeitos	0,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Água	926,9	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	926,9
Energia	13.172,0	0,0000686	0,00	0,00	1,00	0,00	0,9	0,0	0,0	13.172,0	0,0
							1.171,4	39,2	626,1	13.172,0	926,9

Quadro 33 – Cenário 5 – Telhas de fibrocimento com polipropileno fabricadas em Ibiporã-PR.

Emissão / Geração / Consumo	Extração Cimento	Extração Fibra	Transp. Cimento (Mina-Fábrica)	Transp. Fibra (Mina-Fábrica)	Fabricação	Transp. Telha (Fábrica-Obra)	Transp. Telha (Obra-Aterro)	SOMA
CO	0,0	0,0	2,5	3,5	0,9	5,9	0,0	12,9
CO ₂	734,8	8,7	121,2	170,2	42,1	284,5	1,4	1.363,1
HC	0,0	0,0	1,3	1,8	3,2	3,0	0,0	9,2
NO _x	2,1	0,0	8,8	12,4	21,8	20,7	0,1	66,1
SO _x	1,4	0,0	0,4	0,5	1,1	0,9	0,0	4,3
MP	0,3	0,0	0,5	0,7	128,0	1,2	0,0	130,7
Efluente	0,0	53,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	53,3
Rejeitos	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
Água	111,5	306,1	0,0	0,0	509,3	0,0	0,0	926,9
Energia	122,7	13.015,0	0,0	0,0	34,4	0,0	0,0	13.172,0

Emissão / Geração / Consumo	SOMA	POTENCIAIS UNITÁRIOS DOS IMPACTOS					Efeito Estufa (kg eq. CO ₂)	Chuva Ácida (kg eq. SO ₂)	Toxicidade (kg eq. Tolueno)	Consumo de Energia (kWh)	Consumo de Água (m ³)
		Eq. CO ₂ (kg)	Eq. SO ₂ (kg)	Eq. Tolueno (kg)	kWh	m ³					
CO	12,9	2,00	0,00	0,27	0,00	0,00	25,8	0,0	3,5	0,0	0,0
CO ₂	1.363,1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.363,1	0,0	0,0	0,0	0,0
HC	9,2	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0	0,0	9,2	0,0	0,0
NO _x	66,1	0,00	0,70	4,30	0,00	0,00	0,0	46,3	284,2	0,0	0,0
SO _x	4,3	0,00	1,00	6,00	0,00	0,00	0,0	4,3	25,7	0,0	0,0
MP	130,7	0,00	0,00	2,90	0,00	0,00	0,0	0,0	379,2	0,0	0,0
Efluente	53,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rejeitos	0,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Água	926,9	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	926,9
Energia	13.172,0	0,0000686	0,00	0,00	1,00	0,00	0,9	0,0	0,0	13.172,0	0,0
							1.389,8	50,5	701,7	13.172,0	926,9

Quadro 34 – Cenário 6 – Telhas de fibrocimento com polipropileno fabricadas em Jacareí-SP.

Emissão / Geração / Consumo	Extração Cimento	Extração Fibra	Transp. Cimento (Mina-Fábrica)	Transp. Fibra (Mina-Fábrica)	Fabricação	Transp. Telha (Fábrica-Obra)	Transp. Telha (Obra-Aterro)	SOMA
CO	0,0	0,0	0,8	0,0	0,9	6,9	0,0	8,6
CO ₂	734,8	8,7	38,6	0,0	42,1	332,9	1,4	1.158,6
HC	0,0	0,0	0,4	0,0	3,2	3,5	0,0	7,1
NO _x	2,1	0,0	2,8	0,0	21,8	24,3	0,1	51,2
SO _x	1,4	0,0	0,1	0,0	1,1	1,0	0,0	3,6
MP	0,3	0,0	0,2	0,0	128,0	1,4	0,0	129,9
Efluente	0,0	53,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	53,3
Rejeitos	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
Água	111,5	306,1	0,0	0,0	509,3	0,0	0,0	926,9
Energia	122,7	13.015,0	0,0	0,0	34,4	0,0	0,0	13.172,0

Emissão / Geração / Consumo	SOMA	POTENCIAIS UNITÁRIOS DOS IMPACTOS					Efeito Estufa (kg eq. CO ₂)	Chuva Ácida (kg eq. SO ₂)	Toxicidade (kg eq. Tolueno)	Consumo de Energia (kWh)	Consumo de Água (m ³)
		Eq. CO ₂ (kg)	Eq. SO ₂ (kg)	Eq. Tolueno (kg)	kWh	m ³					
CO	8,6	2,00	0,00	0,27	0,00	0,00	17,3	0,0	2,3	0,0	0,0
CO ₂	1.158,6	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.158,6	0,0	0,0	0,0	0,0
HC	7,1	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0	0,0	7,1	0,0	0,0
NO _x	51,2	0,00	0,70	4,30	0,00	0,00	0,0	35,8	220,1	0,0	0,0
SO _x	3,6	0,00	1,00	6,00	0,00	0,00	0,0	3,6	21,8	0,0	0,0
MP	129,9	0,00	0,00	2,90	0,00	0,00	0,0	0,0	376,7	0,0	0,0
Efluente	53,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rejeitos	0,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Água	926,9	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	926,9
Energia	13.172,0	0,0000686	0,00	0,00	1,00	0,00	0,9	0,0	0,0	13.172,0	0,0
							1.176,8	39,5	628,0	13.172,0	926,9

Neste tópico os cenários foram avaliados perante as cinco categorias de aspectos ambientais definidas no capítulo de Metodologia.

5.4.2 Efeito Estufa

Neste tópico foram consideradas apenas as emissões atmosféricas que tem potencial de causar efeito estufa, desconsiderando todas as outras categorias. Tendo isto como base, calculou-se o quantitativo final de geração de CO₂ equivalente para cada cenário.

Quadro 35 – Cenários avaliando apenas o potencial causador de efeito estufa.

CENÁRIOS	TIPO E FABRICAÇÃO	TOTAL CO ₂ Eq. (kg)
Cenário 1:	Com Amianto - Fabricado em Colombo-PR	1.499,173
Cenário 2:	Com Amianto - Fabricado em Goiânia-GO	1.482,073
Cenário 3:	Com Amianto - Fabricado em Rio de Janeiro-RJ	1.623,373
Cenário 4:	Sem Amianto - Fabricado em Esteio-RS	1.171,404
Cenário 5:	Sem Amianto - Fabricado em Ibiporã-PR	1.389,804
Cenário 6:	Sem Amianto - Fabricado em Jacareí-SP	1.176,804

Observa-se no Quadro 35, que todos os cenários sem amianto, apresentam valores inferiores aos calculados nos cenários com amianto, portanto melhores ambientalmente falando.

Se comparados um a um, estas diferenças de valores variam entre 6%, na comparação entre os cenários 2 e 5, e 38% na comparação entre os cenários 3 e 4. Caso fossem selecionados os melhores cenários de cada tipo de fibra, por exemplo, cenários 2 e 4, a diferença em quilogramas de CO₂ equivalente, seria de aproximadamente 26,5% maior no cenário com amianto.

5.4.3 Acidificação (chuva ácida)

Seguindo o mesmo preceito do item anterior, neste, foi considerado somente os quantitativos referentes à acidificação.

Quadro 36 – Cenários avaliando apenas o potencial causador de chuvas ácidas.

CENÁRIOS	TIPO E FABRICAÇÃO	TOTAL SO ₂ Eq. (kg)
Cenário 1:	Com Amianto - Fabricado em Colombo-PR	56,245
Cenário 2:	Com Amianto - Fabricado em Goiânia-GO	55,356
Cenário 3:	Com Amianto - Fabricado em Rio de Janeiro-RJ	62,704
Cenário 4:	Sem Amianto - Fabricado em Esteio-RS	39,181
Cenário 5:	Sem Amianto - Fabricado em Ibiporã-PR	50,538
Cenário 6:	Sem Amianto - Fabricado em Jacareí-SP	39,462

Observa-se no Quadro 36, que novamente todos os cenários sem amianto, apresentam valores menores se comparados aos cenários com amianto.

Na comparação direta entre todos os cenários, estas diferenças de valores variam entre 9,5%, na comparação entre os cenários 2 e 5, e 60% na comparação entre os cenários 3 e 4. Caso fossem selecionados os melhores cenários de cada tipo de fibra, por exemplo, cenários 2 e 4, a diferença em quilogramas de SO₂ equivalente, seria de aproximadamente 41,3% maior no cenário com amianto.

