

**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA**  
**CAMPUS SANTA BARBARA D'OESTE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**PROPOSIÇÃO DE UM MODELO PARA A AVALIAÇÃO DO CICLO DE  
VIDA DOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS**

**Eduardo Francisco Simon Ciaco**

**Orientador: Prof. Dr. Aparecido dos Reis Coutinho**

**Santa Bárbara d'Oeste,  
Junho de 2019**

**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA**  
**CAMPUS SANTA BARBARA D'OESTE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**PROPOSIÇÃO DE UM MODELO PARA A AVALIAÇÃO DO CICLO DE  
VIDA OS REVESTIMENTOS CERÂMICOS**

**Eduardo Francisco Simon Ciaco**

**Orientador: Prof. Dr. Aparecido dos Reis Coutinho**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

**Santa Bárbara d'Oeste,  
Junho de 2019**

# **PROPOSIÇÃO DE UM MODELO PARA A AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS**

**Eduardo Francisco Simon Ciaco**

---

Prof. Dr. Aparecido dos Reis Coutinho  
PPGEP - UNIMEP

---

Prof. Dr. Fernando Celso de Campos  
PPGEP - UNIMEP

---

Prof. Dr. Milton Vieira Junior  
PPGEP - UNIMEP

---

Prof. Dr. Antonio Carlos Pacagnella Junior  
Faculdades de Ciências Aplicadas - Unicamp

---

Prof. Dr. Olimpio Gomes da Silva Neto  
Instituto Federal do Sul de Minas de Gerais

*Para João Batista Ciaco Neto e Sirlei Simon Ciaco, meus pais, pelo incentivo, exemplo e formação que me ofereceram. A Ana Carla Carneiro Ciaco, minha esposa e amiga, pela compreensão nas horas de ansiedade, incentivo nas horas de desânimo e alegria nas horas de comemoração.*

## **Agradeço**

*ao mestre Aparecido dos Reis Coutinho pela motivação e orientação no percurso desta jornada, me tratando como um filho nos momentos em que mais precisei, ao amigo José Acácio Rissardi que abriu as portas da indústria para que o estudo pudesse ser realizado, ao sempre prestativo Jarbas Ruiz Albano pelas horas e paciência dispensadas ao me acompanhar nos trabalhos de campo, ao professor Francisco de Assis Bertini Moraes, ao amigo Pedro Henrique Mota e ao amigo fraterno João Batista Simon Ciaco pelas sugestões que deram qualidade e significado ao trabalho, ao companheiro Jean Azarias com quem dividi longas horas de estrada em busca do conhecimento.*

## Resumo

Nas últimas décadas, tem sido dada maior ênfase à preservação do meio ambiente e dos recursos naturais, seja no âmbito doméstico, comercial ou industrial. No âmbito industrial, a preservação ambiental tem caminhado em busca de uma produção mais limpa (P+L) quanto à substituição de insumos não renováveis pelos renováveis, assim como ao consumo de energias provenientes de fontes renováveis, e utilização de processos e equipamentos que consumam menos insumos e produzam menores quantidades de resíduos. A indústria da construção civil é caracterizada por ser uma das maiores consumidoras de recursos naturais e, ao mesmo tempo, grande geradora de resíduos, de modo que não pode se abster da busca pela produção sustentável. Nesse contexto, o presente trabalho compreende o estudo da indústria da construção civil, por meio do processo produtivo de um de seus insumos: o revestimento cerâmico (RC). Foi utilizada uma ferramenta para a mensuração do impacto ambiental gerado nas diversas etapas do processo produtivo: a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que permite avaliar os impactos ambientais associados a um produto em todas as fases de vida. Este trabalho consiste de um estudo de caso em uma indústria do revestimento cerâmico e tem por objetivo propor um modelo de ACV para o RC tipo pastilha de porcelana. Para atingir este objetivo, foi elaborado um referencial teórico sobre ACV, sustentabilidade, uso da energia, produção do RC, ciclo do carbono. A partir deste embasamento teórico foi feita a pesquisa de campo em uma indústria cerâmica no interior do estado de São Paulo, que permitiu atuar diretamente no processo produtivo para o levantamento de dados do consumo de materiais e de energia envolvidos nas diversas etapas do processo, bem como os resíduos lançados na natureza. Como resultados, o estudo apontou que para produção de 1,00 m<sup>2</sup> de RC são empregados 34,24 KWh de energia (elétrica e térmica) e um consumo de 20,67 Kg de matérias-primas, emitindo 9,10 Kg de resíduos (gasosos, sólidos e líquidos) na natureza, com destaque para o lançamento de 7,35 Kg de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

**Palavras-chave:** Avaliação do Ciclo de Vida, ACV, Revestimento Cerâmico, Pastilha de Porcelana, Energia, Produção Limpa, Sequestro de CO<sub>2</sub>.

## **Abstract**

In recent decades, greater emphasis has been given to the preservation of the environment and natural resources, whether be it domestic, commercial or industrial. In the industrial sphere, environmental preservation has been pursuing a cleaner production (CP) regarding the substitution of non-renewable inputs by renewable ones, as well as the consumption of energy from renewable sources, and the use of processes and equipment consuming fewer inputs and producing smaller amounts of waste. The construction industry is characterized by being one of the largest consumers of natural resources and, at the same time, a major generator of waste so that it can not refrain itself from seeking more sustainable production. Within this context, the present work comprises the study of the civil construction industry, throughout the production process of one of its inputs: the ceramic tile (CT). A tool was used to measure the environmental impact generated in the various stages of the production process: the Life Cycle Assessment (LCA), which allows checking the environmental impacts associated to a product in all phases of its life cycle. This work consists of a case study in a ceramic tile industry and aims to propose a model of ACV for the porcelain chip type CT. To meet this goal, a theoretical framework has been developed on LCA, sustainability, energy use, CR production, and the carbon cycle. Based on this theoretical basis, the field research was carried out in a ceramic industry of the state of São Paulo, which allowed to act directly in the production process to collect data on the consumption of materials and energy involved in the various stages of the process, as well as waste released in the nature. As a result, the study pointed out that for the production of 1.00 m<sup>2</sup> of CT it was required 34.24 kWh of energy (electric and thermal) and a consumption of 20.67 kg of raw materials, emitting 9.10 kg of waste (gaseous, solid and liquid) in the nature, highlighting the launch of 7.35 kg of CO<sub>2</sub> in the atmosphere.

**Keywords:** Life Cycle Assessment, ACV, Ceramic Tile, Porcelain Chip, Energy, Clean Production, CO<sub>2</sub> Capture.

## Sumário

Lista de Siglas	i
Lista de Figuras	ii
Lista de Tabelas	iv
Lista de Quadros	v
1 Introdução	1
1.1 Justificativa do Trabalho	3
1.2 Problemas de Pesquisa	4
1.3 Objetivo	5
1.4 Estrutura do Trabalho	5
2 Revisão de literatura científica	8
2.1 Indústria cerâmica	8
2.2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)	20
2.3 A Energia e seu uso na Indústria	47
2.4 O Carbono e a humanidade	52
2.5 Síntese da revisão de literatura científica	62
3 Método de Pesquisa	64
3.1 Revisão da Literatura	64
3.2 Estudo de Caso: levantamento de campo	65
3.3 Escolha da indústria	67
3.4 Descrição da indústria	67
3.5 Compilação dos dados providos da revisão de literatura e dos dados obtidos nos levantamentos de campo	69
4 Resultados	71
4.1 Balanço energético dos processos de fabricação do RC	72
4.2 Compilação dos dados do balanço de energia da produção do RC	81



4.3 Balanço de massa dos processos de fabricação RC	85
4.4 Compilação do balanço de massa	92
4.5 Fluxograma do processo contendo os consumos de energia e de massa individuais	95
4.6 Emissões de CO <sub>2</sub> na produção de RC	98
4.7 Análise Comparativa	103
4.8 Resumo geral de consumos e emissões na produção do RC tipo pastilha de porcelana	110
4.9 Modelo de ACV do RC tipo pastilha de porcelana	110
5 Conclusão	115
5.1 Proposta para trabalhos futuros	117
Referências Bibliográficas	118
Apêndice A – Análise bibliométrica	131

## Lista de Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ANFACER	Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres
ANICER	Associação Nacional da Indústria Cerâmica
BEN	Balanco Energético Nacional
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CILCA	Conferência Internacional de Avaliação de Ciclo de Vida
CMMAD	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CP	<i>Cleaner Production</i>
CT	<i>Ceramic Tiles</i>
CTVC	Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro
DS	Desenvolvimento Sustentável
EIA	<i>Energy Information Administration</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GANNA	Grupo de Apoio à Normalização Ambiental
GEE	Gases de Efeito Estufa
GN	Gás Natural
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ISSO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITAL	Instituto de Tecnologia de Alimentos
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
MP	Matéria Prima
NBR	Norma Brasileira
P+L	Produção Mais Limpa
PIB	Produto Interno Bruto
PVC	Poli Cloreto de Vinila
RC	Revestimento Cerâmico
SETAC	<i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
SIMPEP	Simpósio de Engenharia de Produção
TBL	<i>Triple Bottom Line</i>
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
VS	Via Seca
VU	Via Úmida

## Lista de Figuras

Figura 1:	Diagrama simplificado das etapas do presente trabalho	7
Figura 2:	Diagrama dos processos de fabricação de RC: VU e VS	11
Figura 3:	Evolução da produção de RC no Brasil, entre os anos 2006 – 2016	18
Figura 4:	Evolução da produção de RC pelos principais produtores mundiais	19
Figura 5:	Principais países consumidores de RC	20
Figura 6:	Fluxograma básico do Ciclo de Vida do Produto	21
Figura 7:	As fases da ACV	25
Figura 8:	Fases e Aplicações da ACV	26
Figura 9:	Elementos dos sistemas de produtos incluídos no estudo LCA	28
Figura 10:	Integração das performances ambiental, social e econômica, denominada <i>Triple Bottom Line – TBL</i>	32
Figura 11:	As três dimensões do desenvolvimento sustentável (DS)	34
Figura 12:	Modelo de sustentabilidade empresarial	34
Figura 13:	Diagrama simplificado da geração, emissão e reuso de resíduos	37
Figura 14:	Contribuição das etapas da produção do RC na emissão de CO <sub>2</sub>	39
Figura 15:	Ciclo de vida dos blocos cerâmicos	42
Figura 16:	Ciclo de vida do RC: entradas, saídas, unidades funcionais e fluxos de insumos nos processos	44
Figura 17:	Matriz de oferta de energia no mundo, em 2016	47
Figura 18:	Matriz de oferta de energia no Brasil, em 2016	48
Figura 19:	Matriz de oferta de energia elétrica no mundo, em 2016	48
Figura 20:	Matriz de oferta de energia elétrica no Brasil, em 2016	49
Figura 21:	Consumo de energia no setor cerâmico brasileiro.	50
Figura 22:	Ciclo do carbono	53
Figura 23:	Ciclo natural do carbono e tamanho dos reservatórios (em Gt)	53
Figura 24:	Níveis de concentração de CO <sub>2</sub> nos últimos 400.000 anos	54
Figura 25:	Participação de setores nas emissões de CO <sub>2</sub> no Brasil (1970 - 2016)	55
Figura 26:	Participação de setores nas emissões de CO <sub>2</sub> no Brasil (2007-2016)	56
Figura 27:	Fator médio de emissão de CO <sub>2</sub> na geração de energia elétrica no Brasil de 2006 à 2017	58
Figura 28:	O ciclo do carbono natural em vegetais através da fotossíntese	60
Figura 29:	Síntese da Metodologia da Pesquisa	66

Figura 30: Fluxograma básico do processo de fabricação do RC	71
Figura 31: Diagrama simplificado da fabricação de RC e forma de energia utilizada nas etapas do processo	72
Figura 32: Fluxograma do processo produtivo do RC com os tipos de energia consumidos nas etapas	73
Figura 33: Conjunto de lotes de MP utilizados como estoque regulador da indústria estudada	74
Figura 34: Barbotina passando pela peneira e separador magnético	76
Figura 35: Consumo energético nos processos de produção da pastilha de porcelana	82
Figura 36: Distribuição das entradas de massa nas etapas produtivas do RC	94
Figura 37: Distribuição das perdas de massa nas etapas produtiva	94
Figura 38: Fluxograma do processo de fabricação do RC com os respectivos consumos de energia nas diversas etapas	96
Figura 39: Fluxograma do processo de fabricação do RC com as respectivas adições e perdas de massa nas diversas etapas	97
Figura 40: Emissões de CO <sub>2</sub> na produção do RC tipo pastilha de porcelana	100
Figura 41: Fluxograma do processo de fabricação do RC com as respectivas emissões de CO <sub>2</sub>	102
Figura 42: Consumo de energia por m <sup>2</sup> de RC no processo produtivo do RC na cerâmica do <i>Estudo de Caso</i> e na cerâmica comparativa	107
Figura 43: Modelo de ACV do RC tipo pastilha de porcelana	114

## Lista de Tabelas

Tabela 1:	Segmentação do setor cerâmico por produtos	9
Tabela 2:	Comparativo entre as propriedades dos RC, com relação aos processos produtivos VU e VS	12
Tabela 3:	Classificação do RC segundo o grau de absorção de água	13
Tabela 4:	Classificação do RC segundo a resistência à abrasão	14
Tabela 5:	Relação entre o grau de absorção de água e a resistência à ruptura do RC	14
Tabela 6:	A evolução dos conceitos e aplicações da ACV	23
Tabela 7:	Referências sobre sustentabilidade na produção do RC, com suas contribuições e relações com ACV e RC	41
Tabela 8:	Referências sobre estudos em ACV na produção do RC, com suas contribuições e limitações	46
Tabela 9:	Consumo de energia no setor industrial ( $10^3$ tep) e representação com relação à oferta de energia no Brasil	49
Tabela 10:	Emissões de $\text{CO}_2$ no Brasil por setor (1970-2016) – $10^9$ t $\text{CO}_2$ e	55
Tabela 11:	Emissões de $\text{CO}_2$ no Brasil por setor (2007-2016) – $10^9$ t $\text{CO}_2$ e	56
Tabela 12:	Fator médio de emissão de $\text{CO}_2$ na geração de energia elétrica no Brasil (2006-2017)	57
Tabela 13:	Fator médio de emissão de $\text{CO}_2$ na geração de energia elétrica no Brasil no ano de 2017	58
Tabela 14:	Estimativa da quantidade de carbono, para florestas naturais do Brasil, em 2015	60
Tabela 15:	Sequestro anual de carbono em florestas de eucalipto	62
Tabela 16:	Resumo da energia consumida no processo de produção do RC	83
Tabela 17:	Totalização das energias consumidas na produção do RC	84
Tabela 18:	Consumo de energia elétrica nas etapas da produção dos RC's	84
Tabela 19:	Consumo de energia térmica no processo de produção do RC	85
Tabela 20:	Compilação da análise dos gases emitidos pela chaminé do filtro do atomizador da Unidade Produtiva 1 (Chaminé Spray Dryer 1)	89
Tabela 21:	Resumo das entradas e saídas de massa nas etapas do processo produtivo do RC	93
Tabela 22:	Resumo das emissões de $\text{CO}_2$ no processo produtivo do RC	101

Tabela 23: Estudos teóricos x Levantamento de campo da ACV na produção do RC – contribuições da tese	104
Tabela 24: Comparação do consumo de energia elétrica na indústria cerâmica do presente trabalho e na indústria cerâmica comparativa	106
Tabela 25: Comparação do consumo de energia térmica indústria cerâmica do presente trabalho e na indústria cerâmica comparativa	106
Tabela 26: Comparação do consumo total de energia nos processos de RC	107
Tabela 27: Compilação dos dados de comparação de consumo de energia no processo de produção do RC	108
Tabela 28: Comparação de massa unitária do RC ao final do processo produtivo	109
Tabela 29: Emissão de CO <sub>2</sub> nas etapas do processo de produção de RC	109

## **Lista de Quadros**

Quadro 1: Protocolo de atividades para a condução da coleta de dados	70
--	----

## 1 INTRODUÇÃO

A preocupação com meio ambiente tem como marco histórico a crise do petróleo ocorrida na década de 1970, que fez com que a sociedade como um todo repensasse a extração sem limite dos recursos naturais e recorresse a fontes alternativas de energia.

Esta preocupação foi marcada por ações individuais e coletivas, visando estancar a degradação do meio ambiente e, como providência de âmbito global, foi realizada em 1972 a Primeira Conferência Mundial do Meio Ambiente de Estocolmo, sendo destacada como marco político de conscientização mundial dos problemas ambientais (MONARO, 2014).

Decorridos 20 anos, os atores envolvidos nesta conscientização promoveram a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD) a “ECO-92”, realizada na cidade do Rio de Janeiro. Decorridos outros 10 anos, em junho de 2012 ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, denominada “Rio+20”, também na cidade do Rio de Janeiro (CHOY, 2015).

A redução do intervalo entre estas conferências históricas, de 20 anos para 10 anos, denota que houve um aumento com a preocupação com o meio ambiente, bem como com a conscientização voltada ao Desenvolvimento Sustentável (DS).

Uma forma de reação à preocupação com o meio ambiente apontou para uma ferramenta que permitisse avaliar o impacto ambiental que um produto ou serviço desde o início de sua produção, passando pela sua utilização, até o seu descarte final. Nesse sentido, esta ferramenta deveria considerar tanto o impacto gerado pela extração dos recursos naturais, como a degradação que estes insumos provoquem ao meio ambiente, após serem processados e utilizados. A ferramenta que se mostrou apropriada para esta finalidade é denominada Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que permite mensurar e avaliar os impactos que um produto causam ao meio ambiente (OMETTO e ROMA, 2009).

As diversas etapas do ciclo de vida do produto envolvem vários fatores e

ambientes, seja na fase pré-produção, na fase de produção, ou na fase pós-produção. Estes fatores são limitantes em muitos dos estudos envolvendo a ACV, de modo que a maioria dos estudos trata algumas das etapas da vida do produto, que às vezes são restritas a um ambiente único. Neste sentido, Schlegl *et al.* (2019), estudaram a contribuição do uso do *benchmarks*, mas não a confecção do banco de dados da ACV em edifícios. Desta forma, trabalhos que poderiam ficar restritos aos ambientes estudados *in loco* podem ser complementados com informações conexas que foram obtidas em trabalhos anteriores.

A ACV, além de mensurar e avaliar os impactos causados pelos produtos ao longo da sua vida, também permite realizar a análise do custo do ciclo de vida dos produtos, que é apontada como um diferencial positivo das empresas que a praticam, perante clientes preocupados com o meio ambiente. Então, a ACV deixa de ser somente uma ferramenta voltada à preocupação com o meio ambiente, contribuindo também para um posicionamento das empresas que a praticam em seu mercado de atuação (DUNK, 2004).

A indústria da construção civil, sendo um dos mais importantes setores no desenvolvimento econômico do Brasil, está sujeita às leis de mercado, de modo que a preocupação com o meio ambiente se tornou um critério de visibilidade positiva da mesma perante seu público consumidor, haja vista a procura pelas edificações com selo verde (DA SILVA, 2015).

Não obstante, se por um lado se trata de um segmento que é um grande consumidor de recursos e produtos de origem nacional, ou seja, um importante agente de equilíbrio da balança comercial do país; por outro lado, o ramo da construção civil é responsável por impactos ambientais em toda sua cadeia produtiva, que ocorrem desde a exploração das matérias-primas (MP's), passando por seus diversos processos produtivos e por sua utilização, até o seu descarte no fim da vida útil. Nestas condições torna se importante o estudo dos processos produtivos dos insumos da construção civil com a ferramenta ACV, que pode ser usada em qualquer tipo de segmento produtivo, sendo aplicável no setor da construção civil (GRIGOLETTI e SATTLER, 2003; STROBEL *et al.*, 2006).

O Brasil é o terceiro produtor mundial e também é o terceiro consumidor



mundial de revestimento cerâmico (RC), denotando a relevância do produto no cenário nacional e global da construção civil (ANFACER, 2018).

O RC é um produto de acabamento que surgiu sob a denominação de azulejo, utilizado inicialmente para aplicação nas paredes e fachadas externas. Na atualidade, se tornou denominação comum aos revestimentos aplicados nas paredes e nos pisos. Trata-se de um artefato que surgiu no antigo Egito e na Mesopotâmia, tendo incorporado inovações tecnológicas até chegar ao RC atual. Em especial, o RC com pequenas dimensões (1,5 cm x 1,5 cm) e acabamento vitrificado, denominado pastilha cerâmica, surgiu como revestimento de fachadas de edifícios na década de 1950.

As pastilhas dos anos 1950 evoluíram tecnologicamente quanto à beleza, ao acabamento superficial e às características físicas de dureza e durabilidade, dando origem às pastilhas de porcelana (RICHERSON, 2006; SILVEIRA, 2016; ANFACER, 2018). Tal qual o produto, o processo produtivo do RC passou por inovações tecnológicas sendo produzido tanto pela via úmida (VU) quanto pela via seca (VS) demandando grande quantidade de energia elétrica e térmica em seus processos, bem como sendo necessária uma variedade de insumos não renováveis em sua fabricação.