5.4.4 Toxicidade Humana

Da mesma forma como foi apresentado no item anterior, neste, foi considerado somente os quantitativos finais referentes à toxicidade humana, em todas as etapas do ciclo de vida.

Quadro 37 – Cenários avaliando apenas os potenciais de toxicidade humana.

CENÁRIOS	TIPO E FABRICAÇÃO	TOTAL TOLUENO Eq. (kg)
Cenário 1:	Com Amianto - Fabricado em Colombo-PR	645,343
Cenário 2:	Com Amianto - Fabricado em Goiânia-GO	639,427
Cenário 3:	Com Amianto - Fabricado em Rio de Janeiro-RJ	688,316
Cenário 4:	Sem Amianto - Fabricado em Esteio-RS	626,129
Cenário 5:	Sem Amianto - Fabricado em Ibiporã-PR	701,695
Cenário 6:	Sem Amianto - Fabricado em Jacareí-SP	627,997

Observa-se no Quadro 37, que diferente de todas as comparações feitas até o momento, nem todos os cenários sem amianto apresentam valores menores se comparados aos cenários com amianto.

Na comparação direta entre todos os cenários, valor encontrado no cenário 5 é maior que nos cenários 1, 2 e 3, sendo estas diferenças de valores respectivamente 8,0%, 8,8% e 1,9%. Neste caso, o uso de fibras de polipropileno, referente à avaliação da toxicidade indica a pior situação para este cenário, contrariando a expectativa de que o amianto seria sempre o componente prioritariamente tóxico.

No restante da comparação entre os cenários, todas estas apresentam vantagens para os cenários sem amianto, com diferenças variando entre 1,8%, na comparação dos cenários 2 e 6, e 9,9% na comparação entre os cenários 3 e 4. Caso fossem selecionados os melhores cenários de cada tipo de fibra, por exemplo, cenários 1 e 4, a diferença em

quilogramas de SO₂ equivalente, seria de aproximadamente 2,1% maior no cenário com amianto.

5.4.5 Consumo de água

Neste item foram considerados apenas os valores referentes ao consumo de água.

Quadro 38 – Cenários avaliando apenas o consumo de água.

CENÁRIOS	TIPO E FABRICAÇÃO	TOTAL (m ³)
Cenário 1:	Com Amianto - Fabricado em Colombo-PR	731,500
Cenário 2:	Com Amianto - Fabricado em Goiânia-GO	731,500
Cenário 3:	Com Amianto - Fabricado em Rio de Janeiro-RJ	731,500
Cenário 4:	Sem Amianto - Fabricado em Esteio-RS	926,911
Cenário 5:	Sem Amianto - Fabricado em Ibiporã-PR	926,911
Cenário 6:	Sem Amianto - Fabricado em Jacareí-SP	926,911

Ao analisar o Quadro 38, pode-se destacar que os valores permanecem constantes entre os cenários de mesma fibra, fato justificado pela razão de não haver consumo de água na etapa de transporte, porém variam entre fibras diferentes. A diferença de valores entre cenários com e sem amianto é de aproximadamente 26,7%. Os valores de consumo de água encontrados nas telhas com amianto dizem respeito aos processos de fabricação da telha e da fabricação do cimento presente nas telhas. Já os valores encontrados para as telhas sem amianto correspondem à fabricação das telhas, fabricação do cimento e polimerização da fibra de polipropileno. Em todas as outras etapas do ciclo não se detectou o consumo de água.

Nesta avaliação é interessante destacar que o fato de substituir-se o amianto, material condenado por sua toxicidade, por outras fibras revela que ambientalmente deve-se considerar esta substituição. O consumo de água é dos aspectos ambientais de maior preocupação na atualidade, portanto deve ser sempre avaliado e considerado.

5.4.6 Consumo de energia

Neste item somente foram analisados os valores de consumo de energia.

Quadro 39 – Cenários avaliando apenas o consumo de energia.

CENÁRIOS	TIPO E FABRICAÇÃO	TOTAL CO ₂ (kg)
Cenário 1:	Com Amianto - Fabricado em Colombo-PR	542,142
Cenário 2:	Com Amianto - Fabricado em Goiânia-GO	542,142
Cenário 3:	Com Amianto - Fabricado em Rio de Janeiro-RJ	542,142
Cenário 4:	Sem Amianto - Fabricado em Esteio-RS	13.171,986

CENÁRIOS	TIPO E FABRICAÇÃO	TOTAL CO ₂ (kg)
Cenário 5:	Sem Amianto - Fabricado em Ibiporã-PR	13.171,986
Cenário 6:	Sem Amianto - Fabricado em Jacareí-SP	13.171,986

Conforme mostra o Quadro 39, e como já observado anteriormente na comparação referente ao consumo de água, os cenários propostos geraram os mesmos índices de consumo de energia para as situações em que se utilizaram as mesmas fibras, ressaltando que o consumo de energia não foi quantificado na etapa de transportes. Ou seja, independente do local de fabricação, para os mesmos materiais foram calculadas as mesmas taxas de geração de energia.

O consumo de energia foi encontrado na fase de extração e fabricação das matérias-primas (cimento e fibra) e ainda na etapa de produção das telhas. Vale salientar que os valores de energia incorporada na fabricação da fibra de polipropileno foram 42 vezes maiores que a energia para extrair o amianto da natureza e ainda, que os valores finais dos cenários envolvendo polipropileno tiveram índices 2329,6% maior que o valor encontrado nos cenários abordados com a fibra de amianto.

Nestes casos, a observação é a mesma que a anterior, no caso do consumo de água. Este tipo de resultado com o uso da ferramenta de ACV indica que apenas uma abordagem pode não refletir toda a problemática envolvida.

5.4.7 Avaliação final da ACV

O Quadro 40, apresenta a avaliação final completa de todos os cenários, considerando todas as categorias de impacto selecionadas e anteriormente apresentadas.

Quadro 40 – Cenários avaliados sob todas as categorias de impacto.

CENÁRIOS	EFEITO ESTUFA	CHUVA ÁCIDA	TOXICIDADE	CONSUMO DE ENERGIA	CONSUMO DE ÁGUA
	kg CO ₂	kg SO ₂	kg Tolueno	kWh	m ³
Cenário 1 (Amianto):	1.499,173	56,245	645,343	542,142	731,500
Cenário 2 (Amianto):	1.482,073	55,356	639,427	542,142	731,500
Cenário 3 (Amianto):	1.623,373	62,704	688,316	542,142	731,500
Cenário 4 (PP):	1.171,404	39,181	626,129	13.171,986	926,911
Cenário 5 (PP):	1.389,804	50,538	701,695	13.171,986	926,911
Cenário 6 (PP):	1.176,804	39,462	627,997	13.171,986	926,911

Comparando, no Quadro 40, todos os cenários criados, observa-se que perante todas as categorias, os melhores cenários de cada tipo de fibra são os de número 2 e 4. Tal

fato pode ser explicado, se forem observadas as distâncias de transporte nestes cenários, que coincidentemente, são as menores entre todos os cenários.

5.4.8 Avaliação Final da ACV desconsiderando as etapas de transporte

Neste item, foram refeitos todos os cálculos, apenas desconsiderando as etapas de transporte, criando assim um cenário utópico onde não fossem necessárias as etapas de transporte adotadas no ciclo de vida. O objetivo foi descontar os impactos gerados nesta etapa e valorizar a avaliação das demais etapas, focando na questão do uso de diferentes fibras para a fabricação das telhas.

Sendo assim, apresentam-se no Quadro 41, os valores correspondentes aos mesmos cenários já descritos, apenas eliminando as etapas de transportes dos ciclos de vida:

Quadro 41 – Cenários avaliados com fibras de polipropileno.

CENÁRIOS	EFEITO ESTUFA	CHUVA ÁCIDA	TOXICIDADE	CONSUMO DE ENERGIA	CONSUMO DE ÁGUA
	kg CO ₂	kg SO ₂	kg Tolueno	kWh	m ³
Cenário 1 (Amianto):	701,473	14,765	369,339	542,142	731,500
Cenário 2 (Amianto):	701,473	14,765	369,339	542,142	731,500
Cenário 3 (Amianto):	701,473	14,765	369,339	542,142	731,500
Cenário 4 (PP):	788,304	19,260	493,576	13.171,986	926,911
Cenário 5 (PP):	788,304	19,260	493,576	13.171,986	926,911
Cenário 6 (PP):	788,304	19,260	493,576	13.171,986	926,911

Observa-se então, no Quadro 41, que desconsiderando os valores das etapas de transporte, todos os valores para cenários de mesma fibra permanecem inalterados dentro de suas categorias de impacto.

A redução média dos valores apresentados do Quadro 40 para o Quadro 41 foi de aproximadamente 50%, fato que evidenciou a importância da etapa de transportes na elaboração dos cenários.

Outro apontamento que se verifica no Quadro 41, é que nas cinco categorias, os cenários com amianto apresentam valores menores se comparados aos cenários sem amianto e com PP.

Deste modo então, perante a categoria de efeito estufa, os cenários com polipropileno apresentaram valores 12% superiores. Já, nos valores da categoria de acidificação (chuva ácida), os índices nos cenários com polipropileno mostraram-se aproximadamente 30% superiores se comparados com os cenários com amianto. Convergindo

com estes valores, na categoria de toxicidade humana, os valores dos cenários com polipropileno foram 33% superiores também.

Assim, confirma-se a avaliação de que no ciclo de vida incluídas as etapas de transporte, altamente impactantes em função das emissões envolvidas, o Cenário 4 (com fibra de PP) foi bem pontuado apenas por este fato e não por ser menos problemático ambientalmente falando.

5.5 AVALIAÇÃO PERANTE O LEVANTAMENTO DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS

Esta técnica foi utilizada, adotando-se 7 critérios de avaliação: uso de recursos naturais, riscos a saúde (baseado nas informações das FISPQ dos materiais), efeito estufa (utilizando como unidade comparativa o CO₂ equivalente), acidificação (empregando como unidade comparativa o SO₂ equivalente) e toxicidade humana (adotando como unidade comparativa o Tolueno (C₇H₈) equivalente), consumo de água e de energia.

5.5.1 Uso de Recursos Naturais

O Quadro 42 apresenta o cálculo do uso de recursos naturais não renováveis na etapa de fabricação das telhas para os dois tipos de fibras.

Quadro 42 – Uso de recursos naturais.

TELHA COM AMIANTO		TELHA COM POLIPROPILENO	
Material	kg	Material	kg
Cimento	1015,0	Cimento	1115,0
Amianto	160,0	PP	28,0
Celulose	5,0	Carbonato de Cálcio	14,9
Cinza muito fina	47,0	Celulose	35,0
Enchimento	33,0	Cinza muito fina	3,5
		Sílica amorfa	73,5
		Fita de Segurança (PP)	2,6
		Floculante	0,3
		Agente antiespumante	0,4
TOTAL	1260,0	TOTAL	1273,2
% Recursos utilizados	100,00	% Recursos utilizados	101,05

5.5.2 Riscos à Saúde

Da mesma forma avaliou-se a etapa de fabricação das telhas (para os dois tipos de fibras) quanto aos critérios de segurança dos trabalhadores.

Tais critérios foram obtidos através das FISPQ (Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos) dos materiais e classificados com valores entre zero e quatro, sendo o maior valor correspondente ao maior perigo.

Os resultados referentes aos materiais constituintes da telha com amianto estão no Quadro 43, já os materiais constituintes da telha com polipropileno em substituição ao amianto estão no Quadro 44:

Quadro 43 – Riscos à saúde (Telha com amianto)

TELHA COM AMIANTO		CRITÉRIOS DE SEGURANÇA				Soma dos critérios	Riscos à saúde	Valor Final
Material	kg	%	Riscos à Saúde	Inflamabilidade	Reatividade			
Cimento	1015	80,56	1	0	0	1	S	80,56
Amianto	160	12,70	4	0	0	4	S	50,79
Celulose	5	0,40	0	0	0	0	N	0,00
Cinza muito fina	47	3,73	1	0	1	2	S	7,46
Enchimento	33	2,62	0	0	0	0	N	0,00
Total com Risco								138,81

Quadro 44 – Riscos à saúde (Telha sem amianto)

TELHA COM POLIPROPILENO		CRITÉRIOS DE SEGURANÇA				Soma dos critérios	Riscos à saúde	Valor Final
Material	kg	%	Riscos à Saúde	Inflamabilidade	Reatividade			
Cimento	1115	87,57	1	0	0	1	S	87,57
PP	28	2,20	1	0	0	1	S	2,20
Carbonato de Cálcio	14,9	1,17	1	0	1	2	S	2,34
Celulose	35	2,75	0	0	0	0	N	0,00
Cinza muito fina	3,5	0,27	1	0	1	2	S	0,55
Sílica amorfa	73,5	5,77	1	0	1	2	S	11,55
Fita de Segurança (PP)	2,6	0,20	0	0	0	0	N	0,00
Floculante	0,3	0,02	3	0	3	6	S	0,14
Agente antiespumante	0,4	0,03	1	0	0	1	S	0,03
Total com Risco								104,38

Já o valor final em cada linha, nada mais é do que a multiplicação entre a percentagem do material na composição das telhas e a soma dos critérios de segurança. Ainda, o valor descrito no quadro como total com risco é um valor adimensional, que representa a soma de todas as multiplicações anteriores.

5.5.3 Efeito Estufa, Chuva Ácida e Toxicidade Humana

As demais categorias de impacto foram avaliadas diante dos melhores cenários sob o aspecto ambiental de cada fibra, amianto e polipropileno.

Os valores referentes a estas três categorias restantes estão apresentados no Quadro 45:

Quadro 45 – Melhores cenários de cada fibra.

CENÁRIOS	TIPO E FABRICAÇÃO	EFEITO ESTUFA	CHUVA ÁCIDA	TOXICIDADE
		kg CO ₂	kg SO ₂	kg Tolueno
Cenário 2:	Com Amianto - Fabricado em Goiânia-GO	1.482,073	55,356	639,427
Cenário 4:	Sem Amianto - Fabricado em Esteio-RS	1.171,404	39,181	626,129

Pelo Quadro 45, observa-se que o Cenário 2, perante as três categorias, apresenta valores maiores, se comparado ao Cenário 4. A diferença em relação a categoria de Efeito Estufa foi de aproximadamente 26,52% enquanto que em relação ao Potencial de Acidificação (chuva ácida) a diferença foi de aproximadamente 41,28%. Na categoria de Toxicidade Humana a diferença foi de aproximadamente 2,12% superior no cenário com amianto.

5.5.4 Avaliação Completa

No Quadro 46 apresentam-se os resultados dos cinco critérios de avaliação de aspectos e impactos ambientais, onde se observa a pontuação obtida por cada cenário perante as categorias de avaliação. Nota-se que para este comparativo, os valores são expressos em números absolutos, sendo passíveis de serem somados.

Quadro 46 – Comparativo perante as categorias

CATEGORIAS	UNIDADE	CENÁRIO 2 (com Amianto)		CENÁRIO 4 (com PP)	
		Un.	%	Un.	%
Uso de recursos naturais	kg recursos naturais na UF	1.260,0	100,00	1.273,2	101,05
Riscos a saúde (FISPQ)	Materiais maléficos na sua composição multiplicada pelos critérios de segurança	138,81	100,00	104,38	75,20
Efeito estufa	kg eq. de CO ₂	1.482,1	100,00	1.171,4	79,04
Acidificação	kg eq. de SO ₂	55,4	100,00	39,2	70,78
Toxicidade humana	kg eq. de Tolueno	639,4	100,00	626,1	97,92
Consumo de Energia	kwh	542,1	100,00	13.172,0	2.429,62
Consumo de Água	m ³	731,5	100,00	926,9	126,71

Legenda: UF = Unidade Funcional

Nota-se que, com relação ao uso de recursos naturais não renováveis, os valores não possuem grande variação, visto que a massa total de materiais utilizados na unidade funcional é muito semelhante para os dois tipos de fibra incorporada.

Porém, ao analisar-se a categoria riscos a saúde, se observa que alguns materiais são maléficos a saúde, mas não interferem na comparação, pelo fato de serem encontrados nos dois cenários. A única exceção é o amianto, encontrado apenas no Cenário 2, e principal responsável pela diferença nos valores dos dois cenários, aproximadamente 25% maior.

Já quanto às outras três categorias, efeito estufa, acidificação e toxicidade humana, os valores apresentados no Quadro 46 são os mesmos apresentados na análise da ACV, no qual o cenário com polipropileno possui índices menores e, portanto, perante a avaliação ambiental, a pior situação seria no uso do amianto.

Analisando-se as sete categorias, conclui-se que, perante a técnica de Levantamento de Aspectos e Impactos Ambientais, o Cenário 4 com fibra de polipropileno, possui um resultado mais favorável em quatro categorias, em comparação ao Cenário 2 que é mais vantajoso nas outras três categorias. Confirma-se assim, a avaliação anterior (juntamente com a ACV) de que o uso de amianto é mais desfavorável que o uso de PP, sob o foco ambiental.