## **1.1 Justificativa do Trabalho**

O tema escolhido, proposição de um modelo para a ACV dos revestimentos cerâmicos, se justifica pelo fato de a ACV ser uma das principais ferramentas usadas para avaliação dos impactos ambientais produzidos por um produto ou na sua produção. A identificação destes impactos é importante, uma vez que se busca mapear, por meio de um fluxograma do processo produtivo, os consumos de energia, das MP's e de outros insumos empregados nas diversas etapas do processo de produção.

Como a utilização da ACV em materiais cerâmicos está segmentada nos diversos produtos provenientes deste ramo industrial, abordar especificamente a produção de RC se justifica, pelo fato de que este segmento é um grande consumidor de recursos naturais e ao mesmo tempo um grande gerador de resíduos. Além disso, outra justificativa reside na busca por

melhorias no processo produtivo do RC que permitam menor uso de recursos naturais e que diminuam os impactos ambientais do processo.

Com o desenvolvimento da presente pesquisa, espera-se estabelecer parâmetros que venham a contribuir para a base de dados da ACV, no sentido de nortear os trabalhos sobre a Avaliação do Ciclo de Vida. Neste sentido o presente trabalho enquadra-se na lacuna encontrada na ACV dos RC's, especificamente do tipo pastilha de porcelana.

Destaca-se que não foram encontrados estudos que tratam da produção e do ciclo de vida do RC tipo pastilha de porcelana. Não obstante, foram encontrados trabalhos que se utilizaram apenas de dados isolados de literatura científica de massa, de energia e de emissão de CO<sub>2</sub>, ou ainda, alguns trabalhos apresentam foco apenas em parte do processo produtivo ou não abordam as três dimensões: consumo energético, consumo de massa e emissões na natureza. Além disso, quando abordam as emissões na natureza, o fazem como indicadores, não permitindo o estabelecimento de parâmetro de emissões relacionadas ao volume de RC produzido. Por fim, não foi encontrado na revisão de literatura trabalhos sobre o sequestro de CO<sub>2</sub> na produção do RC, assim como na relação entre as emissões de CO<sub>2</sub> na produção do RC e a área de floresta necessária ao sequestro de CO<sub>2</sub>.

Com relação ao meio acadêmico, a proposição do presente trabalho se enquadra no âmbito da Engenharia de Produção e na linha de pesquisa em Energia, Meio Ambiente e Produção Limpa.

## **1.2 Problemas de Pesquisa**

Diante do contexto exposto na introdução, importância e justificativa do trabalho, surgem algumas questões iniciais que envolvem a execução da pesquisa:

- Qual fluxograma pode representar o ciclo de vida do RC, tipo pastilha de porcelana, e que pode ser tomado como referência para avaliar as questões voltadas à sustentabilidade do processo produtivo considerando o consumo de energia, emissões na natureza, reaproveitamento e reciclagem?

### 1.2.1 Hipótese

- A hipótese a ser testada corresponde a proposição de um modelo de ACV que permitirá determinar a área de floresta necessária para sequestrar o CO<sub>2</sub> emitido nesse processo produtivo de RC.

## 1.3 Objetivo

O objetivo geral da presente pesquisa consiste na proposição de um modelo para a avaliação do ciclo de vida dos revestimentos cerâmicos tipo pastilha de porcelana, no sentido de contribuir para a avaliação da eficiência energética em termos de sustentabilidade dos processos.

### 1.3.1 Objetivos Específicos

- Promover avaliação do processo produtivo do RC, de uma indústria específica, quanto aos balanços de energia, de insumos (MP's) e quanto às emissões na natureza;
- Elaborar o fluxograma do processo produtivo dos RC tipo pastilha de porcelana e identificar os pontos de entrada e saída de insumos, assim como todos pontos nos quais ocorrem consumo de energia;
- Estabelecer a área de floresta necessária para garantir o sequestro de CO<sub>2</sub> emitido na produção de RC (área de floresta por m<sup>2</sup> de RC produzido).

## 1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho possui cinco capítulos detalhados a seguir:

Capítulo 1 – Introdução – Neste capítulo são apresentados: a importância do trabalho, justificativa, problemas da pesquisa, objetivo, objetivos específicos e a estrutura do trabalho.

Capítulo 2 – Revisão de Literatura – Este capítulo abordará a sustentabilidade, a indústria cerâmica: de materiais cerâmicos não destinados à construção civil e de materiais cerâmicos destinados à construção civil, a indústria do RC, o

processo produtivo do RC, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), a energia, bem como o seu uso pela Indústria, o carbono e seu ciclo de vida, e por fim o sequestro de carbono.

Capítulo 3 – Metodologia de Pesquisa – O capítulo contempla o método, abrangência, limites da pesquisa, bem como o desenvolvimento do levantamento de dados em campo.

Capítulo 4 – Resultados preliminares e Avaliação, que contém a compilação dos dados energéticos, de consumo e de emissões de CO<sub>2</sub> dos processos de fabricação do RC, subdividido em extração da MP, preparação da massa cerâmica, prensagem, secagem, esmaltação, queima, classificação e empacotamento. Faz-se, também, uma comparação dos dados energéticos e de massa obtidos com os de outro estudo promovido na indústria de RC, desta forma será promovida a avaliação interna e externa do processo produtivo. Diante dos resultados encontrados propõe-se no final do capítulo o modelo preliminar de ACV para o RC tipo pastilha de porcelana.

Capítulo 5 – Conclusão – Este capítulo apresenta as conclusões encontradas a partir da pesquisa bibliográfica realizada e a análise final dos resultados obtidos, bem como sugestões de pesquisas correlatas e que venham a complementar o estudo da ACV do RC.

Assim, o desenvolvimento do trabalho encontra-se organizado sob a forma de diagrama de blocos, com a interligação entre as etapas e a delimitação dos capítulos, mostrado na Figura 1.

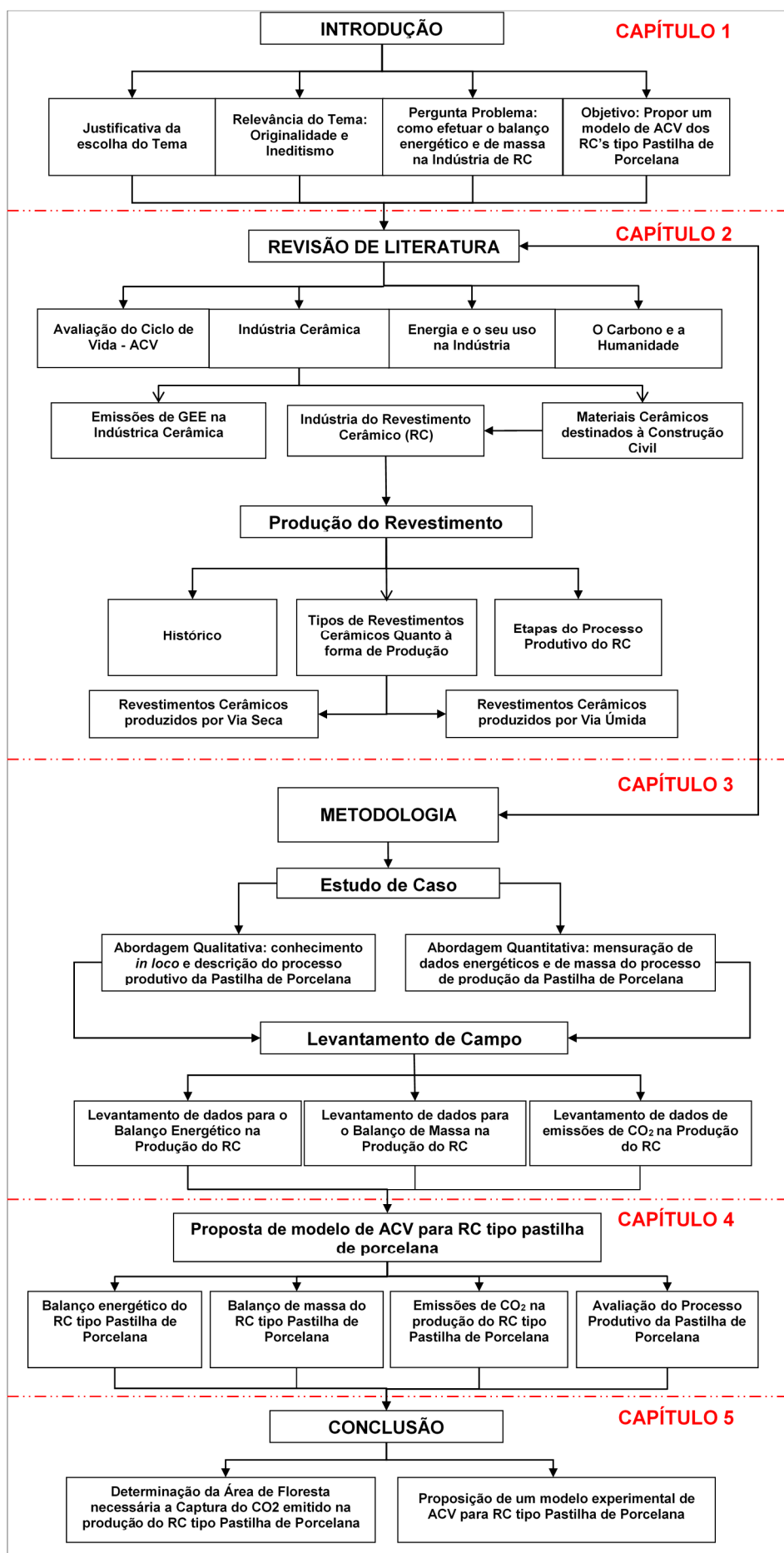


Figura 1: Diagrama simplificado das etapas do presente trabalho

## 2 REVISÃO DE LITERATURA CIENTÍFICA

A revisão de literatura foi feita de forma sistemática, no sentido de permitir o embasamento conceitual gradual e estruturado, com destaque para os temas: a indústria cerâmica, com ênfase na fabricação dos revestimentos cerâmicos; avaliação do ciclo de vida dos produtos; sustentabilidade; as questões relacionadas ao uso da energia, em especial na indústria cerâmica; o carbono e as emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera e, por fim, o sequestro e a captura do carbono sob a forma de CO<sub>2</sub>.

### 2.1 Indústria cerâmica

A Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres (ANFACER, 2018), destaca que a cerâmica é o material artificial mais antigo produzido pelo homem e a denominação vem do idioma grego “*kéramos*” (terra queimada ou argila queimada). Tratando-se de artefato de grande resistência encontrado em escavações arqueológicas, cuja produção remonta ao intervalo de tempo de 10 a 15 mil anos atrás. A argila foi escolhida para este tipo de artefato por apresentar a característica de plasticidade quando úmida, permitindo modelagem; adquire rigidez e resistência quando submetida à secagem a altas temperaturas (~1.000 °C).

As características da cerâmica, tais como a plasticidade, rigidez e resistência, fizeram com que fosse utilizada na construção de casas, na produção de vasilhames, na construção de urnas funerárias e até como superfície para escrita, multifuncionalidade que permite enquadrar a cerâmica tanto como uma atividade artística, quanto como uma atividade industrial. Além dos usos mencionados, a cerâmica também é utilizada em artefatos construídos com tecnologia de última geração, tais como subproduto de componentes de foguetes espaciais (SWALLOW, 1994; ANFACER, 2018).

No Brasil, a cerâmica tem seus primórdios na Ilha de Marajó, porém estudos arqueológicos indicam a presença de uma cerâmica na região amazônica, que remontam em cinco mil anos atrás. Com estes dados, diferente do que se acreditava a tradição ceramista não chegou ao Brasil com os portugueses ou na bagagem cultural dos escravos. Contudo os colonizadores portugueses

foram os responsáveis pela instalação das primeiras olarias, onde se produziam tijolos, telhas e louças de barro (ANFACER, 2018).

A indústria cerâmica pode ser classificada de acordo com o tipo de produto produzido. Bustamante e Bressiani (2000) promoveram estudo sobre a indústria cerâmica brasileira e a segmentação do setor cerâmico por produtos, conforme apontado na Tabela 1.

Tabela 1: Segmentação do setor cerâmico por produtos

<b>Segmento</b>	<b>Exemplo de usos</b>
Cerâmica Estrutural	Vermelha: tijolos, telhas ou lajes, blocos, telhas manilhas e pisos rústicos
Revestimentos	Pisos, grés, azulejos e pastilhas
Matérias Prima	Naturais, beneficiadas e sintéticas
Refratários	Tijolos, placas, refratários para fornos da indústria siderúrgica e de vidro
Cerâmica Técnica	Cerâmica piezoelétrica, cerâmica eletro-ótica, cerâmica supercondutora, Sensores, semicondutores, componentes de foguetes, etc.
Sanitários	Vasos sanitários, lavatórios e pias, mictórios, bidê, cuba, tanque de lavar roupa
Louça de Mesa e Adorno	Pratos, jarras, vasos, enfeites, etc.
Fritas, Vidratos e Corantes	Componentes do esmalte
Cerâmica Elétrica	Cerâmica para resistências elétricas, espaçadores de linhas de transmissão, etc.
Equipamentos para Cerâmica	Balanças, moinhos, prensas, fornos, atomizadores, etc.
Abrasivos	Lixas, chips cerâmicos abrasivos, discos de corte, disco de polimento, etc.

Fonte: Bustamante e Bressiani, 2000

As matérias primas (MP's), apresentam características físicas, químicas e composição que estão diretamente relacionadas com a qualidade do produto final e são classificadas em (BUSTAMANTE E BRESSIANI, 2000):

- Naturais: argilas vermelhas, argilitos, siltitos, filitos, agalmatolitos, caulins, talcos, feldspatos, quartzos, calcários;
- Beneficiadas: filitos, agalmatolitos, caulins, talcos, feldspatos, magnesitas, argilas refratárias, alumina, chamotes;
- Sintéticas: alumina, óxidos, esmaltes, fritas.

Ainda, com relação às MP's da massa cerâmica e do esmalte (fritas, vidratos e corantes) que são relacionados por Bustamante e Bressiani (2000) como produtos da indústria cerâmica, no presente estudo são tratados como insumos para produção dos RC.

### 2.1.1 Revestimento Cerâmico (RC)

Segundo ANFACER (2018), a origem do nome “azulejo” provém dos árabes, sendo derivado do termo “azzelij” ou “azuleicha”, que significa “pequena pedra polida”. O uso do azulejo pode ser visto desde a antiguidade na região da Mesopotâmia, norte da África e Europa (zona do Mediterrâneo), penetrando na Península Ibérica no século XIV pelos mouros.

A difusão do uso do RC em Portugal ocorreu a partir do século XVI, que apesar de não ser grande produtor de RC, foi o país europeu que mais o utilizou em seus prédios. No Brasil o uso do azulejo tornou-se mais frequente no século XIX, revelando-se um revestimento ideal para nosso clima (SILVEIRA, 2016).

Quanto à evolução tecnológica do RC, a partir do azulejo produzido no antigo Egito e região da Mesopotâmia, este passou por inúmeras inovações, seja na sua composição, acabamento, ou nas suas propriedades mecânicas (SILVEIRA, 2016; ANFACER, 2018).

O azulejo, que surgiu como revestimento externo de paredes, veio a ser precursor do revestimento de pisos em substituição ao revestimento com pedras, madeiras e cimento. Assim, o revestimento que se destinava às paredes, passou também a revestir os pisos e, hoje em dia, denomina-se tão somente de Revestimento Cerâmico ao material usado para revestimento de paredes e pisos (SILVEIRA, 2016; ANFACER, 2018).

Para as paredes, como variação dos azulejos, nos anos 1950 surgiram os primeiros edifícios revestidos por pastilhas cerâmicas ou vitrificadas, que são RC de pequenas dimensões (1,5 cm x 1,5 cm). A pastilha cerâmica vitrificada evoluiu para a pastilha de porcelana, produto que incorporou às pastilhas originais baixo índice de absorção de água e alta resistência à abrasão física e química, com grande variedade de tamanhos e cores (RICHERSON, 2006).

Quanto aos RC's de piso, destacam-se os porcelanatos, que são RC que surgiram no mercado europeu (Itália e Espanha) no início da década de 1990, caracterizado pelo seu modo de produção diferenciado ao primar pela homogeneidade da massa cerâmica, baixo índice de absorção de umidade,



melhor uniformidade de coloração e alta resistência à abrasão física e química (RICHERSON, 2006; DONDI *et al.* 2014).

O Brasil é o terceiro maior consumidor mundial de RC e, também, o terceiro maior produtor (ANFACER, 2018). A cada dia a qualidade e a variedade desse material aumentam. Na mesma medida, cresce a utilização da cerâmica no Brasil para revestir pisos e paredes dos espaços internos da casa, assim como espaços externos. Exemplo disso são as fachadas dos edifícios revestidas por cerâmicas de tipos e formatos variados.

### 2.1.2 Tipos de RC quanto à sua forma de produção

A produção dos RC's apresenta dois processos de moagem, que diferem quanto à utilização de água, ou não, nos moinhos; em que um processo é denominado “via úmida (VU)” e outro “via seca (VS)”. No processo VU a água é adicionada à etapa de homogeneização da massa cerâmica e, posteriormente, removida na etapa de atomização. No processo VS, a etapa de homogeneização requer a separação dos grãos de diferentes tamanhos. A Figura 2 mostra o diagrama simplificado da produção de RC, com as principais diferenças dos processos VU e VS (MELCHIADES, 2011).

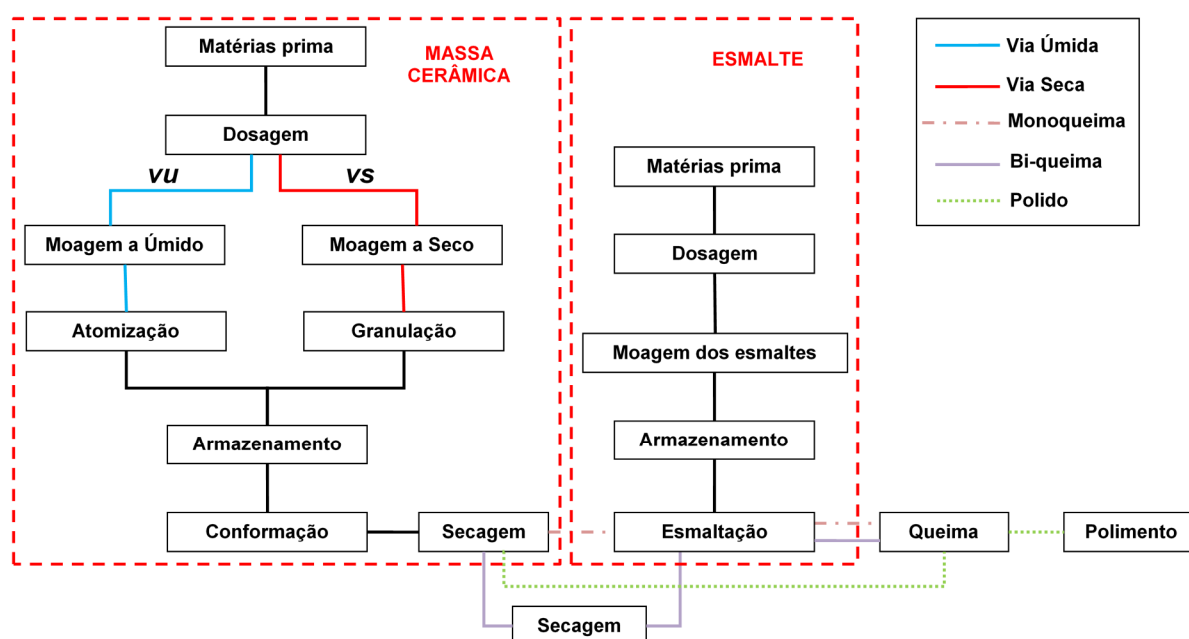


Figura 2: Diagrama dos processos de fabricação de RC: VU e VS  
Fonte: adaptado de Melchiades, 2011

Por outro lado, a Tabela 2 mostra algumas comparações entre as propriedades dos RC, com relação aos dois processos (VU e VS) (MELCHIADES *et al.* 2010; MELCHIADES 2011, CONSERVA *et al.* 2017).

Tabela 2: Comparativo entre as propriedades dos RC, com relação aos processos produtivos VU e VS

<b>Característica</b>	<b>Via Úmida</b>	<b>Via Seca</b>
Resistência Térmica	maior	menor
Resistência Mecânica	maior	menor
Impermeabilidade	maior	menor
Tempo de Produção	maior	menor
Homogeneidade	maior	menor
Custo de Mão-de-obra	maior	menor
Custo de Energia	maior	menor
Custo Ambiental	maior	menor
Coloração	branca	vermelha

Fonte: (MELCHIADES *et al.* 2010; MELCHIADES 2011; CONSERVA *et al.* 2017).

As características, resistência térmica, resistência mecânica, impermeabilidade e homogeneidade da massa cerâmica, estão diretamente relacionadas com a qualidade final do produto. Desta forma, o RC produzido por (VU) possui uma melhor qualidade final. No entanto, as características: tempo de produção, custo de mão-de-obra, custo de energia e custo ambiental são inversamente proporcionais às demais características relacionadas com a qualidade/propriedade (MOTA *et al.*, 1998; MELCHIADES *et al.*, 2010; MELCHIADES, 2011; CONSERVA *et al.* 2017).