Este resultado é contrário ao encontrado por Frazão e Fernandes (2004). No estudo, os autores não avaliaram a toxicidade das telhas, e sim, as questões relacionadas ao ciclo de fabricação, transporte, utilização e destinação final. Ao final da avaliação, os autores concluíram que as telhas de fibrocimento com amianto são mais favoráveis tanto economicamente quanto ecologicamente em relação às telhas com fibras de PVA. Tal fato poderia ser justificado observando-se a origem das fibras e suas respectivas distâncias de transporte, o amianto, importado do Canadá, a mais de 5.000 km do local de utilização e a fibra de PVA, importado do Japão, a mais de 18.000 km do local de utilização. Esta diferença significativa na etapa de transporte é a principal influência que poderia justificar a conclusão dos autores.

5.5.5 Avaliação completa desconsiderando a etapa de transporte

Como havia sido feito na aplicação da técnica da ACV, no Levantamento de Aspectos e Impactos Ambientais também se verificou a importância da etapa de transportes perante os ciclos de vida estudados.

Porém, como as duas primeiras categorias de impacto não fazem menção ao ciclo de vida e sim a composição das telhas e aos materiais constituintes, os valores anteriores permaneceram inalterados (Quadro 47).

Quadro 47 – Comparativo perante as categorias

CATEGORIAS	UNIDADE	CENÁRIO 2 (com Amianto)		CENÁRIO 4 (com PP)	
		Un.	%	Un.	%
Uso de recursos naturais	% da menor massa na UF	1.260,0	100,00	1.273,2	101,05
Riscos a saúde (FISPQ)	Materiais maléficis na sua composição multiplicada pelos critérios de segurança	138,81	100,00	104,38	75,20
Efeito estufa	Diferença de % em eq. de CO ₂	701,5	100,00	788,3	112,38
Acidificação	Diferença de % em eq. de SO ₂	14,8	100,00	19,3	130,44
Toxicidade humana	Diferença de % em eq. de Tolueno	369,3	100,00	493,6	133,64
Consumo de Energia	kWh	542,1	100,00	13.172,0	2.429,62
Consumo de Água	m ³	731,5	100,00	926,9	126,71

Legenda: UF = Unidade Funcional

Observa-se então no Quadro 47, caso fosse desconsiderada a etapa de transportes, os valores referentes a efeito estufa, acidificação e toxicidade humana seriam menores no cenário com amianto, convergindo assim, com os valores encontrados na mesma comparação perante a técnica da ACV.

Deste modo, o Cenário 2 com amianto seria mais vantajoso ambientalmente em seis categorias, frente a apenas uma categoria, onde o Cenário 4 com polipropileno obteve índices menores.

Sendo assim, desconsiderando a etapa de transportes, verifica-se que o Cenário 2 com amianto seria mais vantajoso ambientalmente, se comparado com o Cenário 4 com polipropileno, evidenciando assim, a importância que a etapa de transportes teve na elaboração dos ciclos de vida.

6 CONCLUSÕES

Neste item foram feitas as considerações necessárias sobre o assunto abordado no trabalho, algumas proposições sobre os objetivos específicos atingidos e os resultados obtidos, além de sugestões para trabalhos futuros.

Como exposto inicialmente, o cenário da construção civil tem passado por inúmeras transformações, e nos últimos anos destaca-se a crescente demanda de construções.

Esta demanda significa que o país está crescendo em níveis de desenvolvimento, gerando empregos e moradia para a população, porém a consequência direta deste fato é o aumento nos níveis de geração de resíduos de construção.

Sabendo disto, o setor de construção percebeu que a melhor alternativa seria realizar um gerenciamento destes resíduos, a fim de minimizar o impacto de sua geração, através de incentivos a reciclabilidade dos mesmos.

Mas para atingir índices satisfatórios neste gerenciamento, seria preciso seguir alguns preceitos, tais como: segregar os resíduos na fonte geradora, coibir disposição de resíduos em locais irregulares e regulamentar o setor através de normas e leis que serviriam para fiscalizar os responsáveis.

Em parte, a ineficiência na segregação dos resíduos é provocada, conforme consenso da literatura, na baixa qualificação da mão-de-obra. Porém, apenas justificar tal fato como sendo o motivo principal, não favorece em nada na questão do gerenciamento de resíduos. Deveria-se incentivar a implantação de sistemas de melhoria contínua, através de treinamentos repassados aos funcionários, que buscam promover oportunidades de qualificação, a fim de que os trabalhadores percam velhos hábitos praticados, os quais prejudicam a eficiência do processo de gerenciamento de resíduos.

Além disto, no intuito de regular o setor foi instituída a Resolução CONAMA 307/2002, que além de propor como meta principal a redução dos impactos ambientais gerados na construção civil, ainda atribui responsabilidades aos geradores de resíduos por sua destinação final.

Por outro lado, a questão mais complicada no gerenciamento dos resíduos, diz respeito aos resíduos da classe D, classificados como contaminados ou perigosos. Por não ser suscetível a reciclagem, sua geração deve ser evitada ao máximo. Há ainda outro problema,

referente à disposição final destes resíduos, que devem ser feitas em aterros industriais, separados do restante dos resíduos não contaminados.

Um destes resíduos classificados como perigosos é o amianto. Presente em caixas d'água e telhas de fibrocimento, o amianto é um material extraído da natureza na forma de fibra. O manuseio destes produtos comercializados não implica em quaisquer riscos a saúde, porém estudos comprovam que os trabalhadores responsáveis pela extração do material bruto estão expostos a um risco inimaginável. Nestas minas, ao se inspirar o ar que contém fibras do material, tais fibras microscópicas ficam alojadas no pulmão dos trabalhadores. Com o passar dos anos, e mantendo-se exposto as fibras, percebeu-se que grande número dos trabalhadores contraíam determinadas doenças, entre elas câncer de pulmão.

Observando tais informações, a partir de 1983 diversos países de vanguarda passaram a banir a fabricação e comercialização do amianto em seus territórios. Fato parecido ocorreu no Brasil, quando entre 2001 e 2003 cinco estados sancionaram leis proibindo tais atividades em seus territórios. Porém, ainda no ano de 2003 o STF revogou todas as leis estaduais, sob a alegação de que esta decisão seria do órgão federal, mas até o presente momento não concluiu o julgamento.

6.1 PROPOSTA DE PESQUISA E RESULTADOS ATINGIDOS

O presente trabalho objetivou avaliar sob a perspectiva ambiental, os cenários de fabricação de telhas de fibrocimento com e sem amianto. Já foram pesquisados diversos materiais substitutos para o amianto, sendo a fibra de polipropileno o que mais se aproximou das características físicas e mecânicas do material original.

Desta forma, se propôs analisar o ciclo de vida de tais materiais, desde a etapa de fabricação das matérias primas, até o descarte final dos resíduos. Para se atingir este objetivo, utilizou-se a técnica da ACV, complementada pelo Levantamento de Aspectos e Impactos Ambientais, a fim de levar em consideração a periculosidade dos materiais, tópico principal em debate.

Assim, foram inseridas no escopo da análise, duas fabricantes nacionais de telhas: Eternit S. A. que utiliza amianto na fabricação e Brasilit, administrada pelo grupo Saint-Gobain do Brasil Ltda. que utiliza a fibra de polipropileno em substituição ao amianto, que serviram de balizadoras para os cenários abordados.

Para os cálculos realizados, se adotou um pallet de 60 telhas como a unidade funcional de comparação. Além disso, foram pesquisadas as composições das telhas, o local de extração das matérias primas, o local das fábricas, o processo de fabricação e as distâncias de transporte. O local da obra onde seriam utilizadas as telhas e de destinação final dos resíduos após o ciclo de vida foi adotado como sendo no município de Novo Hamburgo-RS, desta forma avaliou-se cada ciclo de fabricação.

Sendo assim, foram projetados 6 cenários de fabricação e uso das telhas de fibrocimento, sendo 3 cenários para cada tipo de fibra. Para cada cenário foram quantificadas as emissões atmosféricas mais significativas, dentre elas: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarbonetos (HC), nitratos (NO_x), sulfatos (SO_x), matéria particulada (MP). Além destas emissões, também foram obtidos os consumos de água e energia. Estes dados foram obtidos e calculados para todas as etapas do ciclo de vida, desde a extração das matérias-primas até a destinação final dos resíduos. Após estas quantificações, se utilizou alguns fatores de equivalência, para determinadas categorias de impacto, como por exemplo, o equivalente de CO₂, com o intuito de se verificar os potenciais causadores de efeito estufa, o equivalente de SO₂, para se quantificar os potenciais causadores de chuvas ácidas, e o equivalente de Tolueno, a fim de verificar a toxicidade humana das emissões.

Como resultado final, perante a técnica de Análise do Ciclo de Vida, os cenários sem amianto apresentaram melhores resultados em duas das três categorias. Apenas o cenário 5, com fabricação de telhas sem amianto em Ibiporã-PR, se mostrou menos atrativo sob a perspectiva ambiental. Disso, conclui-se que a etapa de transporte teve papel importante na elaboração dos cenários: locais de mineração das matérias-primas próximos aos locais de fabricação das telhas tendem a gerar menores impactos ambientais.

Com o intuito de agregar aos resultados obtidos na Análise do Ciclo de Vida, categorias que fazem referência a outros aspectos ambientais que não as emissões atmosféricas, optou-se por complementá-la com a técnica de Levantamento de Aspectos e Impactos Ambientais, que trouxe uma avaliação mais específica ao estudo.

Perante esta técnica, o melhor cenário de cada fibra na ACV foi selecionado para a avaliação qualitativa. Como resultado, verificou-se que o cenário sem amianto foi mais vantajoso ambientalmente em quatro categorias analisadas, frente a três categorias onde o cenário com amianto obteve índices melhores.

Com isto, consideradas as duas técnicas, sob a avaliação ambiental, verifica-se que os cenários de fabricação de telhas de fibrocimento sem amianto mostraram uma menor geração de emissões, porém com maior utilização de insumos (água e energia). Cabe salientar que, de todo ciclo de vida, os resultados mostraram uma maior geração de emissões nas etapas de transporte, portanto, ao se adotar valores de transportes menores, poderia-se encontrar cenários mais favoráveis.

Sendo assim, foram elaborados sob as duas técnicas, cenários sem a presença das etapas de transporte. Como resultado final, identificou-se que desconsiderando esta etapa, tanto na ACV quanto no Levantamento de Aspectos e Impactos Ambientais os cenários com amianto geraram menos impactos do que com as fibras de polipropileno em seis categorias das sete analisadas, evidenciando assim, a importância que a etapa de transportes teve na elaboração dos ciclos de vida.

Deste modo, pode-se considerar que os objetivos específicos foram atingidos, pois após a análise de diversos cenários de fabricação e uso de telhas de fibrocimento com e sem amianto, contendo todas as etapas do ciclo de vida dos materiais, conseguiu-se determinar o cenário de menor impacto ambiental dentre os avaliados. Este cenário foi o que produziu telhas de fibrocimento sem amianto, com sua fábrica localizada em Esteio-RS.

Finalmente, constatou-se que a metodologia adotada se mostrou adequada ao propósito do trabalho, pois não se limitou a avaliar a geração de emissões e o consumo de água e energia, mas também avaliou a utilização de recursos naturais não renováveis e a periculosidade dos materiais contidos na telha, foco principal dos trabalhos deste gênero.

6.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Chega-se ao fim da pesquisa ciente de que este trabalho é apenas parte de um conjunto de reflexões vinculadas aos estudos sobre gerenciamento de resíduos, que, assim como outros no mesmo campo, pretende colaborar para a avaliação ambiental da utilização de telhas com e sem amianto.

Sendo assim, as sugestões de trabalhos futuros nesta linha de pesquisa são as seguintes:

1. Estudos sobre a possibilidade de incorporação de outros tipos de fibras nas telhas,

2. Análise do processo de fabricação, que permita medir os valores unitários na etapa de fabricação das telhas e que possam confirmar os valores encontrados na literatura.
3. Inclusão de diferentes tipos de modal de transporte de materiais (ferrovias, hidrovias, etc), já que a etapa de transporte foi considerada das mais importantes na avaliação ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Emissões do Concreto**. 2012. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/industria-do-cimento-brasileira-e-a-mais-ecoeficiente-do-mundo>>. Acesso em: 14 ago. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7.581 Telha ondulada de fibrocimento**. Brasil, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14.001 Sistemas de Gestão Ambiental - Requisitos com Orientações para Uso**. Brasil, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15.210 Telha ondulada de fibrocimento sem amianto e seus acessórios**. Brasil, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14.040 Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Brasil, 2009a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14.044 Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e Orientações**. Brasil, 2009b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7.581 Telha ondulada de fibrocimento**. Brasil, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS EXPOSTOS AO AMIANTO - ABREA. **Panorama Mundial**. Brasil. Disponível em: <<http://www.abrea.org.br/07panorama.htm>>, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS EXPOSTOS AO AMIANTO - ABREA. **História do amianto**. Brasil. Disponível em: <<http://www.abrea.com.br/06historia.htm>>, 2013.

AGOPYAN, V. e JOHN, V. M. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. 144 f. São Paulo: Blücher, 2011.

ALMEIDA, F. J. T. Patologia se evita com qualificação de mão de Obra. **Especialize - IPOG**, p. 1–13, 2013.

ANGULO, S. C. et al. Desenvolvimento de novos mercados para a reciclagem massiva de RCD. In: Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, IBRACON. **Anais...** São Paulo, EPUSP. 2003.

BAKOSS, S. L. e RAVINDRARAJAH, R. S. **Recycled construction and demolition materials for use in roadworks and other local government activities**. 68 f. Sidney. University of Technology, Sidney. 1999.

BARBOZA, E. M. F. Rótulos ambientais e Análise do Ciclo de Vida (ACV). **Rotulagem Ambiental - IBICT**, p. 1–14, 2001.

BARRETO, A. P. L. et al. Ciclo de Vida de Produtos: Certificação e Rotulagem Ambiental. In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, 2007. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2007.

BELARDI, G. e PIGA, L. Thermochemica Acta Influence of calcium carbonate on the decomposition of asbestos contained in end-of-life products. **Thermochemica Acta**, v. 573, p. 220–228, 2013.

BERNARDES, A. et al. Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo, RS. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 3, p. 65–76, 2008.

BERNTSEN, T. et al. **Abatement of Greenhouse Gases: Does Location Matter?** In: CICERO - CENTER FOR INTERNATIONAL CLIMATE AND ENVIRONMENTAL RESEARCH (Ed.). Climatic Change. v. 74, p. 377–411. Oslo, Noruega, 2006.

BOER, J. DEN;; BOER, E. DEN e JAGER, J. LCA-IWM: a decision support tool for sustainability assessment of waste management systems. **Waste management**, v. 27, n. 8, p. 1032–45, 2007.

BOSSINK, B. A. G. e BROUWERS, H. J. H. Construction waste: quantification and source evaluation. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 122, p. 55–60, 1996.

BRASIL. **Lei Nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>, Acesso em: 13 fev. 2013.

BRASILIT. **Amianto**. Disponível em: <<http://www.brasilit.com.br/meio-ambiente/amianto.php>>. Acesso em: 10 fev. 2013. 2013a.

BRASILIT. **Telhas de Fibrocimento Onduladas**. Disponível em: <<http://www.brasilit.com.br/produtos/telhas-onduladas/ondulada.php>>. Acesso em: 4 abr. 2013. 2013b.

BRONSTRUP, M. E. **Diretrizes para implantação de um sistema de gerenciamento de resíduos de construção e demolição para o município de Gramado-RS**. 2010. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo. 2010.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. 2007. 280 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2007.

CAPELLO, G. Entulho vira Matéria Prima: Agregados reciclados Chegam aos Canteiros das Construtoras, Adquiridos de Empresas Especializadas ou Geradas na Própria Obra. **Techné**, n. 112, p. 32–35, 2006.

CARELI, E. D. **A resolução CONAMA n. 307/2002 e as novas condições para a gestão dos resíduos de construção e demolição.** 2008. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. São Paulo. 2008.

CARVALHO, C. V. **Amianto.** Câmara Federal dos Deputados, Brasília, 94 f. 2009.

CASTRO, H. et al. **A saúde e as condições de trabalho dos trabalhadores expostos ao amianto de uma indústria têxtil no Rio de Janeiro: Análise e Intervenções da Realidade.** CESTE/ENSP. São Paulo. 1999.