A principal característica do RC produzido por VU consiste na etapa de moagem, na qual ocorre a homogeneização da massa cerâmica, que resulta no aumento do índice de plasticidade da mistura e, conseqüentemente, na qualidade final do produto. Por outro lado, o grande diferencial do RC produzido por VS consiste no menor consumo de energia térmica, uma vez que a massa cerâmica é seca naturalmente em exposição ao sol, sem o uso da energia térmica. O processo natural não só reduz o consumo de energia, como também reduz a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido na atmosfera, além da redução no tempo de produção e do custo de mão-de-obra (MOTA *et al.*, 1998; MELCHIADES *et al.*, 2010).

Além do tipo de produção, os RC são também classificados, segundo norma da ABNT (NBR 13817), com relação às seguintes propriedades físicas (ABNT-a, 1997):

- Esmaltados e não esmaltados;
- Método de fabricação (extrudado, prensado e produzidos por outros processos);
- Resistência à abrasão superficial;
- Resistência ao manchamento;
- Resistência ao ataque de agentes químicos (segundo diferentes níveis de concentração);
- Aspecto superficial ou análise visual;
- Grupos de absorção.

A absorção de água é uma propriedade do RC que está relacionada com a porosidade da peça, que implica em outras propriedades: na resistência ao impacto, na resistência mecânica, na resistência ao gelo e na resistência à agentes químicos. Os RC possuem uma variação de absorção de água desde absorção próxima a zero, para porcelanatos; até cerca de 20% de absorção para azulejos. Quanto ao grau de absorção de água, os RC's são classificados conforme a Tabela 3, segundo norma NBR 13817 (ABNT-a, 1997):

Tabela 3: Classificação do RC segundo o grau de absorção de água

<b>Grupos</b>	<b>Absorção de Água</b>
I a	≤ 0,5%
I b	0,5 a 3%
II a	3 a 6%
II b	6 a 10%
III	> 10%

Fonte: NBR 13817 (ABNT-a, 1997)

Outra propriedade de destaque do RC é a resistência à abrasão, que está relacionada ao desgaste superficial do material em decorrência do trânsito de pessoas e máquinas e do contato com objetos. A resistência à abrasão está associada principalmente à carga de ruptura e a outras características do esmalte e determina o local para o qual a aplicação de cada tipo RC é mais

indicado. A resistência à abrasão pode ser classificada em abrasão superficial, para produtos esmaltados, e em abrasão profunda para produtos não esmaltados (Tabela 4).

Tabela 4: Classificação do RC segundo a resistência à abrasão

<b>Grupos</b>	<b>Resistência à Abrasão</b>	<b>Recomendações de Uso</b>
0	Baixíssima	Paredes
1 - PEI1	Baixa	Banheiros residenciais
2 - PEI2	Média	Ambientes residenciais sem porta para fora
3 - PEI3	Média-Alta	Ambientes residenciais com porta para fora
4 - PEI4	Alta	Ambientes públicos sem porta para fora
5 - PEI5	Altíssima e sem encardido	Ambientes públicos com porta para fora

Fonte: NBR 13818 (ABNT-b, 1997)

O RC também pode ser classificado quanto à resistência à ruptura, que pode ser medida pelo módulo de resistência à flexão ( $N.m^{-2}$ ) ou pela carga de ruptura (N). O módulo de resistência à flexão consiste na resistência própria do material, enquanto que a carga de ruptura depende do material (por exemplo, quanto menor a porosidade, maior a resistência à compressão), além da espessura da peça. Quanto à resistência à ruptura associada à absorção de água, os grupos de RC's são classificados conforme a Tabela 5, segundo norma NBR 13818 (ABNT-b, 1997).

Tabela 5: Relação entre o grau de absorção de água e a resistência à ruptura do RC

<b>Grupos</b>	<b>Absorção de Água</b>	<b>Carga de Ruptura (N)</b>	<b>Módulo de Resistência a Flexão (<math>N/mm^2</math>)</b>
I a	$\leq 0,5\%$	$\geq 1.275$	$\geq 35$
I b	0,5 a 3%	$\geq 1.079$	$\geq 30$
II a	3 a 6%	$\geq 981$	$\geq 22$
II b	6 a 10%	$\geq 785$	$\geq 18$
III	$> 10\%$	$\geq 588$	$\geq 15$

Fonte: NBR 13818 (ABNT-b, 1997)

### 2.1.3 Etapas do processo produtivo do RC

O processo de fabricação dos RC é composto pelas principais etapas: extração e beneficiamento da MP, preparação da massa, atomização, prensagem, secagem, esmaltação, queima, classificação do produto pronto, empacotamento e expedição. A produção do esmalte é um processo que acontece em paralelo à produção do RC (MOTA *et al.*, 1998; CTVC, 2012).

Cada uma das etapas agrega procedimentos e processos com a entrada de materiais, utilização de alguma forma de energia e um subproduto a ser processado em uma nova etapa.

O balanço de energia é obtido diretamente por meio da quantidade de energia térmica e/ou elétrica, utilizada em cada etapa. Associado a cada um destes tipos de energia está o recurso demandado para sua obtenção, bem como o seu impacto ambiental, tanto na produção como na devolução de seus resíduos ao meio ambiente (HUANG *et al.*, 2013).

O balanço de massa é feito desde a exploração da MP, seu beneficiamento, a obtenção de cada subproduto, até o produto final. Assim, o balanço de massa consiste na mensuração da massa dos materiais e insumos usados na conformação do RC, assim como a quantidade de material perdido nas etapas, que poderão ser reaproveitados em outras fases, ou descartados no meio ambiente (PFROMM *et al.*, 2011; LIU *et al.*, 2011).

Assim, destacam as principais etapas do processo de produção dos RC:

- As etapas da lavra ou extração das MP são condicionadas à situação topográfica do depósito, distribuição espacial das camadas de argila, características físicas, escala de produção, nível de investimento necessário e tipos de cuidados ambientais. A perda de massa ocasionada na extração da MP é mínima, porém, a preocupação nesta fase é com a degradação do meio ambiente (ANDRADE *et al.*, 2004; COELHO, 2009).
- O beneficiamento da MP compreende desde a extração, o espalhamento, a fragmentação, a homogeneização e a secagem das argilas necessárias para preparação da massa, com um conteúdo

predefinido de água e que alimenta as máquinas de conformação, bem como o armazenamento e estocagem. Cada MP exerce função específica durante a produção dos RC. As denominadas plásticas são essenciais na fase de conformação, sendo compostas pelas argilas plásticas, argilas fundentes e caulim. As MP neoplásticas atuam na fase do processamento térmico com função de diminuir a retração das peças, sendo compostas pelos filitos, fundentes feldspáticos, talco e carbonatos (SABEDOT *et al.*, 2006; CHRISTOFOLETTI e MORENO, 2011).

- A preparação da massa cerâmica engloba a dosagem, separação magnética, a moagem e a atomização. Na dosagem é empregada energia térmica e elétrica, que são consideradas no balanço energético da etapa. O balanço de massa é feito considerando o ponto em que a MP chega para armazenamento e o ponto em que se inicia a moagem dos minérios (CIACO *et al.*, 2017).
- A MP livre de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  segue para a moagem, sendo processada em moinhos de bola com a adição água, para a formação da massa cerâmica, no processo VU. Após a moagem MP é armazenada e, depois, submetida a atomização. A energia consumida nesta etapa é elétrica (RIBEIRO e ABRANTES, 2001).
- A etapa seguinte é a filtragem, realizada por filtros manga, uma das técnicas mais aplicadas para a remoção de partículas em correntes gasosas, sendo um método de limpeza utilizado para partículas finas não retidas em outros tipos de coletores (por exemplo, sedimentadores gravitacionais e ciclones), (CIACO *et al.*, 2017).
- Em seguida, tem-se a etapa de atomização, que tem por objetivo a evaporação parcial da água da massa cerâmica, que promove a secagem, reduzindo a umidade a um índice próximo de 6%. A massa cerâmica atomizada é transportada para silos de armazenamento por esteiras rolantes e destes para a prensagem pelo mesmo meio de transporte. A energia consumida nestas etapas do processo é elétrica e térmica (RIBEIRO *et al.*, 2001; HANSEN *et al.*, 2010; CVTC, 2012).
- Posteriormente, a massa cerâmica chega às prensas hidráulicas para sua conformação. Nesta etapa as partículas das MP (aglomerados) são comprimidas, obtendo-se um empacotamento e agregação destas partículas. Esta etapa do processo consome energia elétrica, devendo

ser contabilizada no balanço energético (HUANG *et al.*, 2013; IBAÑEZ-FLORES *et al.*, 2013).

- As peças prensadas seguem para a secagem, etapa na qual o aquecimento promovido pela queima de gás natural (energia térmica), e a energia elétrica é empregada para o transporte do material por esteiras rolantes. Neste ponto existem perdas tanto por quebra quanto por emissão de gases na atmosfera (HUANG *et al.*, 2013; IBAÑEZ-FLORES *et al.*, 2013).
- A massa cerâmica prensada e seca é levada para a etapa de esmaltação, na qual as peças cerâmicas recebem aplicações de esmaltes cerâmicos, tintas e decorações, de modo que esta etapa promove o efeito estético do produto final. Nesta etapa é utilizado GN para geração da energia térmica (CIACO *et al.*, 2017).
- A peça esmaltada é então conduzida por esteiras rolantes até os fornos para o processo de queima, ou sinterização, que corresponde ao tratamento térmico promovido a temperaturas elevadas, influenciando na estabilidade dimensional e na resistência mecânica final do produto cerâmico. Nesta etapa o GN é utilizado como fonte de energia térmica, além do consumo de energia elétrica no transporte do material até o forno (HUANG *et al.*, 2013; IBAÑEZ-FLORES *et al.*, 2013).
- As peças dos RC acabadas passam por classificação e controle de qualidade, quando eventuais peças defeituosas devem ser reprovadas e encaminhadas para a disposição final como resíduos sólidos. A energia consumida nas esteiras rolantes é a elétrica, bem como as perdas por reprovação devem ser contabilizadas no balanço de massa (IBAÑEZ-FLORES *et al.*, 2013).
- Finalmente, os RC seguem por esteiras rolantes, para o empacotamento ou embalagem, etapa que consome energia elétrica e que deve ser computada no balanço energético. O produto acabado e embalado é armazenado e expedido para os centros de comercialização. No processo de armazenamento e expedição são utilizadas empilhadeiras movidas a GN e caminhões ou carretas para transporte externo. O consumo de combustíveis deve ser considerado no balanço energético, assim como perdas provocadas por acidentes de transporte devem ser consideradas no balanço de massa (IBAÑEZ-FLORES *et al.*, 2013).

### 2.1.4 A produção industrial dos RC

A Figura 3 mostra a produção brasileira de RC no período compreendido entre os anos de 2006 e 2016 (ANFACER, 2018). Observa-se que o crescimento é praticamente linear no período 2006-2015, com uma produção de  $672 \times 10^6$  m<sup>2</sup> em 2006, atingindo  $1.106 \times 10^6$  m<sup>2</sup> em 2015, sofrendo a produção pequena retração em 2016, recuando para  $1.048 \times 10^6$  m<sup>2</sup>. Complementarmente à informação da evolução da produção, a ANFACER (2018) aponta que em 2012 73% da indústria do RC utilizou o processo de produção VS, enquanto os demais 27% utilizou a produção VU.

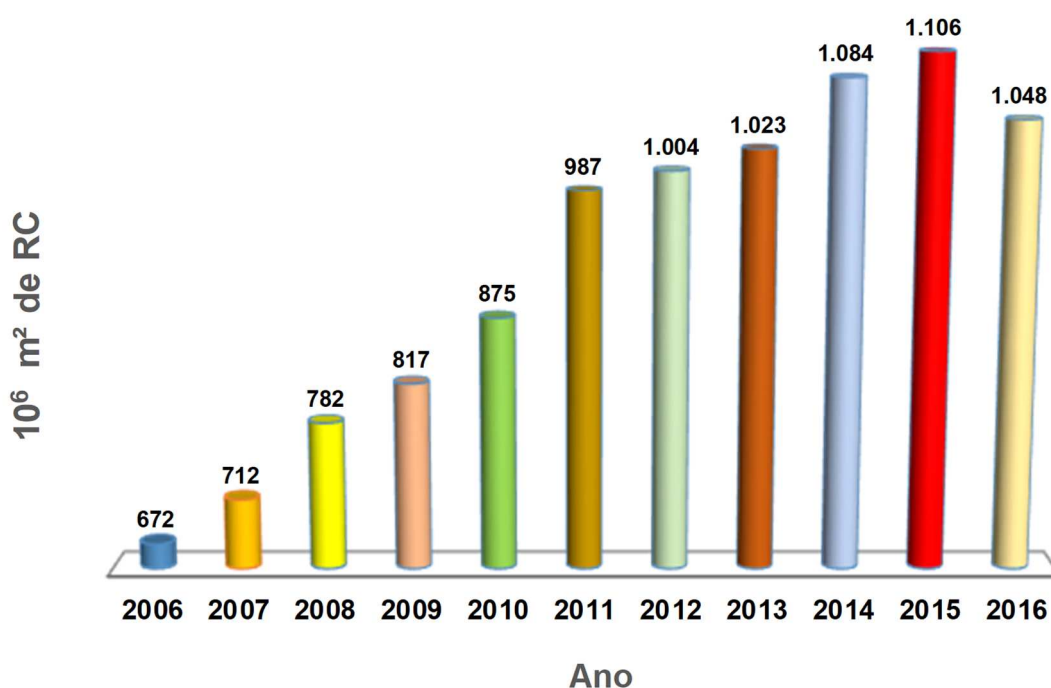


Figura 3: Evolução da produção de RC no Brasil, entre os anos 2006 – 2016  
Fonte: ANFACER, 2018

No contexto mundial, no período 2013-2016 os países que mais produziram RC foram: China, Índia, Brasil, Espanha e o Vietnã, como mostra a Figura 4. Observa-se que somente a China produziu mais RC do que os demais juntos, constituindo-se líder mundial neste segmento da construção civil.

O Brasil, no período 2013-2016, apresentou variações na produção do RC, em que passou por crescimento seguido de decréscimo nos três anos seguintes; sendo crescimento de 3,7% de 2013 para 2014, redução de 0,4% de 2014 para



2015 e uma redução mais acentuada de 11,9% de 2015 para 2016. Além disso, ao comparar a produção de RC de 2013 com a produção de RC no ano de 2016 verifica-se uma redução de 9,1% no volume de RC produzido.

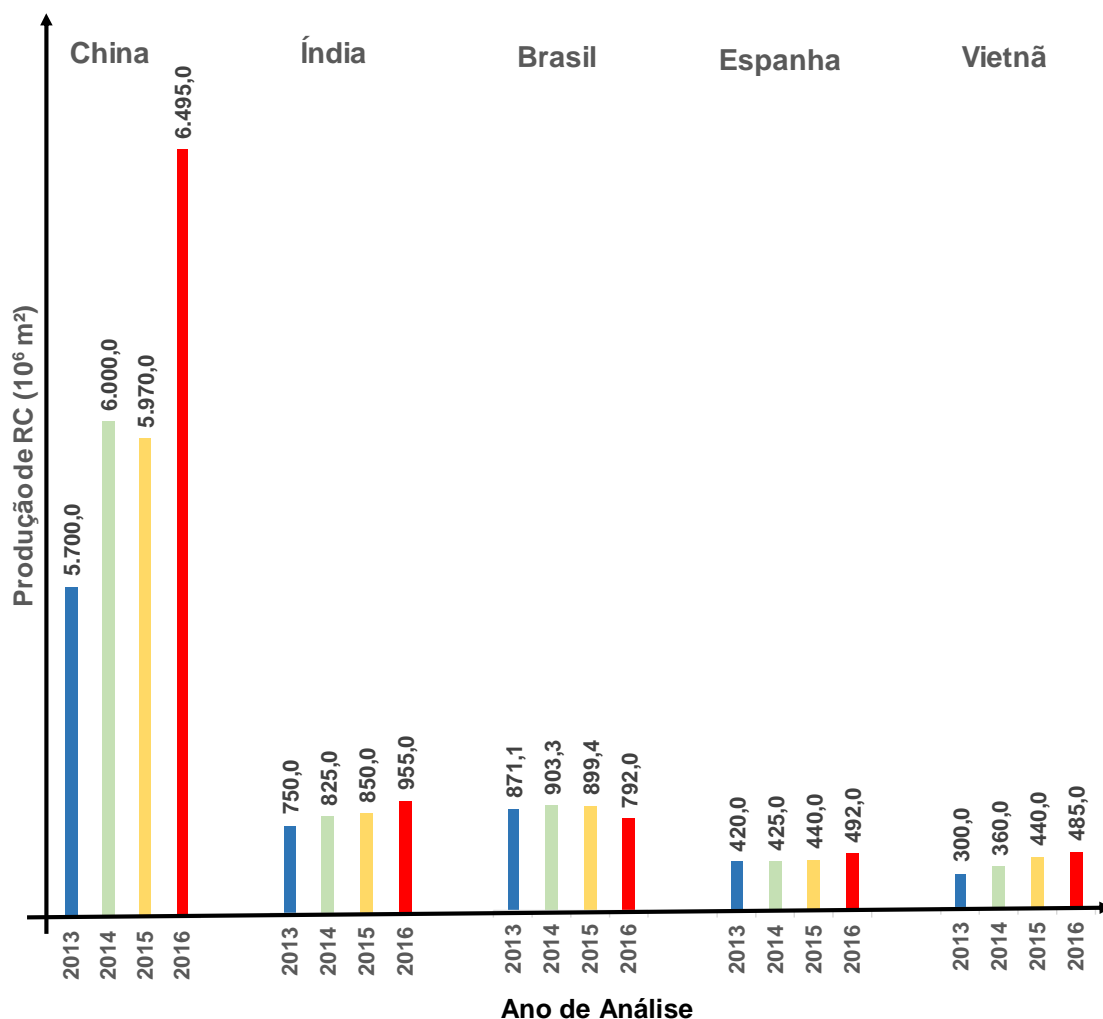


Figura 4: Evolução da produção de RC pelos principais produtores mundiais  
Fonte: ANFACER, 2018

Por outro lado, neste mesmo período, os maiores consumidores de RC foram: China, Índia, Brasil, Vietnã e Indonésia, como mostra a Figura 5; que também aponta a China como grande consumidor mundial.

Além disso, a Figura 5 mostra que o consumo de RC no Brasil, no período 2013-2016, apresentou comportamento similar ao da produção no mesmo período. Observa-se o crescimento seguido de decréscimo nos três anos seguintes; sendo o crescimento de 2,4% de 2013 para 2014, redução de 4,9% de 2014 para 2015 e redução de 13,5% de 2015 para 2016, ao se comparar a

produção de RC de 2013 com a produção de RC de 2016 verifica-se uma redução de 15,8% no volume de RC produzido.

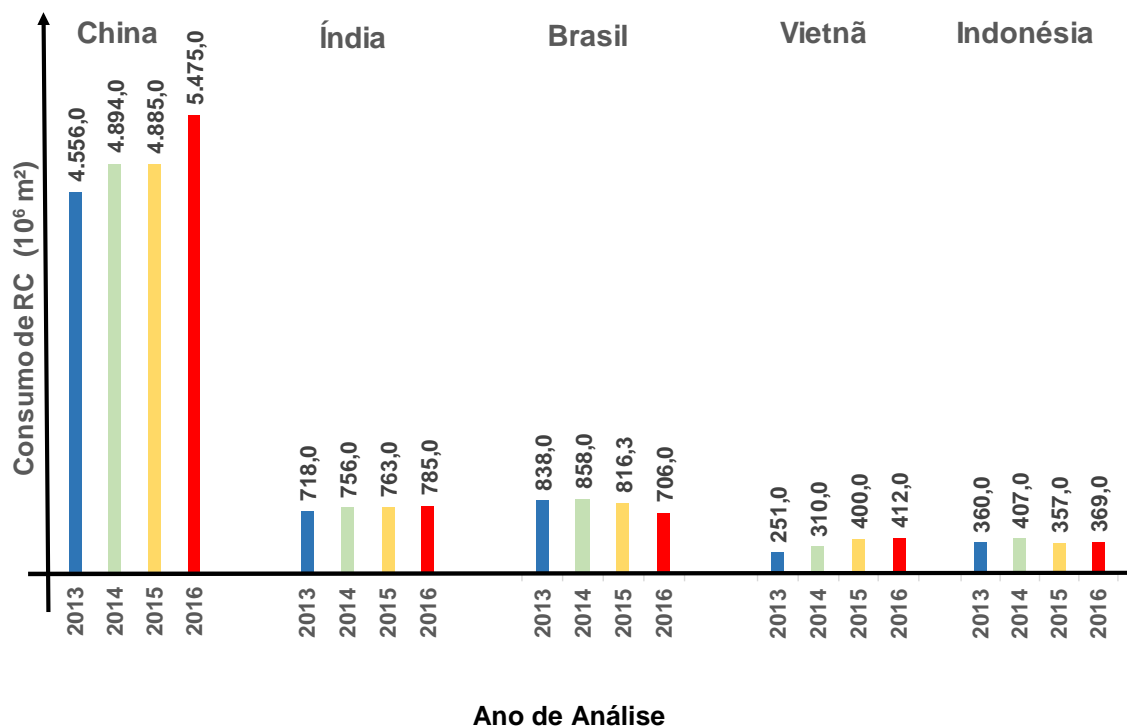


Figura 5: Principais países consumidores de RC  
Fonte: ANFACER, 2018

## 2.2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

Os primeiros estudos voltados às questões ambientais tratavam do balanço energético dos processos industriais, então chamados de “análises de energia”, que prescindiam do balanço de massa, bem como dos recursos empregados, de modo que eram chamados de “análises de recursos” ou, também, “análises de perfil ambiental” (MANZINI e VEZZOLI, 2005; SANTOS *et al.*, 2011).

Uma das primeiras definições da ACV foi feita pela Society of Environmental Toxicology and Chemistry – SETAC (1994), como sendo: “*Processo para avaliar os encargos ambientais associados a um produto, processo ou atividade, identificando e quantificando energia, materiais e resíduos lançados ao meio ambiente; para avaliar o impacto dessas utilizações de energia e materiais e as liberações para o meio ambiente; e identificar e avaliar oportunidades para introduzir melhoramentos ambientais. A avaliação inclui todo o ciclo de vida do produto, processo ou atividade, englobando extração e*

*processamento de MP's; produção; transporte e distribuição; uso, reutilização, manutenção e disposição final*' (SETAC, 1994; ARVANITOYANNIS, 2008).

A ACV pode ser sintetizada em um diagrama (Figura 6), que descreve o ciclo de vida de um produto, partindo da extração e o processamento de MP's, a manufatura, o transporte, distribuição, uso, reuso, manutenção, reciclagem e o destino final do produto (HAUSCHILD *et al.*, 2005; FUKUROZAKI *et al.*, 2016).

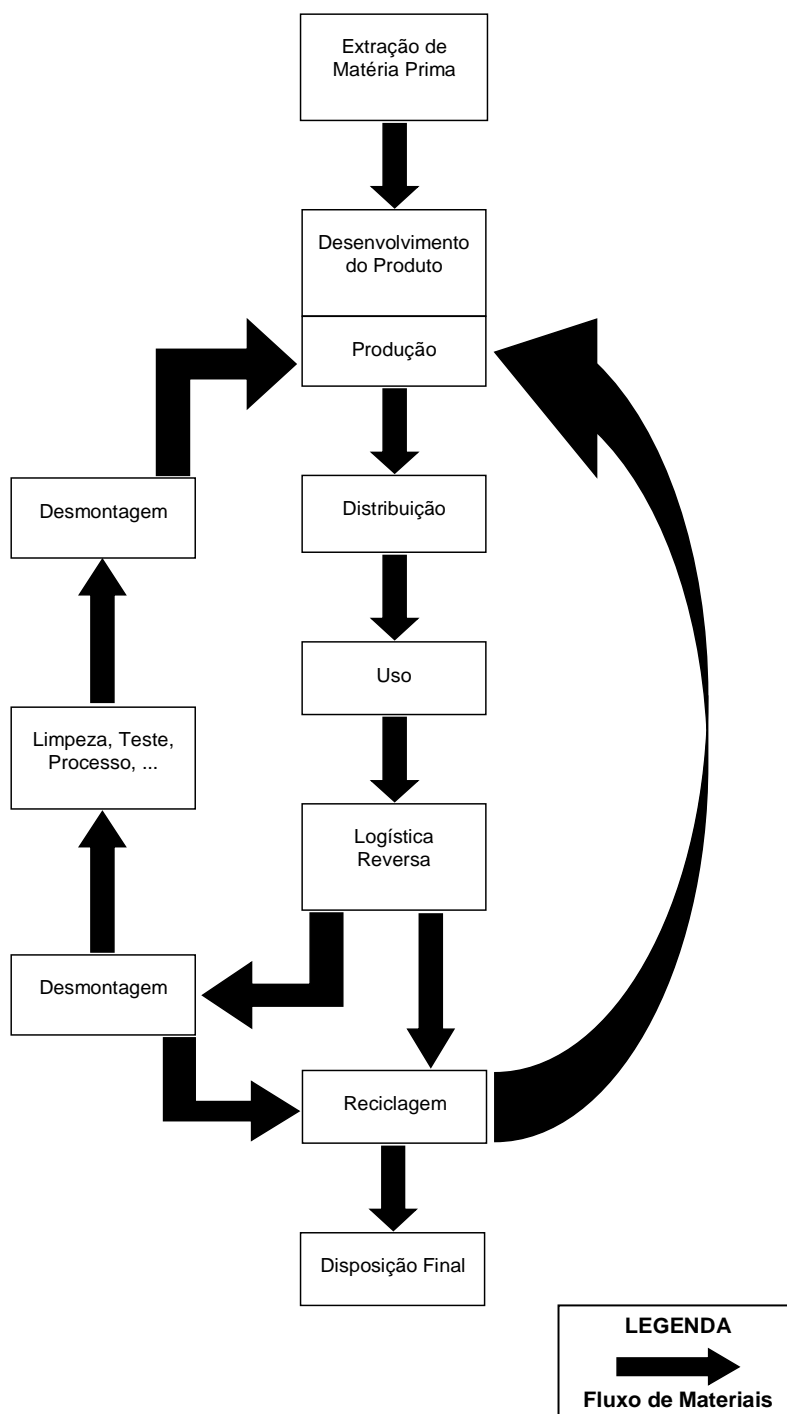


Figura 6: Fluxograma básico do Ciclo de Vida do Produto  
 Fonte: Ometto e Roma (2009)

A ferramenta ACV é normatizada por meio da *International Organization for Standardization* (ISO), que publicou a série ISO 14.000 relacionada à gestão ambiental. No ano de 2001 a série de ISO 14.000 foi lançada no Brasil baseada nas normas Internacionais e está subdividida nas seguintes normas:

- ISO 14.040 (1997): *Life Cycle Assessment - Principles and Framework*; que trata da Avaliação do Ciclo de Vida, seus princípios e estrutura;
- ISO 14.041 (1998): *Life Cycle Assessment - Goal scope definition and inventory analysis*; que trata da definição de objetivos, escopo e análise de inventário;
- ISO 14.042 (2000): *Life Cycle Assessment - Life cycle impact assessment*; apresenta os princípios para a avaliação de impactos, a seleção das categorias, bem como descrevem as etapas de classificação e de caracterização;
- ISO 14.043 (2000): *Life Cycle Assessment - Life cycle interpretation*; relacionada às interpretações do ciclo de vida, os requisitos e recomendações para a interpretação dos resultados da ACV.
- ISO 14.044 (2006): *Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines*; que trata dos seus requisitos e orientações;
- ISO/TR 14.047 (2000): *Life Cycle Impact Assessment - Examples of Application of ISO 14.042*; que trata da avaliação do impacto do ciclo de vida, exemplos de aplicação da ISO 14.042;
- ISO/TS 14.048 (2001): *Life Cycle Assessment - Data Documentation Format*. Avaliação do Ciclo de Vida, formato de dados e documentação;
- ISO/TR 14.049 (2000): *Life Cycle Assessment. Examples of Application of ISO 14.041 for goal and scope definition and inventory analysis*. Avaliação do Ciclo de Vida, exemplos de aplicação da ISO 14.041 para definição do objetivo, do escopo e análise de inventário.

A Tabela 6 mostra o histórico da ACV, com base na evolução cronológica dos trabalhos produzidos, a evolução dos conceitos, as principais normas e suas aplicações, segundo a organização estruturada promovida por ALVES e COUTINHO (2019).

Tabela 6: A evolução dos conceitos e aplicações da ACV

Época	Foco	Referência
Década de 1960	Pressões ambientalistas nos EUA sobre a indústria de embalagens levaram à realização de estudos de análise de energia e de recursos aplicados aos processos de produção. Um dos primeiros estudos foi executado pelo <i>Midwest Research Institute (MRI)</i> para a empresa <i>The Coca Cola Company</i> , em 1969, incluindo recursos, cargas de emissão e fluxos de resíduos para diferentes recipientes de bebidas, embalagens de refrigerante e selecionar o recipiente adequado do ponto de vista ambiental com relação à preservação dos recursos naturais. O processo de quantificação da utilização dos recursos naturais e de emissões, utilizado pela Coca-Cola, passou a ser conhecido como <i>Resource and Environmental Profile Analysis - REPA</i> , ou "análise de recursos e de perfil ambiental".	Huppes (1991) Guinée <i>et al.</i> (2011)
1974	A metodologia conhecida como REPA, foi aprimorada pelo MRI durante a realização de estudos para a Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA) sobre embalagens de cerveja, sendo considerada a precursora da metodologia denominada Avaliação do Ciclo de Vida - ACV.	Manzini e Vezzoli (2005)
1980	Realização de acordos internacionais visando a redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE). As análises ambientais começaram a incorporar e quantificar estes fatores em sua metodologia, passando a ser chamadas de "ecobalanço", ou "ecoperfil" ou ainda "análise de berço ao túmulo".	<i>Chehebe (1998)</i> <i>Santos et al. (2011)</i>
1985	A Comunidade Européia publicou a Norma Diretiva 85/339, sobre embalagens para líquidos de consumo humano, obrigando as empresas de bebidas a monitorar o consumo de energia, de recursos naturais e do resíduo sólido associado ao seu produto. A partir da evolução destes estudos que surgiu a denominação Life Cycle Assessment - LCA.	Manzini e Vezzoli, (2005) <i>Matthias et al. (2013)</i>
Década de 1990	O EPA publicou novos bancos de dados, com informações sobre embalagens, introduzindo na metodologia REPA um sistema de ponderação que utilizava padrões de referência para a saúde humana e para agregar dados sobre os impactos ambientais.	<i>Guinée et al. (2011)</i> <i>Santos et al. (2011)</i>

Época	Foco	Referência
1990 a 2018	A SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry iniciou trabalhos de sistematização e padronização dos termos e critérios da ACV, que resultaram publicação <i>Guidelines for Life Cycle Assessment: a Code of Practice</i> . O documento serviu de base para orientar a normatização internacional, desenvolvidos pela International Organization for Standardization (ISO), que em 1993 criou o Comitê Técnico TC207, que foi o responsável por umas das mais importantes séries de normas internacionais, a série ISO 14.000, que inclui as normas de ACV. Em 1997 foi lançado livro no Brasil que foi o importante passo para divulgação da metodologia. Em 2002 desenvolvimento do Inventário do Ciclo de Vida Nacional pelo IBICT. Em 2005 foi formulado um fluxograma do Ciclo de Vida do Produto. Proposição de modelos de ACV para extração de metais e fabricação de produtos fabris. A partir de 2007 surgem estudos da ACV na construção civil. Com relação ao RC, a partir de 2002, a ACV foi utilizada na comparação do RC com outros tipos de materiais, com relação ao consumo de energia e insumos visando melhorias no processo de fabricação.	SETAC (1994) ISO 14.040 (1997) Chehebe, (2002) Nicoletti <i>et al.</i> (2002) Jolliet <i>et al.</i> (2005) Ometo (2005) Oliveira (2007) Arvanitoyannis (2008) Librelotto e Jalali (2008) Bribián <i>et al.</i> (2009) Ortiz <i>et al.</i> (2009) Kulay <i>et al.</i> (2010) Fukurozaki (2011) Ibáñez-Forés <i>et al.</i> (2011) Santos <i>et al.</i> (2011) Willers e Rodrigues (2012) Matthias <i>et al.</i> (2013) Condeixa <i>et al.</i> (2014) Monaro (2014) Alves e Coutinho (2019) De Souza <i>et al.</i> (2015) Han <i>et al.</i> (2015) Rashid e Yusoff (2015)

Fonte: Adaptado de Alves e Coutinho (2019)

A Figura 7 mostra as quatro fases da ACV: definição do objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação do impacto e interpretação do ciclo de vida, segundo a ISO 14.040 (1997).

A definição do **Objetivo e Escopo** deve ser consistente com a aplicação pretendida, identificando o contexto das decisões, assim como os resultados pretendidos. O escopo inclui ainda uma distribuição dos itens a serem seguidos de acordo com a linha central do estudo, as funções do sistema, os aspectos e impactos ambientais a serem investigados, as possíveis limitações, entre outras características (ISO 14040, 1997; OMETTO e ROMA, 2009; MIELE *et al.*, 2005; MONARO, 2014).

Com relação à **Análise de inventário**, esta envolve a coleta e o processamento dos dados, no sentido de quantificar as entradas e saídas do sistema de produção, podendo incluir os aspectos ambientais que sejam alterados pelo sistema. O inventário é iterativo, onde as suas alterações podem

levar para uma reflexão do objetivo e/ou escopo do trabalho, devido às incertezas na coleta de seus dados. A primeira validação dos dados é realizada nesta fase (ISO 14040, 1997; OMETTO e ROMA, 2009; MIELE *et al.*, 2005; MONARO, 2014).

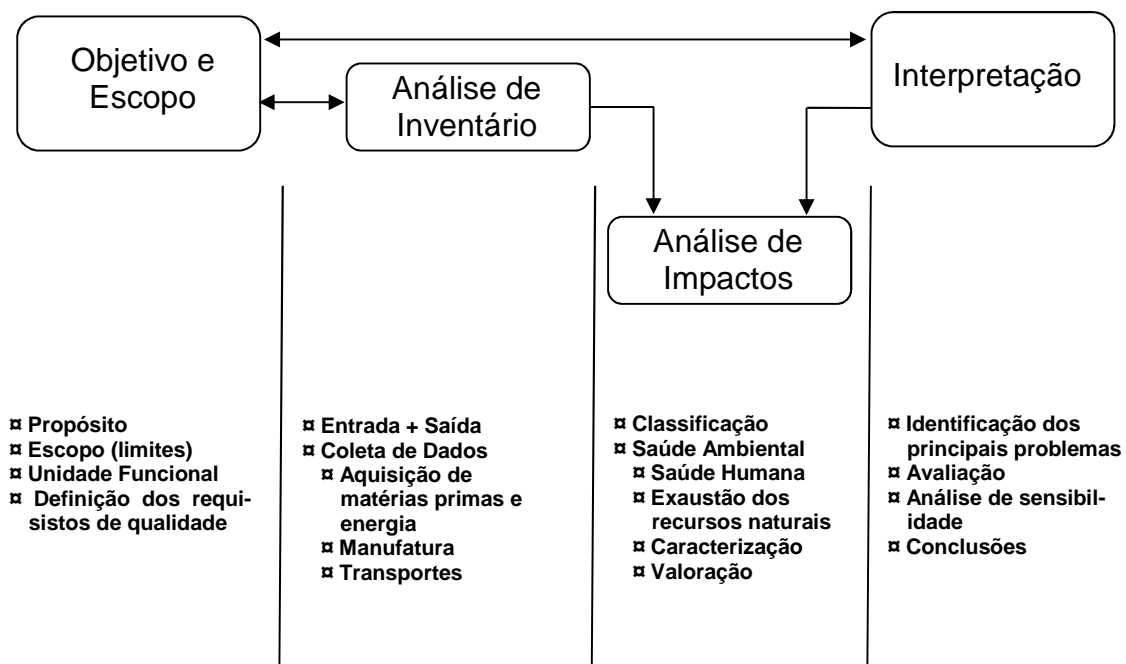


Figura 7: As fases da ACV  
 Fonte: ISO 14.040, 2001; Chehebe, 2002; Miele, 2005

A **Avaliação do impacto** é dirigida para a significância dos impactos ambientais potenciais, usando como resultados os inventários. Esta etapa envolve a interpretação dos resultados relacionados aos seus impactos, visando compreender a magnitude e características dos impactos ao meio ambiente (ISO 14040, 1997; OMETTO e ROMA, 2009; MIELE *et al.*, 2005; MONARO, 2014).

Finalmente, a **Interpretação do Ciclo de Vida** é a fase na qual as constatações das fases anteriores são combinadas, relacionando-as com o objetivo e o escopo do estudo, começando com as questões mais significativas encontradas. A interpretação envolve a integridade, sensibilidade e consistência, de acordo com as incertezas e a precisão dos resultados (ISO 14040, 1997; MIELE *et al.*, 2005; MONARO, 2014).

Além disso, a Figura 8 mostra as diversas fases ACV e suas aplicações nas áreas da organização, sinalizando que as fases podem ser consideradas como processos iterativos, nos quais repetições são necessárias para obter resultados consistentes, em prol do meio ambiente que é o objetivo primordial das normas ISO 14.000.

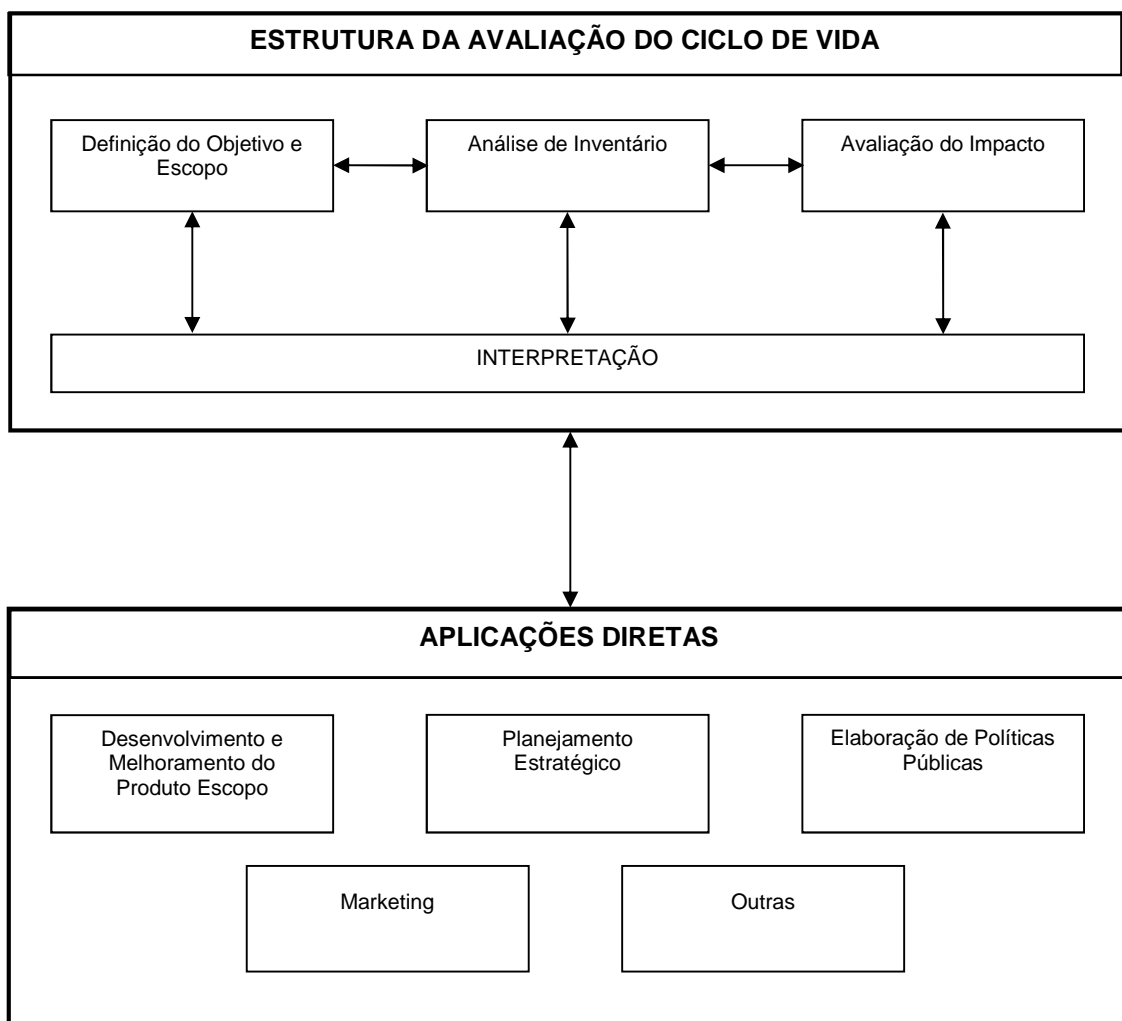


Figura 8: Fases e Aplicações da ACV  
 Fonte: Arvanitoyannis, 2008

Segundo Fukurozaki *et al.* (2016) a ACV permite mensurar e avaliar os impactos que um produto ou material causa no meio ambiente, abrange as fases de extração e o processamento de MP's, manufatura, transporte e distribuição, uso, reuso, manutenção, reciclagem e destino final.



Também Miele *et al.* (2005), destaca que a ACV pode ser empregada como controle e redução de impactos ambientais do processo produtivo, e aponta como ponto forte da ACV o caráter globalizador, que evita a transferência de um problema ambiental, ou seja, evita que a solução para um determinado problema ambiental cause consequências em outra parte do ciclo de vida; relaciona todos os recursos usados, como os resíduos e emissões geradas pela unidade do sistema permitindo sua avaliação.