CASTRO, H. A. Aspectos sobre a produção de Amianto, Exposição e Vigilância dos Trabalhadores Expostos ao Amianto. **Ciência e Trabalho**, v. 10, n. 27, p. 11–17, 2008.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG. **Inventário de Gases de Efeito Estufa - 2012.** Belo Horizonte. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/mudancas_climaticas/Documents/relat%C3%93rio_invent%C3%81rio_cemig_-_2012_-_portugu%C3%8as_-_final_-_08_05_2013.pdf>, Acesso em: 24 set. 2013.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Ínventário de Emissões das Fontes Estacionárias do Estado de São Paulo.** São Paulo, 2009. Disponível em: <http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/inventariofontes/Manual_de_Preenchimento.pdf>, Acesso em: 19 out. 2013.

CHA, H. S.; KIM, J. e HAN, J. Identifying and Assessing Influence Factors on Improving Waste Management Performance for Building Construction Projects. **JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT**, v. 135, n. 7, p. 647–656, 2009.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000.** 104 f. Rio de Janeiro. Qualitymark. 1998.

CHEN, C. et al. On-road emission characteristics of heavy-duty diesel vehicles in Shanghai. **Atmospheric Environment**, v. 41, n. 26, p. 5334–5344, 2007.

CHINA, Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. **Vehicle Emission Control Annual Report.** 2010. Pequim, Disponível em: <http://www.vecc-mep.org.cn/news/e_home_gg/2010engreport.pdf>, Acesso em: 10 mar. 2013.

CLAUDINO, E. S. e TALAMINI, E. Análise do Ciclo de Vida (ACV) aplicada ao agronegócio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 77–85, 2013.

COELHO, A. e BRITO, J. DE. Distribution of materials in construction and demolition waste in Portugal. **Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA**, v. 29, n. 8, p. 843–853, 2011.

COMISSÃO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Dossiê.** Brasil, Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/18018FE8/Dossiê_Amianto_Brasil_2010.pdf>, Acesso em: 19 fev. 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama n° 5 de 15 de Junho de 1989**. 1989. Brasil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res89/res0589.html>>, Acesso em: 21 jul. 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama n° 3 de 28 de Junho de 1990**. 1990a. Brasil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>>, Acesso em: 21 jul. 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama n° 8 de 6 de Dezembro de 1990**. 1990b. Brasil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0890.html>>, Acesso em: 21 jul. 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama n° 307 de 5 de Julho de 2002**. 2002. Brasil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>, Acesso em: 23 out. 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama n° 348 de 17 de Agosto de 2004**. 2004. Brasil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res04/res34804.xml>>, Acesso em: 27 out. 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama n° 431 de 24 de Maio de 2011**. 2011. Brasil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/res4312011>>, Acesso em: 29 out. 2012.

COSTA, G. C. F. **Uma Avaliação do Consumo de Energia com Transportes em Cidades do Estado de São Paulo**. 2001. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). USP, São Paulo. 2001.

CUÉLLAR-NETO, J. O. **Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos**. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pósgraduação em Engenharia de Produção, Santa Maria, 2002.

CYBIS, L. F. e SANTOS, C. V. J. Dos. Análise do Ciclo de Vida (ACV) Aplicada à Indústria da Construção Civil - Estudo de Caso. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** Rio de Janeiro, Brasil, 2000.

DANETO. **Ficha Técnica de Segurança do Produto Químico - FISPQ (Sílica)**. 2006. Disponível em: <http://www.daneto.com.br/components/com_pedidos/docs/Slica%20Gel.pdf>, Acesso em: 20 ago. 2013.

DIAS, C. M. R. et al. Envelhecimento de longo prazo de telhas onduladas de fibrocimento - O efeito da carbonatação, lixiviação e chuva ácida. **Cement and Concrete Composites**, v. 30, n. 4, p. 255–265, 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. **Boletim Informativo do Amianto**. 2007. Brasil. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=1948>, Acesso em: 20 mai. 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. **Sumário Mineral 2009**. 2010. v. 29. Brasil. Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=4544>, Acesso em: 25 mai. 2013.

DORSTHORST, B. J. H. e HENDRIKS, C. F. Re-use of construction and demolition waste in the EU. In: CIB Symposium in Construction and Environment: Theory Into Practice. São Paulo, 2000. **Anais...** São Paulo, EPUSP. 2000.

ECEN. Avaliação das Emissões em Veículos Pesados. **Economia e Energia**. 2001. Disponível em: <<http://www.ecen.com/matriz/eee25/veiculp5.htm>>. Acesso em: 10 jul. 2013.

EMFAL. **Ficha Técnica de Segurança do Produto Químico - FISPQ (Polietileno)**. 2007. Disponível em: <http://www.emfal.com.br/alcool/_ArquivoProdutos/59070.pdf>, Acesso em: 21 ago. 2013.

ESTADO DE SÃO PAULO. **Lei nº 10.813, de 24 de Maio de 2001**. Brasil, 2001. Disponível em: <<http://governo-sp.jusbrasil.com.br/legislacao/133646/lei-10813-01>>, Acesso em: 21 fev. 2013.

ESTADO DO MATO GROSSO DO SUL. **Lei nº 2.210, de 08 de Janeiro de 2001**. Brasil, 2001. Disponível em: <<http://www.inteligenciaambiental.com.br/sila/pdf/eleilegms2210-01.pdf>>, Acesso em: 22 fev. 2013.

ESTADO DO PERNAMBUCO. **Lei nº 12.589, de 26 de Maio de 2004**. Brasil, 2004. Disponível em: <<http://legis.alepe.pe.gov.br/arquivoTexto.aspx?tiponorma=1&numero=12589&complemento=0&ano=2004&tipo=>>>, Acesso em: 22 fev. 2013.

ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Lei nº 3579, de 07 de Junho de 2001**. Brasil, 2001. Disponível em: <<http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/CONTLEI.NSF/c8aa0900025feef6032564ec0060dfff/fb3bff663634f12103256a6a004681ad?OpenDocument&Highlight=0,3579>>, Acesso em: 21 fev. 2013.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Lei nº 11.643, de 21 de Junho de 2001**. Brasil, 2001. Disponível em: <<http://www.mprs.mp.br/ambiente/legislacao/id4722.htm>>, Acesso em: 21 fev. 2013.

ETERNIT. **PEDIDO - Informações sobre produção**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <vini1309@gmail.com> em 19 dez. 2013.

FAUSTINO, F. **Os prós e contras do uso do amianto no Brasil**. 2012. Disponível em: <<http://rmai.com.br/v4/Read/1139/os-pros-e-contras-do-uso-do-amianto-no-brasil.aspx>>. Acesso em: 10 ago. 2013.

FENDRICH, M. **Inventário do ciclo de vida de uma empresa fabricante de polipropileno: estudo de caso**. 2008. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção). Universidade Regional de Blumenau, Blumenau. 2008.

FERRER, J. e MARTÍNEZ, C. Diagnosis of Respiratory Diseases Caused by Asbestos. **Arch Bronconeumol**, v. 44, n. 4, p. 177–179, 2008.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - FIESP. **O papel dos produtos de amianto na cadeia da construção civil - Dimensão Econômica e Efeitos Concorrenciais**. 2009. São Paulo. Disponível em: <<http://az545403.vo.msecnd.net/uploads/2012/05/caderno-do-amianto.pdf>>, Acesso em: 15 jul. 2013.

FINNVEDEN, G. et al. Recent developments in Life Cycle Assessment. **Journal of environmental management**, v. 91, n. 1, p. 1–21, 2009.

FORSTER, P. et al. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: SOLOMON, S. et al. (Org.). **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. cap. 2, p. 129-234.

FRANCO, V. et al. Road vehicle emission factors development: A review. **Atmospheric Environment**, v. 70, p. 84–97, 2013.

FRAZÃO, R. e FERNANDES, R. **Análise Comparativa do Ciclo de Vida de Fibro cimento AT e Fibrocimento NT**. Estudo INETI, Portugal. 2004. Disponível em: <http://www.crisotilabrasil.org.br/site/pesquisas/_pdf/Analise_ciclo_vida.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2013.

GALIVAN, L. E. e BERNOLD, R. M. Source evaluation of Solid Waste in Building Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 120, p. 536–552, 1994.

GAZZONI, D. L. **Balanco de emissões de CO2 por biocombustíveis no Brasil: histórico e perspectivas**. Londrina: Embrapa Soja – Ministério da Agricultura, 2012. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/download/Doc_334_OL.pdf>, Acesso em: 23 set. 2013.

GHK. **Annex 5 Environmental Impacts Characterisation Factors Analysed - A Study to Examine the Benefits of the End of Life Vehicles Directive and the Costs and Benefits of a Revision of the 2015 Targets for Recycling , Re-Use and Recovery Under the ELV Directive - Final Report to DG Environment**. Birmingham, 2006. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/study/final_report.pdf> Acesso em: 9 out. 2013.