Além disso, a ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) foi empregada para diversos produtos e processos, como exemplo:

- Ometto e Roma (2009) aplicaram a ferramenta ACV no estudo do processo produtivo álcool etílico combustível, assim como em toda sua cadeia;
- Hauschild *et al.* (2005), estudaram o *status* e a perspectiva do uso da ACV em busca produção sustentável em diversos processos industriais;
- Arvanitoyannis (2008), estudou os princípios e diretrizes da ACV na gestão de resíduos das indústrias alimentícias;
- Fukurozaki *et al.* (2016) estudou a ACV dos sistemas de gaseificação da biomassa e de energia solar fotovoltaica.
- Alves e Coutinho (2019), estudou a ACV do nióbio.

O diagrama simplificado da Figura 9 foi proposto por Sepalla *et al.* (2002) e Alves e Coutinho (2019), como um modelo de ACV adaptado para o nióbio metálico, participando da formulação do modelo de ACV uma vez que envolve a extração de MP's minerais da natureza.

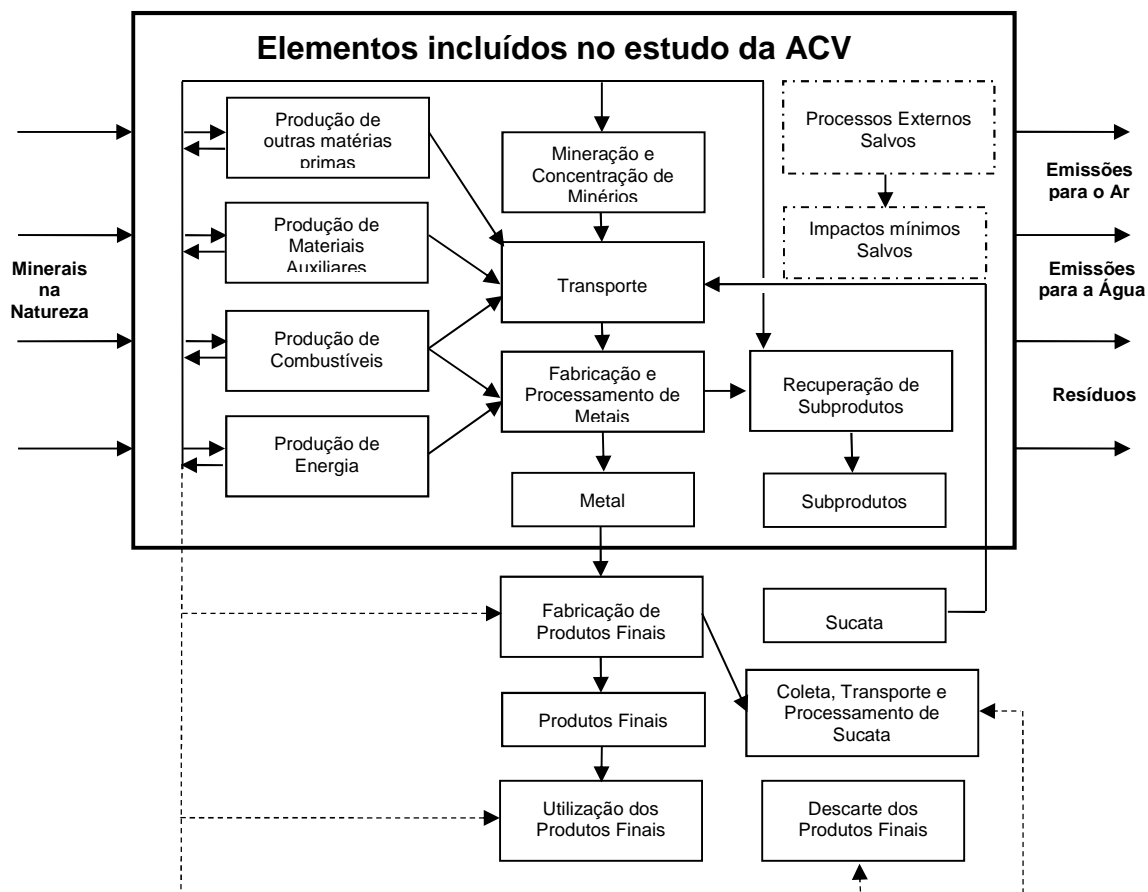


Figura 9: Elementos dos sistemas de produtos incluídos no estudo LCA  
 Fonte: Sepalla *et al.* (2002) e Alves e Coutinho (2019)

### 2.2.1 Panorama da ACV no Brasil

O panorama da ACV no Brasil relaciona fatos históricos voltados à conscientização com o meio ambiente e com a sustentabilidade, apresentando os primeiros passos rumo à divulgação da ferramenta e sua aplicação, passando pelas primeiras publicações sobre o tema e culminando pelo estudo das pesquisas nacionais voltadas à ACV e suas características.

A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), realizada na Cidade do Rio de Janeiro e conhecida como ECO 92, foi um princípio para que as legislações ambientais começassem a ter um destaque no cenário nacional. A partir de então o termo “desenvolvimento sustentável” passou a fazer parte da preocupação social e política do país, com engajamento de diversos segmentos sociais na causa (MONARO, 2014; CHOY, 2015).

A história da ACV no Brasil teve início da década de 1990, época em que foi

criado o Subcomitê da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para a ACV, em que passou a incorporar o Comitê Técnico 207 da ISO, por meio do Grupo de Apoio à Normalização Ambiental – GANA (WILLERS e RODRIGUES, 2012).

De um modo geral, a evolução, ou seja, a implantação da ACV ocorreu de forma cronológica nas seguintes etapas:

- Em 1997 foi lançado o primeiro livro nacional que tratou sobre o assunto: “Análise do Ciclo de Vida de Produtos – Ferramenta Gerencial da ISO 14.040”, que foi um importante passo na divulgação da metodologia (CHEHEBE, 2002);
- No período de 1997 a 1999, foi desenvolvido o primeiro estudo brasileiro denominado “Análise do Ciclo de Vida de embalagens para o mercado brasileiro”, realizado pelo Centro de Tecnologia de Embalagem - CETEA, do Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL (WILLERS e RODRIGUES, 2012);
- No ano de 2002, foi criada a Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV), que obteve destaque na coordenação da segunda Conferência Internacional de Avaliação de Ciclo de Vida (CILCA), realizada na cidade de São Paulo, em 2007, consolidando o tema ACV no Brasil (WILLERS e RODRIGUES, 2012);
- Ainda, no ano de 2002, também se destaca a criação do Projeto Brasileiro de Inventário do Ciclo de Vida para a Competitividade da Indústria Brasileira, do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), que vem atuando desde então para o desenvolvimento do Inventário do Ciclo de Vida nacional e apontado com importância por Willers e Rodrigues (2012) em seu trabalho sobre o panorama sobre a ACV no Brasil.

### *2.2.2 ACV na Construção Civil*

Neste tópico são apresentados aspectos relacionados a ACV na construção civil, com destaque para: avaliação e certificação ambiental de materiais de construção; avaliação e certificação ambiental dos edifícios; dificuldades da aplicação da ACV na construção civil; ACV como identificador do consumo

energético dos edifícios; importância do tratamento adequado dos resíduos provenientes da construção civil; panorama da utilização da ACV na construção civil com base nos trabalhos publicados sobre o tema.

Segundo Schlegl *et al.* (2019), em estudos sobre a viabilidade de seleção de produtos da construção civil por meio da ACV, foi apontado que a ferramenta foi utilizada tanto na avaliação e certificação ambiental de materiais de construção, como dos edifícios, sendo sugeridas medidas e procedimentos na escolha e aplicação de materiais que visam à redução do impacto ambiental em estruturas de concreto armado.

Trabalhos feitos por Librelotto e Jalali (2008), por meio de estudo de caso sobre a ACV em edificações residenciais, mostraram que a ferramenta possui grande potencial de melhorias nos sistemas construtivos, principalmente no que diz respeito aos programas que avaliam e classificam as edificações quanto ao seu desempenho ambiental.

Ainda, focando a preocupação com a avaliação ambiental das construções, Ortiz *et al.* (2009), que avaliaram a sustentabilidade na construção civil, apontaram para a vinculação da ACV na construção civil com a sustentabilidade e, também, como o diferencial competitivo das empresas do setor preocupadas com o meio ambiente em relação às demais.

Outro trabalho feito com relação ao estado da arte da ACV na construção civil, realizado por Bribián *et al.* (2009), apontou como potenciais barreiras à aplicação da metodologia: a complexidade, falta de precisão e resultados arbitrários; o baixo conhecimento sobre o impacto ambiental da construção civil e da forma como efetuar seu cálculo; a baixa demanda pela ACV; a falta de interfaces padronizadas entre projeto, planejamento e execução da obra; a baixa cooperação entre fabricantes e consumidores; a falta de incentivos e regulamentação legal; a baixa relação da ACV com a certificação das construções, e outros.

Em outro trabalho, feito por Rashid e Yusoff (2015), foi promovida uma revisão no método da ACV na indústria da construção civil, que foi voltado ao consumo de energia para a construção de um edifício, assim como ao longo de sua vida. O trabalho mostrou que um maior peso ocorre na “fase de uso” dos edifícios,

do que na “fase de construção” dos mesmos. A justificativa foi devido ao fato que alguns materiais possuam baixo consumo de energia na fase de fabricação/instalação e alto consumo na “fase de uso” da edificação, considerando também a grande desproporção entre o tempo gasto na construção dos edifícios em face da sua durabilidade.

Com intuito de entender a geração de resíduos nas fases de construção, manutenção e reformas nos edifícios, Condeixa *et al.* (2014) promoveram um estudo de caso sobre a ACV do sistema de alvenarias internas de uma casa tradicional brasileira. O estudo levou em consideração o consumo de materiais, de água e de energia, bem como os resíduos gerados na produção das paredes, tendo como premissa a durabilidade de 50 anos para a construção nestes padrões. A conclusão do estudo foi de que a “fase de utilização” da edificação é que produz maior impacto na vida útil das paredes, visto que reformas e manutenções geram o consumo de novos materiais, provocando novos impactos na sua obtenção, bem como na destinação dos materiais substituídos. Salientaram a importância da reciclagem como forma de reduzir a extração/produção de MP's, assim como reduzir o descarte de resíduos ocorridos na fase de manutenção/reforma nas edificações.

No sentido de avaliar o uso global da ACV na construção civil, Matthias *et al.* (2013) elaboraram a compilação de 167 artigos, voltados ao tema: “estudo de caso da construção civil com aplicação da metodologia ACV”, entre os anos de 1997-2011. Foram pesquisados estudos de caso nos países: Argentina, Austrália, Bélgica, Canadá, China, Colômbia, Escócia, Espanha, Estados Unidos, Finlândia, França, Índia, Israel, Itália, Japão, Noruega, Nova Zelândia, Reino Unido, Suécia, Suíça e Tailândia. Os estudos focavam a ACV em edifícios como um todo e não segmentado pelos seus materiais construtivos, ainda assim promovendo diferentes considerações quanto ao impacto gerado em cada caso. Assim, o estudo se mostrou proveitoso na quantificação de trabalhos científicos realizados com a ferramenta ACV na construção civil, mas não como fornecimento de parâmetros de comparação entre eles.

### 2.2.2.1 *Sustentabilidade na indústria da construção civil*

A sustentabilidade será vista primeiramente com base nos seus conceitos e

princípios; pela conceituação de desenvolvimento sustentável (DS) e sua vinculação com a indústria cerâmica e de RC; com relação à produção limpa, especificamente os mecanismos voltados à produção cerâmica.

Segundo Nascimento (2012), em seu trabalho em que relaciona o aspecto ambiental e o aspecto econômico, a sustentabilidade “*refere-se à capacidade de recuperação e reprodução dos ecossistemas (resiliência) em face de agressões antrópicas (uso abusivo dos recursos naturais, desflorestamento, fogo etc.) ou naturais (terremoto, tsunami, fogo etc.)*”. Esta definição, ou indicação, está baseada no equilíbrio e integração entre os pilares ambiental, social e econômico, destacada por Carter e Rogers (2008) como *Triple Bottom Line (TBL)*, em seu trabalho em que preconiza uma nova forma de ver a gestão sustentável da cadeia de suprimentos. Neste mesmo contexto, Carter e Rogers (2008) afirmam que somente este equilíbrio permitirá às organizações manterem-se competitivas e ao mesmo tempo alinhadas com as preocupações para com as gerações futuras.

O equilíbrio, com base na TBL, é mostrado na Figura 10, de modo que deve fornecer suporte a uma organização em termos de competitividade em longo prazo, para que as mudanças em prol do meio ambiente beneficiem também a corporação, sendo tratadas como investimentos e não apenas como despesas. Assim, a sustentabilidade vem se tornando uma combinação de fatores com o intuito de desenvolver metodologias e processos a fim de potencializar o sistema produtivo atual de maneira “mais limpa”, sintonizando-os de forma benéfica com o meio ambiente (CARTER E ROGERS, 2008).

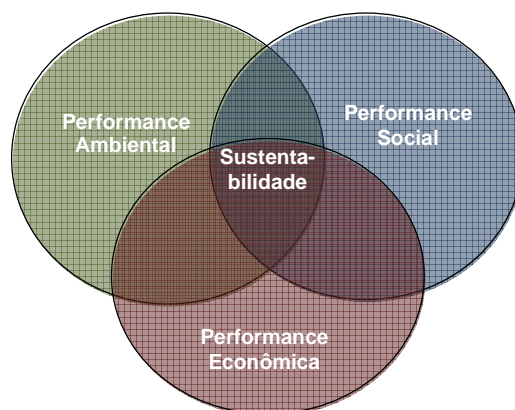


Figura 10: Integração das performances ambiental, social e econômica, denominada *Triple Bottom Line – TBL*

Fonte: Carter e Rogers (2008)

Os conceitos e definições de desenvolvimento sustentável começaram a ser discutidos na década de 1980. Porém foi no ano de 1987 em que a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), estruturou e definiu DS como sendo “um desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações”.

Por outro lado, Oliveira *et al.* (2007) apresentam outra definição para o DS: “*processo contínuo de melhoria das condições de vida (de todos os povos), enquanto minimize o uso de recursos naturais, causando um mínimo de distúrbios ou desequilíbrios ao ecossistema*”. Além disso, destaca que o DS deve minimizar o uso de recursos naturais para satisfazer as necessidades da geração atual, de tal forma que a geração futura continue fazendo uso destes recursos naturais em suas necessidades, com ecossistemas equilibrados quanto à retirada de insumos da natureza em face da sua geração.

Assim, a interligação entre os aspectos ambiental, econômico e social, constitui um modelo de desenvolvimento econômico harmonizado com a conservação ambiental, juntamente com a questão social, em que alguns pontos devem ser destacados (CARTER E ROGERS, 2008; YAMAMOTO e COUTINHO, 2019):

- a dimensão da preservação ambiental: os cuidados com o planeta, a proteção ambiental, os recursos renováveis, a gestão de resíduos, a gestão de riscos ambientais, etc.;
- a dimensão do crescimento econômico: a prosperidade, o resultado econômico, o direito dos acionistas, a competitividade, a relação entre clientes e fornecedores, etc.;
- a dimensão do progresso social: a dignidade humana, os direitos humanos, os direitos dos trabalhadores, o envolvimento com a comunidade, a transparência, a postura ética, e outros.

Estas dimensões são sintetizadas na Figura 11.



Figura 11: As três dimensões do desenvolvimento sustentável (DS)  
 Fonte: Carter e Rogers (2008); Yamamoto e Coutinho (2019)

Com relação ao setor produtivo, voltado ao meio empresarial, a Figura 12 mostra uma nova maneira de fazer negócios, baseada nos pilares econômico, ambiental e social do DS, segundo Strobel *et al.* (2006) e Yamamoto e Coutinho (2019).

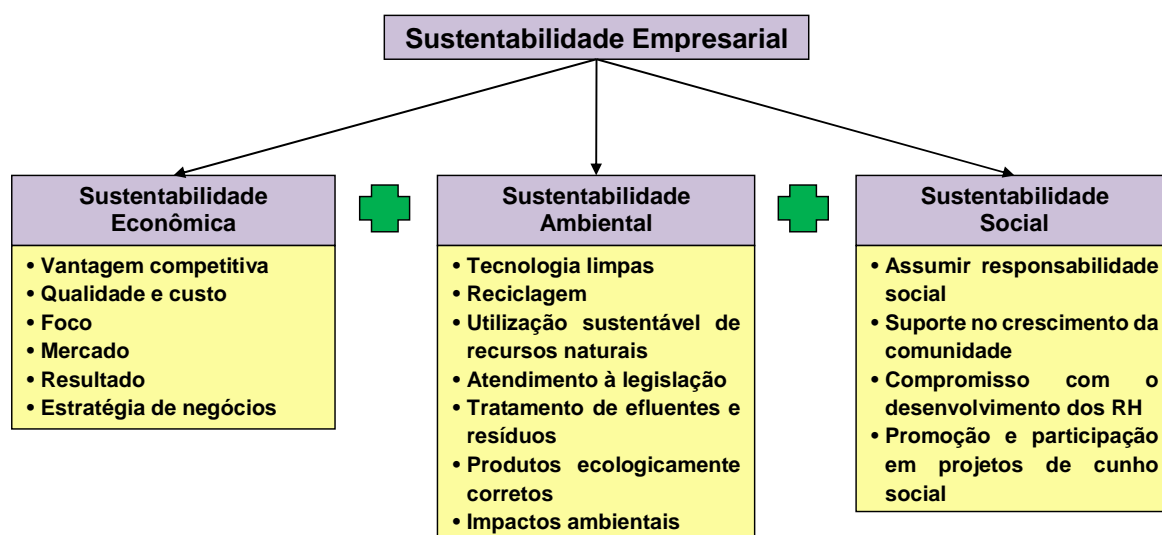


Figura 12: Modelo de sustentabilidade empresarial  
 Fonte: Strobel *et al.* (2006) e Yamamoto e Coutinho (2019)



Segundo Latorre (2014), em seu trabalho sobre o DS e a sustentabilidade empresarial com base no tríplice equilíbrio, a sustentabilidade ambiental pode ser alavancada pela limitação no uso dos recursos esgotáveis e sua substituição pelos renováveis, pela geração de tecnologias limpas (produção mais limpa: P+L) e mecanismos administrativos de proteção ambiental. Também, destaca a importância da reciclagem como forma de reduzir o consumo de recursos esgotáveis, assim como o uso de energias obtidas a partir de fontes renováveis e o cuidado redobrado com o uso da água. Ainda, neste sentido Latorre (2014, pp. 12-13) faz a afirmação sobre a sustentabilidade empresarial:

*“A empresa ambientalmente responsável investe em tecnologia com alternativas antipoluentes, recicla produtos e lixo, cria área verde, mantém um relacionamento ético com os órgãos de fiscalização, executa um programa interno de educação ambiental, diminui ao máximo o impacto dos resíduos da produção no ambiente, é responsável pelo ciclo de vida de seus produtos e serviços e dissemina para a cadeia produtiva práticas relativas ao meio ambiente.”*

Coerentemente com a afirmação anterior, o empresário que investe em sustentabilidade empresarial, não deixa de visar o lucro com a produção e comercialização de seus produtos; mas visa também contribuir com o meio ambiente ao adotar posturas que vão desde a utilização de fontes energéticas renováveis em substituição aos combustíveis fósseis, até a aplicação do conceito 3R (reduzir, reciclar e reutilizar) no intuito de minimizar a extração de recursos não renováveis da natureza (STROBEL *et al.*, 2006; ATITUDES SUSTENTÁVEIS, 2016).

Neste mesmo sentido do desenvolvimento sustentável empresarial, são necessárias atitudes sustentáveis, tais como a implantação de tecnologias para a P+L, como a utilização de equipamentos capazes de manter ou melhorar a qualidade dos produtos, equipamentos e processos que consigam reduzir a emissão de poluentes no meio ambiente, nas fases de fabricação, de distribuição ou de venda dos produtos. Adicionalmente, destaca-se a preocupação social com o bem estar dos funcionários envolvidos na produção

e com a comunidade envolvida no ciclo de vida do produto (STROBEL *et al.*, 2006; ATITUDES SUSTENTÁVEIS, 2016).

No que se refere à sustentabilidade social, Nascimento (2012) defende que uma sociedade sustentável supõe que todos tenham o mínimo necessário para uma vida digna e que ninguém consuma bens, recursos naturais e energéticos que sejam prejudiciais a outros. Por conseguinte, a empresa preocupada com a sustentabilidade social deve se envolver com a comunidade, desenvolvendo e capacitando os recursos humanos, promovendo e participando em projetos de cunho social, o que resulta na melhoria da qualidade de vida das pessoas.

Ainda, no contexto do desenvolvimento sustentável, voltado para os mecanismos utilizados para o promoverem, Da Silva *et al.* (2008), em trabalhos feitos com relação às questões ambientais, como a P+L, apontam para a necessidade de evitar resíduos e emissões, de promover o retorno dos resíduos ao processo produtivo, assim como a reciclagem externa e deposição final de resíduos. Os autores afirmam ainda que a estratégia de redução (ou eliminação) de resíduos/poluentes na fonte geradora consiste no desenvolvimento de ações que promovam a redução de desperdícios, a conservação de recursos naturais, a redução ou eliminação de substâncias tóxicas presentes em MP's ou produtos auxiliares, a redução da quantidade de resíduos gerados por processos e produtos, e conseqüentemente, a redução de poluentes lançados para o ar, solo e águas. Desta forma, a P+L deve estar no centro das estratégias para o desempenho sustentável, em que é primordial os esforços para a minimização de emissão resíduos, assim como o seu reuso (ALVARENGA E QUEIROZ, 2009).

A Figura 13 mostra a compilação das opções de procedimentos da P+L, nos níveis elencados por Da Silva *et al.* (2008) e Alvarenga e Queiroz (2009), em que as ações devem se iniciar pelo nível 1, passar ao nível 2 e, então, seguir para o nível 3. As opções de reciclagem devem ser adotadas depois que as técnicas de prevenção foram implantadas, pois a P+L não significa maximizar o uso de reciclagem ou de tecnologias de controle da contaminação, e sim saber aproveitar os equipamentos e as tecnologias existentes com o objetivo de gerar o mínimo possível de impacto ambiental.

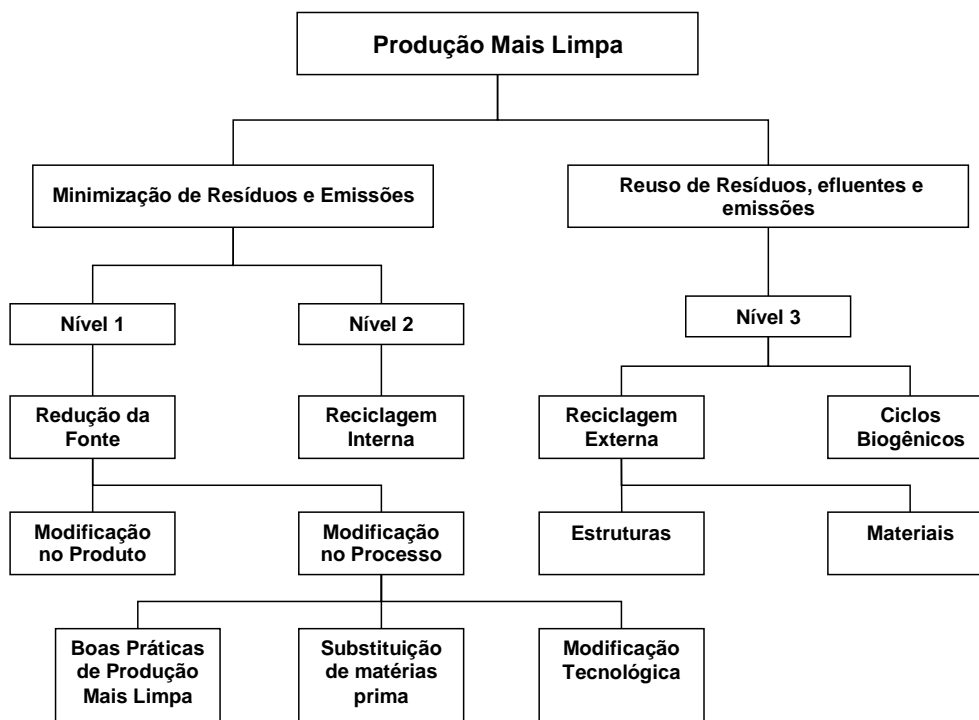


Figura 13: Diagrama simplificado da geração, emissão e reuso de resíduos  
 Fonte: Da Silva *et al.* (2008) e Alvarenga e Queiroz (2009)

Karlsson e Luttrupp (2006), em estudos sobre o papel do *ecodesign* na questão ambiental, destacam a ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como forma de medir o grau de sustentabilidade de um produto, uma vez que seu objetivo é avaliar os impactos produzidos por um produto, desde a extração das MP's utilizadas na sua fabricação, até o seu descarte final.

Com relação à indústria cerâmica, mais especificamente do RC, é preciso ter preocupação com o consumo de MP e o impacto ambiental provocado por sua extração, com o consumo de energia, bem como a fonte geradora da energia; por fim, com o impacto ambiental provocado pelas emissões nas diversas etapas da produção (KUASOSKI *et al.*, 2015).

Na fabricação dos RC, considerando a lavra como o conjunto de operações de extração e beneficiamento do minério, um dos impactos ambientais de maior destaque corresponde à etapa da extração de argila (que é a principal MP), que causa a degradação do solo, provoca outros danos ambientais tais como o desmatamento da vegetação nativa, a poluição do ar e do solo, o esgotamento da jazida, a compactação do solo e a consequente degradação por assoreamento (PORTELA e GOMES, 2005).

Em trabalhos feitos por Christofolletti e Moreno (2011), que estudaram a sustentabilidade da mineração em um polo cerâmico do interior do Estado de São Paulo que tem grande relevância para a produção de RC, destacam-se os impactos ambientais ocasionados pela extração em minas a céu aberto das MP's, constituídas principalmente por siltitos, argilitos, folhelhos e arenitos:

- a turbidez na água superficial, em que o impacto ocorre nos períodos chuvosos, onde os grãos finos advindos da mina e do pátio de secagem são carregados para as redes de drenagens;
- a geração de particulados/finos nas etapas de pré-beneficiamento, carregamento, transporte para armazenamento, distribuição e secagem do material em pátios, nos quais o impacto ambiental ocorre devido a emissão de particulados para atmosfera e que se agrava nos períodos de estiagem;
- a desconfiguração da paisagem local que é provocada pela supressão da vegetação em decorrência do decapeamento superficial na extração do minério, culminando com a destruição de nichos ecológicos.

Estudos feitos por Rabelo *et al.* (2011), relacionados à sustentabilidade em uma indústria cerâmica, destacaram a importância do uso, tratamento e reuso da água no processo de produção do RC. Mostraram que cerca de 30% da água utilizada no processo se perde sob a forma de vapor e que 70% é objeto de tratamento para reuso na produção. Os autores elegeram este recurso como um dos maiores consumos na produção do RC sendo passível de melhoria de forma imediata.

Outros trabalhos feitos por Huang *et al.* (2013) sobre a aplicação da P+L como estratégia sustentável na produção do RC, apontam que as etapas de preparação da massa e de queima consomem em torno de 77% de toda água limpa consumida no processo produtivo. Outro dado importante, indica o consumo de 121.453 L de água para a produção de 240 t de RC, em que o consumo de água corresponde a aproximadamente 50% da massa do RC produzido.

Também, Shu *et al.* (2012-a,b) realizaram dois estudos e testes comparativos sobre a P+L na produção de porcelanato, no preparo da massa cerâmica pelo uso tradicional do atomizador e pelo uso do processo de moagem com adição

de água (*DPGP – droplet-powder granulation process*). Um estudo analisou a granulometria do pó processado pelos dois métodos (SHU *et al.*, 2012-a) e outro analisou o produto após a queima, também utilizando o pó processado pelos dois métodos. Como resultado, apontaram para a significativa redução no uso da água (69%), economia de energia (24%) e redução nas emissões de partículas na atmosfera (98%). Por outro lado, mesmo que a nova tecnologia esteja avançando, o comportamento do pó produzido por esta tecnologia ainda se encontra qualitativamente inferior ao produzido pelo tradicional sistema de atomização, ensejando melhorias (SHU *et al.*, 2012-b).

Com relação à emissão de poluentes para a atmosfera, Peng *et al.* (2012) promoveram um estudo de caso para mapear a emissão de CO<sub>2</sub> na produção do RC (Figura 14), bem como apontar opções de redução da emissão. No estudo foi apontado que o grande emissor de CO<sub>2</sub> no processo produtivo foi a etapa de queima (57%), seguido pela etapa de atomização (26%), que em conjunto são responsáveis por 83% das emissões de CO<sub>2</sub> em todo processo produtivo. Os autores apontaram como opções de redução das emissões no processo de queima a troca da fonte de energia térmica (carvão) por gás natural (GN); e as melhorias na eficiência energética com a aplicação de novas tecnologias, tais como processo rápido de queima única em baixas temperaturas.

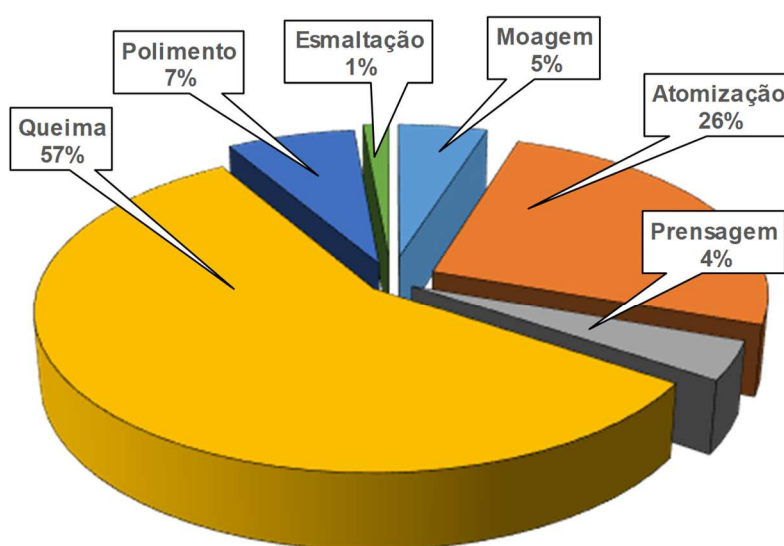


Figura 14: Contribuição das etapas da produção do RC na emissão de CO<sub>2</sub>  
Fonte: PENG *et al.* (2012)

Rabelo *et al.* (2011) e Huang *et al.* (2013), reportaram a grande participação da água na composição da produção da massa do RC, bem como a sua perda por emissão na atmosfera na forma de vapor, que carrega por meio de arraste, materiais particulados e CO<sub>2</sub>.

A Tabela 7 mostra a compilação dos autores e seus respectivos estudos que contribuíram para a conceituação da sustentabilidade na produção do RC; de modo que se destaca o trabalho desenvolvido por Rabelo *et al.* (2011) relacionado ao tratamento e reaproveitamento da água utilizada no processo produtivo do RC; o trabalho desenvolvido por Peng *et al.* (2012) relativo à emissão de CO<sub>2</sub> pela indústria cerâmica, aos estudos de Huang *et al.* (2013) por meio do uso de ferramentas da P+L na indústria do RC como forma de prover a sustentabilidade do processo; assim como o trabalho de Kuasoski *et al.* (2015) relacionado à extração e transporte da argila.

Tabela 7: Referências sobre sustentabilidade na produção do RC, com suas contribuições e relações com ACV e RC

Autor(es)	Ano	Objetivo	Ferramenta Utilizada	Resultados	Aplicação/Setor	Relação com ACV de RC
PORTELA e GOMES	2005	Avaliar os danos ambientais resultantes da extração de argila em Terezina.	Pesquisa quantitativa com levantamento de campo em 17 minas de extração de argila.	Degradação do meio ambiente com exploração até que não haja mais vegetação nativa, poluição dos solos, assoreamento dos cursos d'água. Depois de degradada a mina é abandonada e outra é aberta.	Indústria da cerâmica vermelha.	Não se aplica
KARLSSON e LUTTROPP	2006	Ecodesign na questão ambiental	ACV	Medir o grau de sustentabilidade; Avaliação do impacto do produto desde a extração da matéria prima até o descarte final.	Genérico.	Não se aplica
CHRISTOFOLETTI e MORENO	2011	Busca pela sustentabilidade da mineração em um polo ceramista do interior do Estado de São Paulo, apontando os impactos ambientais na extração, bem como as características das argilas que abastecem o polo ceramista.	Pesquisa quali e quantitativa baseada em revisão de literatura.	Impactos ambientais e ações mitigadoras para sua redução com relação à poluição, supressão da vegetação com destruição de nichos ecológicos, desconfiguração do da paisagem, turbidez na água superficial e erosão do solo.	Indústria cerâmica do RC.	Se aplica na medida que contribuiu na elaboração do fluxograma do processo produtivo do RC.
RABELO <i>et al.</i>	2011	Pesquisa da sustentabilidade no processo de produção do RC, principalmente no uso e reuso da água.	Pesquisa exploratória qualitativa com auxílio do SICOGEA (Sistema Contábil Gerencial Ambiental).	O processo e a empresa estudados apresentaram-se deficitários segundo o critério adotado na pesquisa, sendo apontado como processo de melhoria o tratamento e reaproveitamento da água utilizada na produção.	Indústria cerâmica.	Não se aplica, porém norteia o fato de que o tratamento e reuso da água na produção cerâmica é essencial a preservação ambiental.
SHU <i>et al. - a</i>	2012	Determinar a qualidade da massa cerâmica produzida com o pó pelo gerado pelo processo de moagem com adição de água (DPGP – droplet-powder granulation process) e massa cerâmica produzida com o pó gerado pela atomização tradicional.	Pesquisa exploratória com levantamento de campo.	Determinou-se que a qualidade do pó atomizado pelo uso do processo de moagem com adição de água (DPGP – droplet-powder granulation process) se mostrou mais adequado à fabricação do RC do que o pó produzido pela atomização tradicional.	Indústria cerâmica do RC.	Não se aplica.
SHU <i>et al. - b</i>	2012	Determinar a qualidade do RC cuja massa cerâmica foi produzida com o pó obtido pelo processo de moagem com adição de água (DPGP – droplet-powder granulation process) e o RC cuja massa cerâmica foi produzida pela atomização tradicional.	Pesquisa exploratória com levantamento de campo.	Determinou-se que o RC produzido com o pó atomizado pelo uso do processo de moagem com adição de água (DPGP – droplet-powder granulation process) apresentou algumas propriedades finais melhores do que o RC produzido pela atomização tradicional, precisando ser aprimorado em outras propriedades excenciais ao RC, assim não podendo substituir-se incondicionalmente a atomização tradicional.	Indústria cerâmica do RC.	Não se aplica.
PENG <i>et al.</i>	2012	Mapear as emissões de poluentes na atmosfera na produção do RC.	Pesquisa quantitativa baseada em revisão de literatura e levantamento de campo.	Determinou os pontos do processo responsáveis pela emissão de CO <sub>2</sub> , bem como as incidências em cada um destes pontos.	Indústria cerâmica do RC.	Se aplica parcialmente pois os resultados do estudo serviram de parâmetro de comparação direta com os resultados de emissão de CO <sub>2</sub> obtidos no presente estudo.
HUANG <i>et al.</i>	2013	A utilização de ferramentas da P+L como estratégia de sustentabilidade na produção do RC.	Estudo de Caso	O estudo aponta que a utilização de ferramentas da P+L tais como eficiência energética, tratamento e reuso da água, controle de processos e treinamento de funcionários, como diferencial na sustentabilidade do processo produtivo.	Indústria cerâmica do RC.	Se aplica parcialmente pois descreve detalhadamente as etapas do processo de produção do RC; aponta os consumos totais de energia e de água nestas etapas e, principalmente, aponta a utilização de ferramentas da P+L como estratégia de sustentabilidade em uma planta de produção de RC na China. Apresenta um fluxograma do processo no qual apontam as diversas emissões na atmosfera que o processo gera e outro fluxograma que aponta as entradas de massa, bem como a massa total em cada etapa da produção do RC.
KUASOSKI <i>et al.</i>	2015	Avaliação do impacto socioambiental provocado pelas emissões nas diversas etapas da produção da cerâmica vermelha, principalmente na extração e transporte da argila.	Pesquisa qualitativa baseada em revisão de literatura.	Impactos ambientais e ações mitigadoras para sua redução com relação à poluição, erosão do solo, assoreamento de cursos d'água, emissão de ruídos, supressão de vegetação e impacto visual.	Indústria cerâmica do RC.	Se aplica parcialmente na etapa inicial do ciclo de vida do RC (berço).

### 2.2.3 Aplicação da ACV em materiais cerâmicos

A utilização da metodologia ACV nos materiais cerâmicos está segmentada nos diversos produtos provenientes deste ramo industrial.

Por exemplo, De Souza *et al.* (2015) desenvolveram pesquisas em que fizeram comparação entre a ACV das telhas cerâmicas e a ACV das telhas de concreto. Como resultado, mostraram que as telhas cerâmicas têm menor impacto na mudança climática e esgotamento de recursos do que as telhas de concreto, principalmente no que se refere às emissões de GEE. Também mostraram que emissões ocorridas durante o ciclo de vida das telhas cerâmicas, correspondem praticamente a 1/3 das emissões ocorridas no ciclo de vida das telhas de concreto. Ainda, no ciclo de vida das telhas cerâmicas, o consumo de energia é em torno de 40% menor do que a das telhas de concreto.

Com relação a fabricação de blocos e tijolos cerâmicos, destaca se o estudo realizado pela ANICER sobre a ACV, em que a Figura 15 mostra o fluxograma simplificado do ciclo de vida do bloco cerâmico.

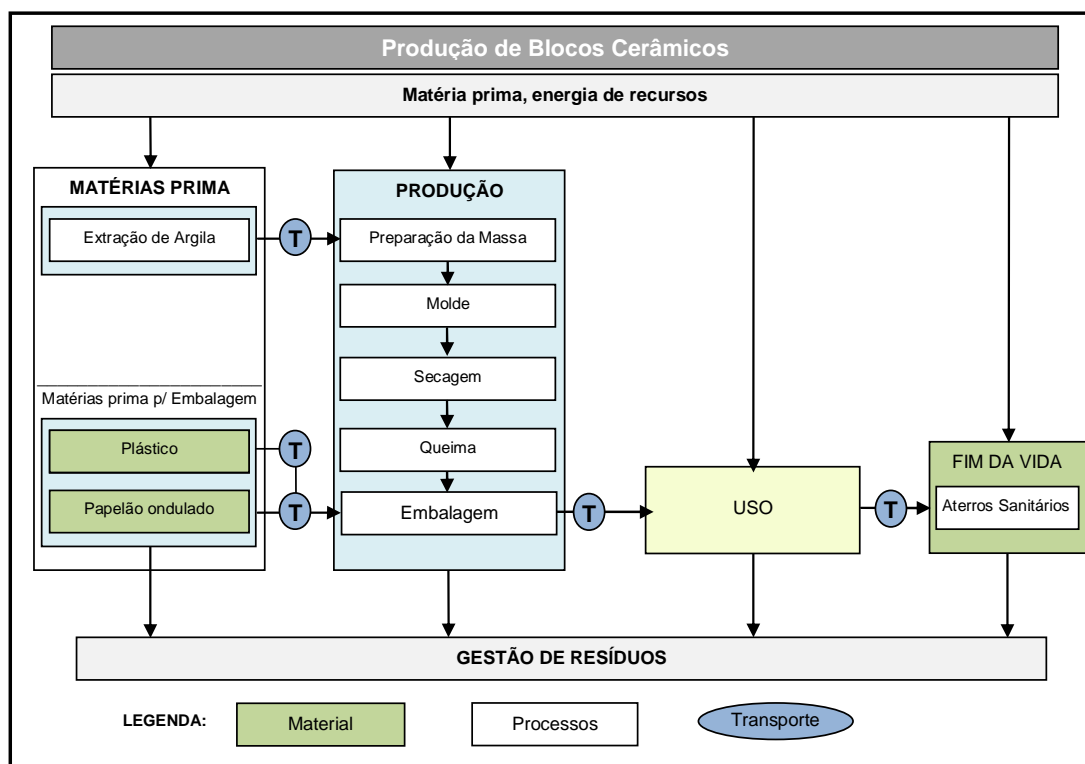


Figura 15: Ciclo de vida dos blocos cerâmicos  
Fonte: ANICER (2012)



Também, destaca-se trabalho realizado sobre a aplicação da ACV, na forma de comparação feita entre as paredes externas construídas com blocos cerâmicos, blocos de concreto e concreto armado moldado *in loco*. O estudo teve como objetivo identificar e compreender os impactos ambientais gerados na construção das paredes produzidas com cada um dos três tipos de materiais. Como resultado, verificou-se que uma parede de blocos cerâmicos gera menos impacto ambiental do que uma parede de blocos de concreto, assim como do que uma parede feita com concreto moldado *in loco*. Também, os estudos mostraram que a produção do bloco cerâmico apresenta o menor impacto ambiental, comparado aos outros elementos e que consomem mais energia ligados à produção do cimento e o aço ANICER(2011, 2012).

#### 2.2.3.1 Aplicação da ACV em revestimentos cerâmicos

A aplicação da ferramenta ACV em revestimentos cerâmicos (RC) é destacada sob o aspecto comparativo de performance ambiental, o balanço de energia e balanço de massa, entre o RC e outros tipos de revestimentos.