HAUSBERGER, M. R. S. et al. **Heavy duty vehicle emissions Final Report. Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems**. Relatório Técnico. Graz, Áustria, 2005. Disponível em: <http://www.inrets.fr/ur/te/publi-autresactions/fichesresultats/ficheartemis/road3/modelling33/Artemis_del4_HDV.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2013.

HEI-AR, Health Effects Institute-Asbestos Research. **Asbestos in Public and Commercial Buildings**. Relatório Técnico. Cambridge, 1991. Disponível em: <<http://pubs.healtheffects.org/view.php?id=13>>. Acesso em: 21 jun. 2013.

HERTWICH, E. G. et al. **An Update of the Human Toxicity Potential With Special Consideration of Conventional Air Pollutants**. Trondheim, Noruega, 2006. Disponível em: <<http://ntnu.diva-portal.org/smash/get/diva2:121810/FULLTEXT01.pdf>>. Acesso em: 11 dez. 2013.

HOSSEINPOURPIA, R. et al. Production of waste bio-fiber cement-based composites reinforced with nano-SiO₂ particles as a substitute for asbestos cement composites. **Construction and Building Materials**, v. 31, p. 105–111, 2012.

HUET, H. **Propriedades do Amianto**. 2012. Disponível em: <<http://www.fuguitang.com/propriedades-de-amianto.html>>. Acesso em: 10 ago. 2013.

HURLEY, J. W. Valuing the Pre-Demolition Audit Process. In: 11th Rinker International Conference. Gainesville, 2003. **Anais...** Gainesville, University of Florida, 2003. Disponível em: <http://www.iip.kit.edu/downloads/CIB_Publication_287.pdf>, Acesso em: 13 mai 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO/TS 14.048 Environmental management -- Life cycle assessment -- Data documentation format**. 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO/TR 14.047 Environmental management -- Life cycle assessment -- Illustrative examples on how to apply ISO 14044 to impact assessment situations.**, 2012a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO/TR 14.049 Environmental management -- Life cycle assessment -- Illustrative examples on how to apply ISO 14044 to goal and scope definition and inventory analysis.**, 2012b.

JORGENSEN, K. R.; VILLANUEVA, A. e WENZEL, H. Use of life cycle assessment as decision-support tool for water reuse and handling of residues at a Danish industrial laundry. **Waste Management & Research**, v. 22, n. 5, p. 334–345, 2004.

KAZMIERCZAK, C. de S.; KULAKOWSKI, M. P. e WERLE, A. P. Carbonatação em concretos com agregados reciclados de concreto. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 2, p. 213–228, 2011.

LABSYNTH. **Ficha Técnica de Segurança do Produto Químico - FISPQ (Carbonato de cálcio)**. 2009. Disponível em: <<http://www.fca.unicamp.br/portal/images/Documentos/FISPQs/FISPQ-%20Carbonato%20de%20Calcio.pdf>>, Acesso em: 21 ago. 2013.

LANDRIGAN, P. J. Health and environmental consequences of the WTC disaster. **Environmental Health-Perspective**, v. 121, p. 731–739, 2004.

LEWANDOWSKA, A. Environmental life cycle assessment as a tool for identification and assessment of environmental aspects in environmental management systems (EMS) part 1: methodology. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 16, n. 2, p. 178–186, 2011.

LIMA, A. M. F. **Avaliação do ciclo de vida no Brasil – Inserção e perspectivas**. 2007. 116 f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo Universidade Federal da Bahia. Salvador. 2007.

LIMA, A. R. D. E. **Avaliação das conseqüências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas**. 2010. 129 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo. São Paulo. 2010.

MADLOOL, N. a. et al. A critical review on energy use and savings in the cement industries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 4, p. 2042–2060, 2011.

MALMQVIST, T. et al. Life cycle assessment in buildings: The ENSLIC simplified method and guidelines. **Energy**, v. 36, n. 4, p. 1900–1907, 2011.

MANCIO, M. **Incorporação de Subprodutos Industriais na Construção Civil**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, São Leopoldo, 2012.

MCDONOUGH, W.;; BRAUNGART, M. e BOLLINGER, A. Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 13-14, p. 1337–1348, 2007.

MIRANDA, L. F. R.;; ANGULO, S. C. e CARELI, E. D. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Revista Ambiente Construído**, v. 9, p. 57–71, 2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Amianto**. 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>, Acesso em: 27 out. 2013.

MORAES, C. A. M. et al. Life cycle analysis (LCA) for the incorporation of rice husk ash in mortar coating. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 12, p. 1170–1176, 2010.

MORALES, G; MENDES, T.; ANGULO, S.C. Índices de geração de RCD provenientes de obras de construção, reforma e demolição na cidade de Londrina/PR. In: II Congresso Internacional na Recuperação, Manutenção e Restauração de Edificações, 2006, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro. 2006.

MINISTÉRIO DA SAÚDE - MS. **Amianto**. 2009. Disponível em: <http://portalsaude.saude.gov.br/portal_saude/>, Acesso em: 26 out. 2013.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO – MTE. **Amianto**. 2008. Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br/portal-mte/>>, Acesso em: 26 out. 2013.

NASCIMENTO, M. D. do. **Otimização do Uso de Lenha e Cavaco de Madeira para Produção de Energia em Agroindústria Seropédica**. 2007. 103 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista Julio De Mesquita Filho, Botucatu. 2007.

NEWPARK. **Ficha Técnica de Segurança do Produto Químico - FISPQ (Anti-espumante)**. 2013. Disponível em: <http://licenciamento.ibama.gov.br/Petroleo/Processo%20de%20fluidos%20de%20perfuracao%20e%20complementares/Petrobras%20022_002330-08/FISPQ_rev_0/ANTIESPUMANTE%20COM%20SILICONE_Newpark.pdf>, Acesso em: 21 ago. 2013.

NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health. **Appendix C - Supplementary Exposure Limits**. 2009. United States. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh/npg/nengapdx.html>>, Acesso em: 21 fev. 2013.

NOGUEIRA, A. R. Impactos ambientais e o ciclo de vida de produtos: da extração de recursos até a destinação final dos resíduos sólidos. In: 5º SEMINÁRIO EM ESTUDOS DE IMPACTOS AMBIENTAIS. **Anais...** Ilhéus, 2012.

NOGUEIRA, J.; PALMA, R. S. e ARMANDO, C. **Integração do Enfoque de Insumo-Produto na Avaliação de Ciclo de Vida: Estado da arte e perspectivas para a economia ambiental**. In: Desenvolvimento de Uma Infra-Estrutura de Informação Para Uma Disseminação Efetiva Do “Pensamento Ciclo De Vida” Na Indústria Brasileira. PCI/IBICT. 2009.

O’CONNOR, J. et al. **LCA in Construction: Status , Impact , and Limitations**. Relatório Técnico. Athena Sustainable Materials Institute. 2012.

OLIVEIRA, M. E. D. De et al. Diagnóstico da geração e da composição dos RCD de Fortaleza / CE. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 16, p. 219–224, 2011.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE - OMS. **Environmental Health Criteria 203**. 1998. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc203.htm>>, Acesso em: 28 mar. 2013.

PAN-AMERICANA. **Ficha Técnica de Segurança do Produto Químico - FISPQ (Floculante)**. 2005. Disponível em: <<http://www.panamericana.com.br/panamericana/uploads/fispqs/SC/FISPQ%20-%20ALUPAN%20K.pdf>>, Acesso em: 21 ago. 2013.

PASQUALI, I. S. R. **Acv em auxílio ao gerenciamento ambiental dos resíduos sólidos de construção e demolição civil de santa maria/RS**. 2005. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade de Santa Maria. Santa Maria. 2005.

PETO, J. et al. The European Mesothelioma Epidemic. **British Journal Cancer**, v. 79, p. 666–672, 1999.

PETROBRAS. **Densidade e Poderes Caloríficos Superiores**. 2013. Disponível em: <<http://www.investidorpetrobras.com.br/pt/servicos/formulas-de-conversao/detalhe-formulas-de-conversao/densidade-e-poderes-calorificos-superiores.htm>>. Acesso em: 16 out. 2013.

PEUPORTIER, B.; THIERS, S. e GUIAVARCH, A. Eco-design of buildings using thermal simulation and life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 39, p. 73–78, 2013.

PINTO, T. de P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica. São Paulo. 1999.

PYE, A. M. A review of asbestos substitute materials in industrial applications. **Journal of Hazardous Materials**, v. 3, p. 125–147, 1979.