Trabalhos feitos por Nicoletti *et al.* (2002), sobre a aplicação da ACV, foram desenvolvidos com objetivo de comparação entre o RC para piso e o revestimento de piso na forma de placas de mármore, visando identificar o melhor perfil ambiental. O revestimento de mármore possui consumo de 161,83 MJ para a produção de 1,0 m<sup>2</sup> de piso (sendo 92% na forma de energia elétrica); enquanto que o RC apresentou um consumo de 161,67 MJ para a produção da mesma quantidade de revestimento (sendo 70% na forma de energia térmica). Com relação ao consumo de água no processo, foram consumidos 24 L para produção de 1,0 m<sup>2</sup> de RC e, por outro lado, 66,4 L para a produção de 1,0 m<sup>2</sup> de revestimento de mármore. Ainda, observaram que foram reciclados 21,6 L de água no processo produtivo dos RC, contra 43,1 L no processo de produção do revestimento de mármore. Também, observaram que a produção do esmalte e a sinterização do RC liberaram na atmosfera maior quantidade de poluentes, comparado ao processo de produção do revestimento de mármore.

Outros trabalhos feitos por Kulay *et al.* (2010), com relação a ACV de RC, tipo porcelanato, fabricado por indústrias do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande

do Sul, tiveram por finalidade buscar subsídios para melhorias no processo produtivo. Como resultados, indicaram o aproveitamento do ar quente dos processos de queima e de atomização, a revisão dos meios de transporte dos insumos, e a melhora da eficiência energética no processo. Outro fator ambiental apontado foi com relação às emissões atmosféricas decorrentes da queima, assim como das peças fora de especificação, serem as principais perdas do processo.

Para a ACV voltada à produção do RC, Ibáñez-Forés *et al.* (2011) avaliaram a produção em 35 empresas espanholas, visando observar, além do consumo de energia e de insumos nas fases do processo produtivo, alguns aspectos do seu impacto ambiental. Quanto ao consumo de energia, os dados mostraram que a etapa de queima do RC é a que mais consome energia térmica, por meio do uso do gás natural (GN). Quanto ao consumo de insumos, elaboraram um fluxograma simplificado de processos (Figura 16).

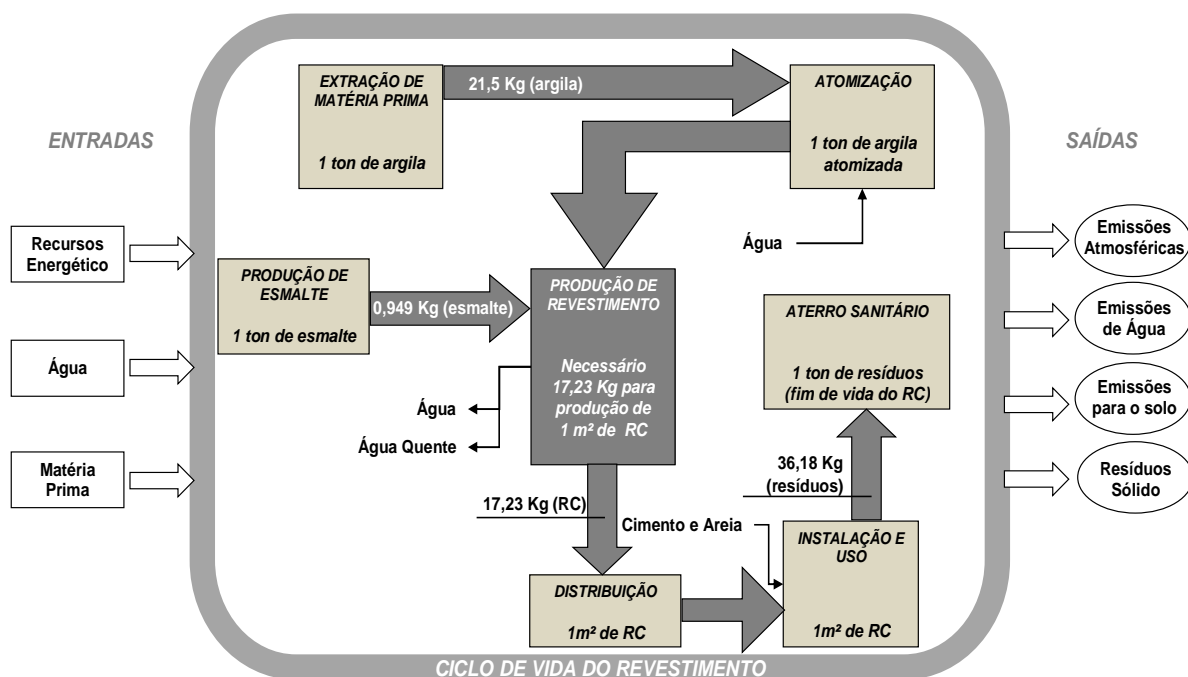


Figura 16: Ciclo de vida do RC: entradas, saídas, unidades funcionais e fluxos de insumos nos processos

Fonte: Ibáñez-Forés *et al.*, 2011

Pini *et al.* (2014) estudaram a ACV do RC de grandes dimensões e pequena espessura, estruturado por uma película de fibra de vidro. O estudo abrangeu o consumo energético no processo e a emissão de GEE. Porém o fato de o

produto estudado possuir esta película de fibra de vidro, e um processo produtivo modificado em relação ao RC convencional, dificultam a comparação dos parâmetros obtidos pelos autores, quer seja por incluir MP's diferentes e seus respectivos processos de extração/preparo, quer seja por possuir consumos energéticos em etapas não contempladas na produção do RC convencional, além do fato de o RC por eles estudado possuir características físicas diferentes (massa do RC por m<sup>2</sup> inferior aos demais tipos de RC).

Outros trabalhos foram realizados por Han *et al.* (2015) por meio de estudo comparativo entre fachadas compostas por painéis cerâmicos, por vidro, por mármore e por placas de alumínio. O estudo avaliou como impactos ambientais: esgotamento de recursos, criação de oxidantes fotoquímico, aquecimento global, acidificação, eutrofização, esgotamento da camada de ozônio e toxicidade humana. Em geral, os painéis cerâmicos tiveram desempenho superior aos demais elementos, ficando atrás do vidro, e das placas de alumínio com relação ao esgotamento de recursos e toxicidade.

A Tabela 8 mostra a compilação dos autores e seus respectivos estudos que contribuíram para a conceituação da ACV na produção do RC, bem como a forma com que esta contribuição aconteceu e sua respectiva limitação.

O referencial teórico voltado à ACV contribuiu para a formulação do fluxograma do processo produtivo do RC, assim como parâmetro para quantificação do consumo de energia e de massa, envolvidos no processo produtivo do RC. Assim, os trabalhos que tiveram destaque para formulação do fluxograma do processo produtivo do RC foram: Nicoletti *et al.* (2002), Ibañez-Forés *et al.* (2011), Pini *et al.* (2014) e Han *et al.* (2015).

Por outro lado, os estudos que mais contribuíram como parâmetro para o balanço de energia e balanço de massa no processo produtivo do RC foram Nicoletti *et al.* (2002), Pini *et al.* (2014) e Ibañez-Forés *et al.* (2011).

Tabela 8: Referências sobre estudos em ACV na produção do RC, com suas contribuições e limitações

Autor(es)	Ano	Objetivo	Fluxograma (utilizado/produzido)	Resultados			
				Consumo de energia/ m <sup>2</sup> de RC	Massa / m <sup>2</sup> de RC	Emissões na natureza	Limitações
Nicoletti <i>et al.</i>	2002	Estabelecer a comparação do impacto ambiental gerado na produção do RC e do revestimento em placas de mármore.	Fluxograma do ciclo de vida do RC, com ênfase para o uso, tratamento e reaproveitamento de água.	Total de energia consumida por m <sup>2</sup> de RC = 44,91 KWh	20,17 Kg	Estudo tratou as emissões na natureza como indicadores de impacto ambiental. Não apontando dados de emissão de CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> de RC.	Os dados utilizados no estudo são baseados em literatura, não sendo originados de levantamento específico do estudo.
Kulay <i>et al.</i>	2010	Elaborar o inventário da ACV do RC tipo porcelanato para estabelecer o desempenho ambiental do produto. O estudo traz como relevância para a eficiência energética do processo produtivo o reaproveitamento do ar quente dos processos de queima na atomização.	O estudo não utilizou nem produziu qualquer fluxograma.	Dado não apontado no estudo.	Dado não apontado no estudo.	Dado não apontado no estudo.	Os dados apresentados no estudo são referentes à produção de 1.000Kg de porcelanato, não traduzido em m <sup>2</sup> de RC. Assim, não apresenta parâmetros de comparação para o presente estudo.
Ibáñez-Forés <i>et al.</i>	2011	Avaliação do impacto ambiental de forma estatística através da ACV do RC procedida em 35 empresas da Espanha.	Fluxograma do ciclo de vida do RC apontando as entradas, saídas, unidades funcionais e fluxos de insumo nos processos da produção do RC.	Dado não apontado no estudo.	17,23 Kg	Estudo tratou as emissões na natureza como indicadores de impacto ambiental. Não apontando dados de emissão de CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> de RC.	O estudo é uma compilação de estudos em 35 empresas e os dados apresentados são baseados em literatura. Especialmente em relação ao consumo energético, os dados são apresentados por ton de RC, sem contudo apontar o peso de RC/m <sup>2</sup> , Desta forma, dificulta a parametrização adotada no presente estudo.
Pini <i>et al.</i>	2014	Avaliação dos impactos ambientais, consumo energético e emissão de CO <sub>2</sub> na produção do RC de grandes dimensões e pequena espessura, utilizando película de fibra de vidro para estruturar o RC.	Fluxograma do ciclo de vida do RC de grandes dimensões, incluindo especificidades do processo produtivo, no qual são apontados os tipos de energia consumidos e as respectivas emissões em cada etapa do processo produtivo.	Total de energia consumida por m <sup>2</sup> de RC = 40,00 KWh	8,2 Kg	Estudo tratou as emissões na natureza como indicadores de impacto ambiental. Não apontando dados de emissão de CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> de RC.	O RC objeto do estudo apresenta grandes dimensões e pequena espessura. Por esta característica (pequena espessura) a massa do RC por m <sup>2</sup> é inferior a massa dos demais tipos de RC, tornando a comparação direta dos dados de energia e de massa inadequada.
Han <i>et al.</i>	2015	Estudo comparativo de revestimentos cerâmicos de fachada com placas de mármore e placas de alumínio utilizando a ferramenta ACV para determinar os impactos ambientais nas etapas do processo produtivo dos três tipos de revestimento.	Fluxograma dos fluxos de material, energia, processos e resíduos do ciclo de vida do RC.	Dado não apontado no estudo.	Dado não apontado no estudo.	Estudo tratou as emissões na natureza como indicadores de impacto ambiental. Não apontando dados de emissão de CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> de RC.	O estudo permitiu apenas verificar que os painéis de RC tiveram um desempenho superior aos outros tipos de revestimento quanto aos impactos ambientais produzidos ao longo do ciclo de vida dos produtos.

### 2.3 A Energia e seu uso na Indústria

A energia é uma necessidade básica para os diferentes setores industriais em todo mundo, destacando-se a enorme quantidade de energia necessária ao desenvolvimento dos países nas últimas décadas. Em sentido contrário ao desenvolvimento econômico e industrial das nações, tem a preocupação com a economia de energia, em face do possível esgotamento de algumas das fontes de recursos energéticos.

O consumo total de energia no mundo atingiu aproximadamente  $1,29.10^9$  tep no ano de 2010, com previsão de atingir  $1,72.10^9$  tep em 2030. No setor industrial, o consumo atingiu em torno de  $0,46.10^9$  tep em 2010 com previsão chegar à  $0,61.10^{19}$  tep no ano de 2035, portanto, com estimativa de aumento acima de 30% no período EIA (2009) e HASANUZZAMAN *et al.* (2012).

As Figura 17 e Figura 18 mostram, respectivamente, o cenário da oferta da energia no Mundo (Ministério de Minas e Energia, 2017) e no Brasil (EPE, 2017). Observa se que a maior fonte de energia, tanto no mundo, quanto no Brasil é derivada do petróleo, com proporção de 32,1% e 36,5% respectivamente. Com relação a energia obtida a partir de fontes renováveis, o Brasil é privilegiado em relação ao mundo, com proporção superior a 43,5% no Brasil, contra 13,7% no mundo.

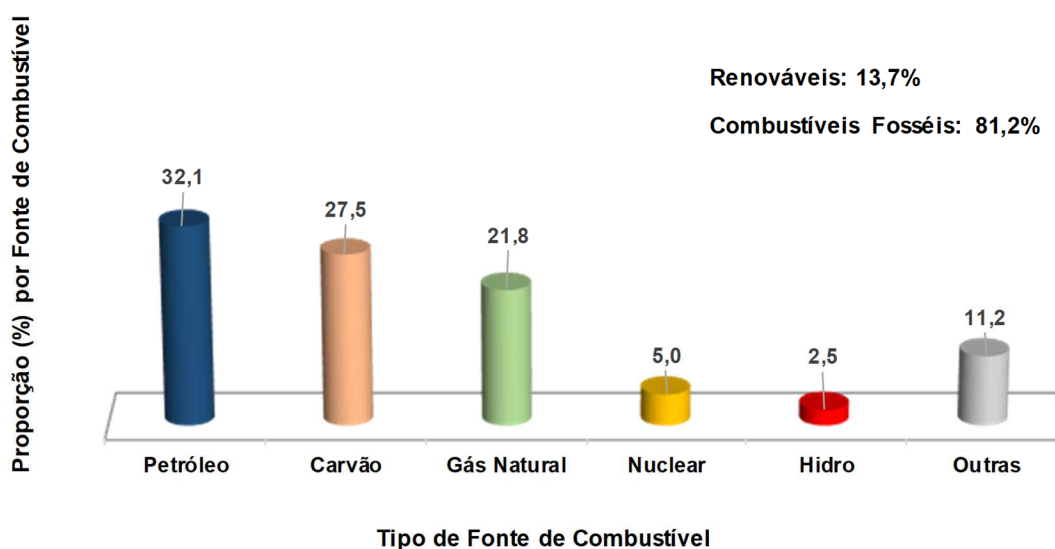


Figura 17: Matriz de oferta de energia no mundo, em 2016  
Fonte: MINISTÉRIO DE MINAS ENERGIA (2017)

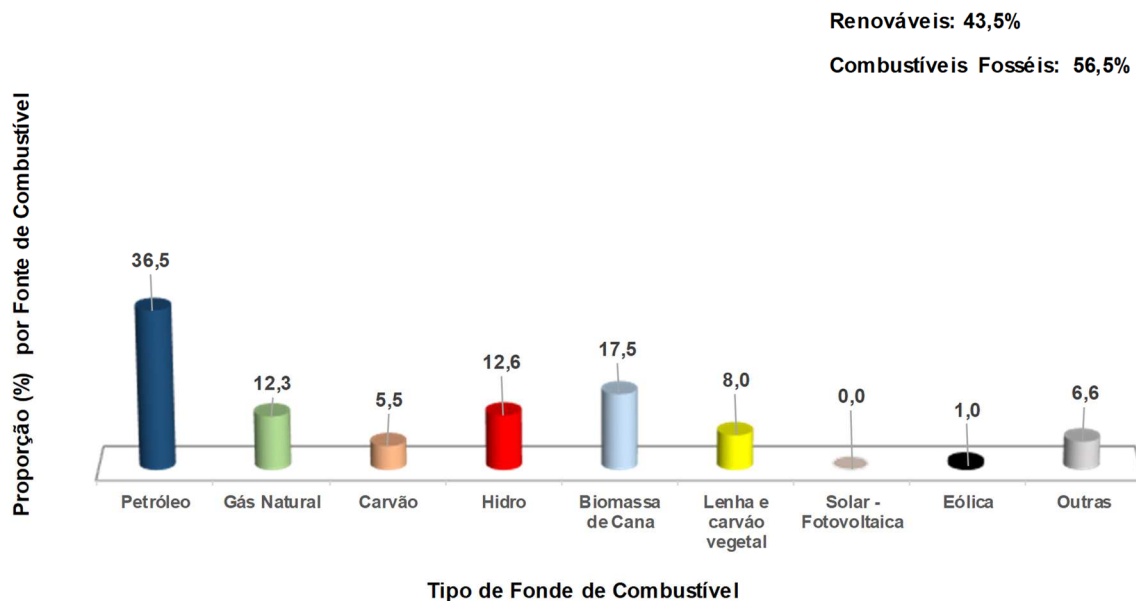


Figura 18: Matriz de oferta de energia no Brasil, em 2016

Fonte: EPE, 2017

Por outro lado, as Figura 19 e Figura 20 , mostram a oferta de energia elétrica no Mundo e no Brasil (EPE, 2017). Este cenário se torna importante na medida em que o Brasil apresenta uma matriz com elevada participação de fontes renováveis, acima de 81%, o que contrasta com a média mundial, de apenas 24%. A maior parcela da energia elétrica gerada no Brasil tem procedência de empreendimentos hidrelétricos, que respondem a 65,8% da capacidade instalada do País; sendo energia térmica a segunda modalidade de geração elétrica do País (9,76%), seguida por outras fontes, em menor proporção.

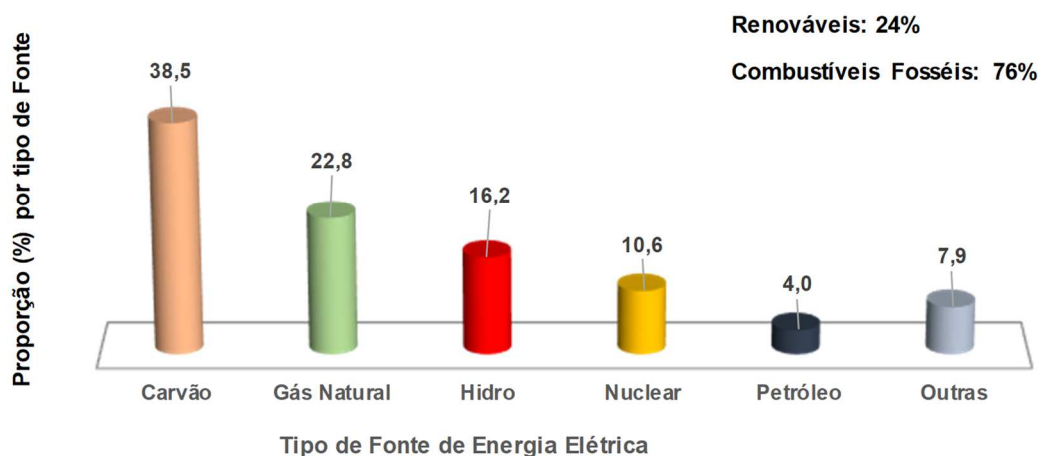


Figura 19: Matriz de oferta de energia elétrica no mundo, em 2016

Fonte: MINISTÉRIO DE MINAS ENERGIA (2017)

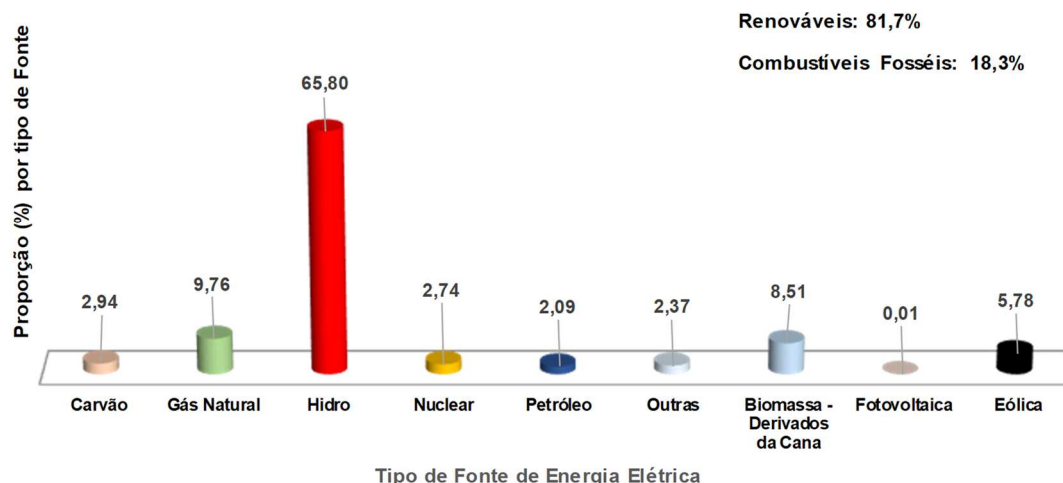


Figura 20: Matriz de oferta de energia elétrica no Brasil, em 2016  
Fonte: EPE, 2017

Uma vez que o Brasil tem cerca de 96.925 MW de potência instalada em suas hidrelétricas (EPE, 2017), a questão da diversidade hidrológica entre as bacias hidrográficas, bem como as sazonalidades de geração presentes no sistema, teve que ser planejada e dimensionada pelo sistema de transmissão entre as diversas regiões e bacias hidrográficas do País. Este planejamento viabilizou o aproveitamento da diversidade hidrológica entre as bacias hidrográficas.

A Tabela 9 mostra a evolução de consumo de alguns setores industriais brasileiros, no período 2013-2016 (EPE, 2017).