QUEIROGA, N. C. **Crisotila- Amianto**. Brasil, 2005. In: DNPM. Sumário Mineral 2005. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=536>, Acesso em: 25 fev. 2013.

QUEIROGA, N. C. **Crisotila - Amianto**. Brasil, 2006. In: Sumário Mineral 2006. Brasil. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=1006>, Acesso em 26 fev. 2013.

QUEIROGA, N. C. **Crisotila - Amianto**. Brasil, 2007. In: Sumário Mineral 2007. Brasil. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=1063>>, Acesso em: 26 fev. 2013.

QUEIROGA, N. C. **Sumário Mineral do DNPM sobre Crisotila**. Relatório técnico. Brasil, 2008. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/SumarioMineral2008/Crisotila.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2013

REBITZER, G. et al. Life cycle assessment part 1: framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. **Environment international**, v. 30, n. 5, p. 701–720, 2004.

REIXACH, F. M.; CUSCO, A. S. e BARROSO, J. M. G. **Situación actual y perspectivas de futuro de los residuos de la construcción**. 2000. 42 f. Relatório Técnico. Instituto de Tecnologia da Construção da Catalunha (ITEC). Barcelona. Disponível em: <http://www.itec.es/servicios/librospdf/pdfs/Proyecto%20Life.%20Situaci%C3%B3n%20actual%20y%20perspectivas%20de%20futuro%20de%20los%20residuos%20de%20la%20construcci%C3%B3n_ITeC_2000.pdf>, Acesso em: 25 mai. 2013.

RIBEIRO, C. M.; GIANNETTI, B. F. e ALMEIDA, C. M. V. B. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): Uma Ferramenta Importante da Ecologia Industrial. **Ecologia Industrial**, p. 1–10, 2011. Disponível em: <<http://www.hottopos.com/regeq12/art4.htm>>, Acesso em: 27 jun. 2013.

RIBEIRO, F. de M. **Análise de Ciclo de Vida de Energia**. Relatório Técnico. CETESB. São Paulo, 2004.

RIVES, J.; RIERADEVALL, J. e GABARRELL, X. LCA comparison of container systems in municipal solid waste management. **Waste management**, v. 30, n. 6, p. 949–57, 2010.

ROCHA, Z. **Representação ao Ministério Público Estadual da Bahia, contra SAMA, MMA e MME, com pedido de ação liminar para recuperação da área degradada pela SAMA**. Salvador, 2003.

SCLIAR, C. Amianto, mineral mágico ou maldito? **Ecologia humana e disputa político-econômica**, 152 f. Belo Horizonte: Ed. Belo Horizonte. 1998.

SGA. **Procedimento de Identificação e Avaliação de Aspectos e Impactos Ambientais - P-01**. São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2013.

SHARMA, A. et al. Life cycle assessment of buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 1, p. 871–875, 2011.

SHI, Q. et al. Identifying the critical factors for green construction e An empirical study in China. **Habitat International**, v. 40, p. 1–8, 2013.

SILVA, A. L. G. Da e ETULAIN, C. **Avaliação do Impacto Econômico da Proibição do Uso do Amianto na Construção Civil no Brasil**. Relatório Técnico. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010. Disponível em: <<http://inverde.files.wordpress.com/2010/10/estudo-unicamp-impacto-economico-da-proibicao-do-amianto.pdf>>, Acesso em: 21 abr. 2013.

SOUZA, U. E. L. Diagnóstico e Combate à Geração de Resíduos na Produção de Obras de Construção de Edifícios: uma Abordagem Progressiva. **Revista Ambiente Construído**, v. 4, p. 33–46, 2004.

STANIŠKIS, J. K. e MILIŪTĖ, J. **Municipal Waste Management System Based On Life - Cycle Assessment**. 2010. 6 f. Kaunas University of Technology. Lituânia. Disponível em: <http://www.iswa.org/uploads/tx_iswaknowledgebase/4-179paper_long.pdf>, Acesso em: 16 abr. 2013.

STRAIF, K. et al. A Review of Human Carcinogens - Part C: Metals, Arsenic, Dusts, and Fibres. **The Lancet Oncology**, v. 10, n. 5, p. 453–454, 2009.

SUH, S. e HUPPES, G. Methods for Life Cycle Inventory of a Product. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, n. 7, p. 687–697, 2005.

TERRA FILHO, M. e BAGATIN, E. **Exposição Ambiental ao Asbesto: Avaliação do Risco e Efeitos na Saúde**. 2010. 176 f. Relatório Técnico. São Paulo.

TESSARO, A. B.;; SÁ, J. S. De e SCREMIN, L. B. Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. **Ambiente Construído**, v. 2, n. 2, p. 121–130, 2012.

TOSTA, L. I.; SOUZA, A. C. De e SILVA, R. J. Da. Gestão da Energia na Produção de Cimento Portland com Uso de Mineralizadores e Combustíveis Alternativos. In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2007.

TSENG, S. e HUNG, S. A Framework Identifying the Gaps Between Customers ' Expectations and Their Perceptions in Green Products. **Journal of Cleaner Production**, v. 59, p. 174–184, 2013.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Report on the Peer Consultation Workshop to Discuss a Proposed Protocol to Assess Asbestos-Related Risk**. 2003. 73 f. Washington. Disponível em: <http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/asbestos/pdfs/asbestos_report.pdf>, Acesso em: 29 mai. 2013.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Response to 2005 Hurricanes - Asbestos Screening Level - More Details**. 2005. 2 f. Washington. Disponível em: <<http://www.epa.gov/air/katrina/asbestos.html>>, Acesso em: 31 mai. 2013.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Estimating 2003 Building-Related - Construction and Demolition Materials Amounts**. 2009. 60 f.

Washington. Disponível em: <<http://www.epa.gov/epawaste/conserva/imr/cdm/pubs/cd-meas.pdf>>, Acesso em: 01 jun. 2013.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS. **Mineral Commodity Summaries 2008**. 2008. 202 f. Washington. Disponível em: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2008/mcs2008.pdf>>, Acesso em: 14 jun. 2013.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS. **Mineral Commodity Summaries 2013**. 2013. 201 f. Washington. Disponível em: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2013/mcs2013.pdf>>, Acesso em: 15 jun. 2013.

VAZ FILHO, P. e CORDEIRO, J. S. Construction Solid Waste and Urban Drainage a Problem to be Solved. In: Symposium in Construction and Environment: Theory into Practice. São Paulo, 2000. **Anais...** São Paulo, EPUSP. 2000.

VAZQUEZ, E. Aplicación de Nuevos Materiales Reciclados en la Construcción Civil. In: Seminário de Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - IBRACON. São Paulo, 2001. p. 11-21. **Anais...** São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://repositorio.furg.br:8080/bitstream/handle/1/1645/Anais%20Comite%20CT%20206%20%20IV%20-%20semin%20C3%A1rio.pdf>>, Acesso: 19 mar. 2013.

VCIMENTOS. **Votorantim Cimentos**. 2012. Disponível em: <<http://www.vcimentos.com.br/htms-ptb/Responsabilidade/MonitoramentoEmissoes.htm>>. Acesso em: 14 ago. 2013.

VETEC. **Ficha Técnica de Segurança do Produto Químico - FISPQ (Celulose)**. 2005. Disponível em: <<http://downloads.labsynth.com.br/FISPQ/rv2012/FISPQ-%20Celulose%20Microcristalina.pdf>>, Acesso em: 22 ago. 2013.

VIEIRA, G. L. **Estudo do Processo de Corrosão sob a Ação de Íons Cloreto em Concretos Obtidos a Partir de Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição**. 2003. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). UFRGS. 2003.

VILLORIA SÁEZ, P.; RÍO MERINO, M. DEL e PORRAS-AMORES, C. Estimation of Construction and Demolition Waste Volume Generation in New Residential Buildings in Spain. **Waste Management & Research: the Journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA**, v. 30, n. 2, p. 137–146, 2012.

VOTORANTIM. **Ficha Técnica de Segurança do Produto Químico - FISPQ (Cimento)**. 2009. Disponível em: <<http://www.vcimentos.com.br/extras/pdf/CIMENTO.pdf>>, Acesso em: 22 ago. 2013.

WUNSCH-FILHO, V.; NEVES, H. e MONCAU, J. E. Amianto no Brasil - Conflitos Científicos e Econômicos. **Revista da Associação Médica Brasileira**, v. 47, n. 3, p. 259–271, 2001.

ZORDAN, S. E. **Entulho da Indústria da Construção Civil**. 2000. Ficha Técnica. São Paulo. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/artigos1.htm>>, Acesso em: 12 mar. 2013.