Tabela 9: Consumo de energia no setor industrial ( $10^3$  tep) e representação com relação à oferta de energia no Brasil

Setor Industrial	2013		2014		2015		2016	
Indústria de Alimentos e Bebidas	23.338	(9,0%)	22.209	(8,1%)	21.475	(8,2%)	23.531	(9,2%)
Indústria Siderúrgica	17.779	(6,9%)	17.786	(6,5%)	21.277	(8,1%)	18.901	(7,4%)
Indústria de Papel e Celulose	10.574	(4,1%)	11.423	(4,2%)	11.729	(4,5%)	12.382	(4,8%)
Indústria Química	6.985	(2,7%)	6.708	(2,5%)	6.874	(2,6%)	6.743	(2,6%)
Indústria Cerâmica	5.069	(2,0%)	5.079	(1,9%)	4.614	(1,8%)	4.272	(1,7%)
Indústria do Cimento	5.287	(2,0%)	5.338	(2,0%)	4.744	(1,8%)	4.271	(1,7%)
Indústria Têxtil	1.101	(0,4%)	1.017	(0,4%)	895	(0,3%)	842	(0,3%)

Fonte: EPE (2017)

Observa-se que houve retração de consumo de 2015 para 2016 na maioria dos seguimentos, exceto nas indústrias de alimentos e bebida e de papel e celulose. No que diz respeito à indústria cerâmica, ocorreu queda de 0,1% que

reflete a tendência de estabilização do nível de consumo de energia, provavelmente em função de melhoria na eficiência energética no parque industrial brasileiro, bem como na indústria cerâmica no Brasil.

Em 2016 a indústria cerâmica do Brasil foi responsável pelo consumo de aproximadamente 1,7% de toda energia ofertada no Brasil e por aproximadamente 5,1% de toda energia consumida no setor industrial, que corresponde a  $4.272 \times 10^6$  tep, sendo uma parte oriunda de fontes renováveis, como a hidroeletricidade e a maior parte da energia proveniente de combustíveis fósseis, principalmente o gás natural (SCHWOB *et al.*, 2009; HENRIQUES *et al.* 2010; EPE, 2017).

Complementando a informação sobre o consumo energético na indústria cerâmica, a Figura 21 mostra a evolução do consumo de energia na indústria cerâmica brasileira, que apresentou um crescimento linear no período 2007-2016, com decréscimo linear a partir de então (EPE, 2017).

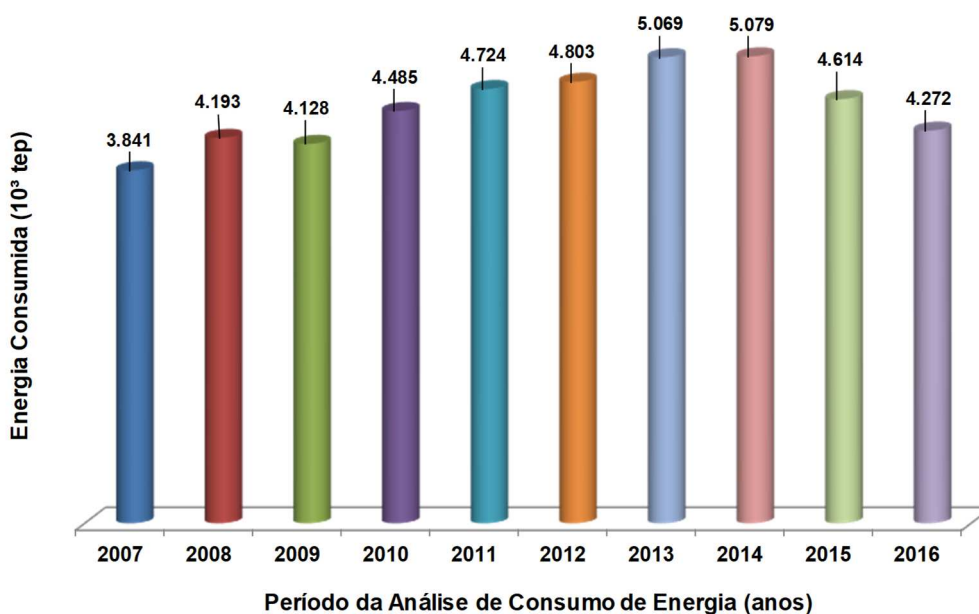


Figura 21: Consumo de energia no setor cerâmico brasileiro.

Fonte: EPE, 2017

O processo produtivo do RC utiliza basicamente a energia elétrica e a energia térmica em suas várias fases: obtenção e beneficiamento da MP, preparação da massa, prensagem, secagem, esmaltação, queima, classificação, empacotamento e expedição do produto pronto (IBANEZ-FLORES *et al.*, 2013; MESQUITA *et al.*, 2014).



Em trabalhos feitos por Ibañez-Florés *et al.* (2013), que promoveram estudo de caso em uma indústria de revestimentos cerâmicos e, por meio de levantamento de dados experimentais dos balanços de massa e de energia nas diversas etapas do processo produtivo do RC, concluíram que existe um elevado consumo de energia, principalmente na forma de energia térmica provinda da queima do GN (em torno de 90%).

O estudo promovido por Monfort *et al.* (2012), com objetivo de medir o consumo de energia e a emissão de CO<sub>2</sub> em indústrias cerâmicas do Brasil e da Espanha, apontou que no processo via úmida (VU) o consumo de energia nos dois países é semelhante, destacando a cogeração de energia utilizada na etapa de atomização como diferencial de eficiência energética a favor da Espanha. Por outro lado, na produção via seca (VS), observaram que o consumo de energia térmica no Brasil é inferior ao consumo das indústrias da Espanha.

Como medida de melhoria da eficiência energética nos processos térmicos da produção do RC, Mezquita *et al.* (2014) verificaram que foi possível uma redução em torno de 17,3% na energia consumida em processos de queima com a implantação de sistema de controle de entrada de ar no forno.

Dentre as medidas para uso racional da energia Henriques *et al.* (2010), no estudo para reduções das emissões de CO<sub>2</sub> no setor industrial brasileiro, destacaram a manutenção, a reforma e a substituição de equipamentos empregados para melhorar o desempenho da produção em termos de consumo de energia; também, destacaram o gerenciamento para minimizar o consumo da energia térmica e o reuso do calor em uma etapa subsequente.

Também, com intuito de otimizar a eficiência energética em sistemas de produção, Bleicher *et al.* (2014) realizaram estudo por meio de modelagem e simulações do consumo de energia em máquinas e equipamentos. Adotando o conceito de reaproveitamento do calor gerado no processo de queima do RC, a modelagem foi feita para a montagem de sistemas de produção com o controle de entrada de ar no forno, como forma de redução do consumo energético.

Estudo feito por Popov (2013), para o aproveitamento da energia secundária em fornos cerâmicos, foi desenvolvido um sistema energotecnológico para a

recuperação de calor. O estudo mostrou que houve incremento de eficiência energética ao sistema produtivo variando entre 46-52%.

No mesmo sentido de economia de energia, Sirola e Edgard (2012) realizaram estudos para aproveitar a energia secundária (calor) em processos produtivos por meio da cogeração de energia na planta de produção. A medida visa obter vantagens econômicas por meio do melhor aproveitamento da energia e, ao mesmo tempo, obter vantagens do ponto de vista ambiental como resultado da diminuição da emissão de poluentes na atmosfera. Os estudos mostraram que um sistema apropriadamente balanceado pode produzir a eficiência energética entre 70 e 85%, podendo chegar a alcançar o índice na faixa de 95%.

## **2.4 O Carbono e a humanidade**

A vida humana na terra depende do carbono e do seu ciclo, que passa por uma série de transformações entre atmosfera, oceanos, plantas e animais, solos, rochas e sedimentos. Sendo que ao longo do tempo este ciclo vem sendo modificado pela ação do homem.

O ciclo do carbono engloba muitos processos cíclicos, incluindo, entre outros, o ciclo diário de alimentação e metabolismo dos animais, o ciclo sazonal de crescimento e decaimento das plantas e o ciclo geológico de aterro e intemperismo dos sedimentos. Todos esses processos estão ligados à troca de CO<sub>2</sub> com a atmosfera. A concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico é agora um terço maior do que era durante o século XVIII, e significativamente maior do que em qualquer momento durante as últimas centenas de milhares de anos (MCPHERSON e SUNDQUIST, 2009).

A Figura 22 mostra como se processa o Ciclo do Carbono (Nature, 2006; Negri, 2008) e a Figura 23 mostra o ciclo do carbono e os locais nos quais o carbono é armazenado e seus reservatórios (MCPHERSON e SUNDQUIST, 2009; TEZOTTO, 2018).

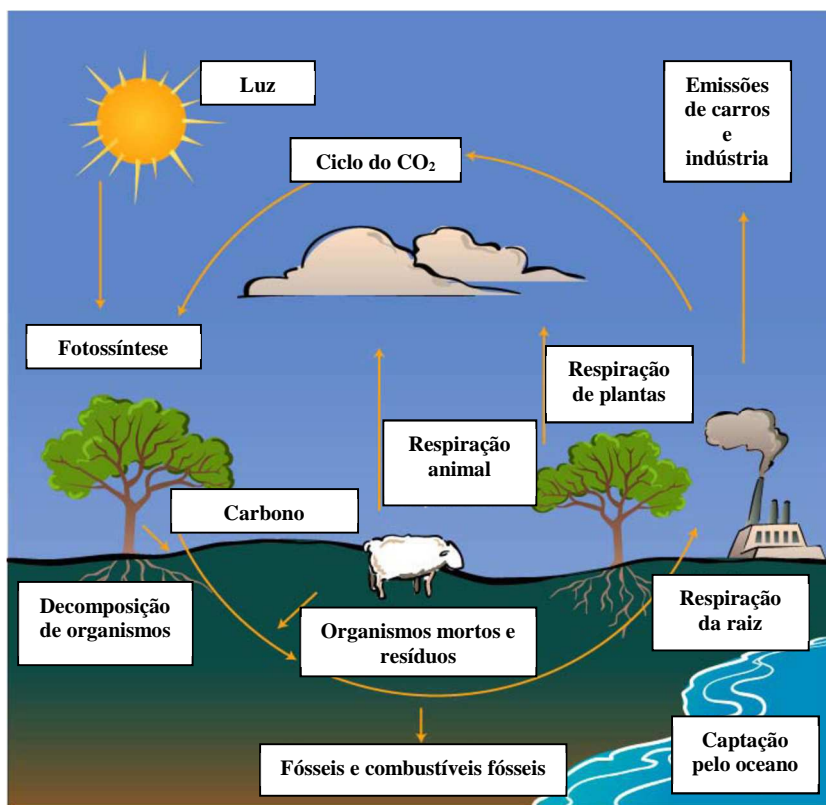
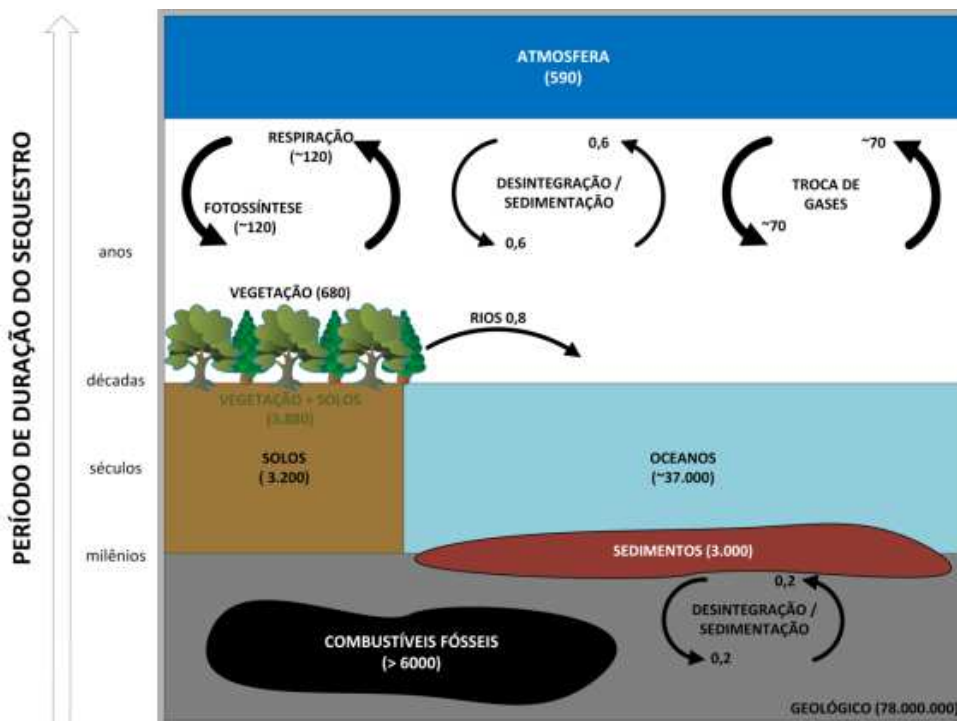


Figura 22: Ciclo do carbono  
 Fonte: Adaptado de Nature (2006)



Setas representam fluxos anuais (Gt por ano).

Figura 23: Ciclo natural do carbono e tamanho dos reservatórios (em Gt)  
 Fonte: Adaptado de Mcpherson e Sundquist (2009) e Tezotto (2018)

O aumento da concentração de CO<sub>2</sub> gera uma crescente preocupação com o meio ambiente, uma vez que é um importante gás de efeito estufa (GEE), e esse aumento está causando aquecimento significativo e outras mudanças no clima global, tais como alterando o equilíbrio de calor e água da superfície e da atmosfera da Terra. Pesquisas sobre o ciclo do carbono permitiram aos cientistas atribuir o aumento das concentrações de CO<sub>2</sub> principalmente às atividades humanas, especialmente a queima de carvão, gás e petróleo; com contribuições adicionais menores, mas significativas, decorrentes da mudança do uso da terra, especialmente o desmatamento, como apontam Mcpherson e Sundquist (2009). Este aumento pode ser percebido pelo aumento radical do nível de concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera a partir de 1950 (Figura 24).

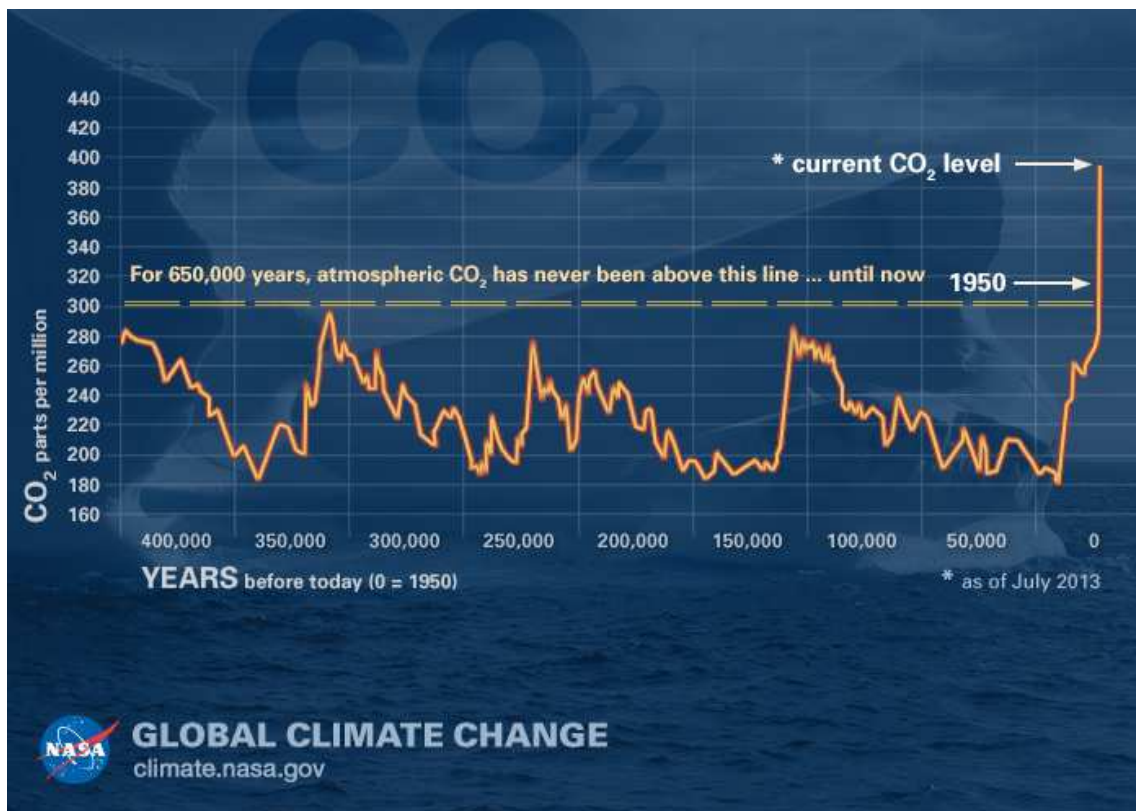


Figura 24: Níveis de concentração de CO<sub>2</sub> nos últimos 400.000 anos  
Fonte: Agência Espacial Norte Americana (NASA, 2018)

No Brasil as emissões passaram por um período de crescimento no período de 1970-2009, sendo que a partir de 1990 passou-se a medir e considerar as emissões de CO<sub>2</sub> originadas das Mudanças de Uso da Terra (desmatamento), o que elevou as emissões entre 1990 e 2009. A variação de emissões de CO<sub>2</sub> entre a década de 1980-1990 para a década 1990-2010 foi de

aproximadamente 259%; sendo que as emissões de CO<sub>2</sub> promovidas pelas mudanças de uso da terra correspondem a 234%, conforme a base de dados de MCTIC (2017). Esta tendência de crescimento foi revertida no período 2010-2016, como mostram os dados da Tabela 10 e Figura 25, que relacionam as emissões de CO<sub>2</sub> por setores década-a-década. Além disso, a Tabela 11 e a Figura 26 mostram que as emissões de GEE cresceram 8,9% em 2016, com relação ao ano anterior, sendo o nível mais alto desde 2008 e a maior elevação anual desde 2004.

Tabela 10: Emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil por setor (1970-2016) – 10<sup>9</sup> t CO<sub>2</sub>e

Setores emissores de CO <sub>2</sub>	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	2010-2016
Mudança de Uso da Terra	0	0	13.003.054.221	19.248.892.254	6.582.491.746
Agropecuária	2.291.069.445	3.035.069.968	3.595.323.533	4.360.391.095	3.395.627.922
Energia	1.512.437.018	1.829.820.679	2.313.499.724	3.153.915.150	2.997.799.598
Processos Industriais	225.250.156	444.867.538	631.137.055	784.559.205	696.960.834
Resíduos	169.537.061	249.767.257	431.420.397	682.572.562	624.639.535
<b>Total Geral</b>	<b>4.198.293.680</b>	<b>5.559.525.442</b>	<b>19.974.434.929</b>	<b>28.230.330.266</b>	<b>14.297.519.635</b>

Nos períodos 1970-1979 e 1980-1989 as emissões referentes à Mudança de Uso da Terra não foram medidas e consideradas.

Fonte: MCTIC (2017).

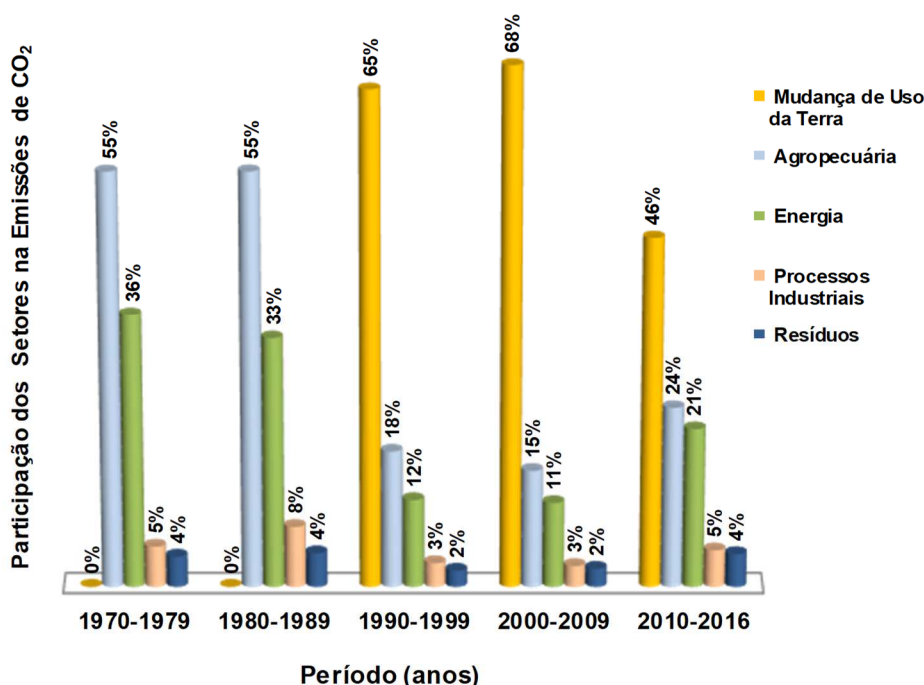


Figura 25: Participação de setores nas emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil (1970 - 2016)

Fonte: MCTIC (2017).

Tabela 11: Emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil por setor (2007-2016) – 10<sup>9</sup> t CO<sub>2</sub> e

Setores emissores de CO <sub>2</sub>	2.007	2.008	2.009	2.010	2.011
Mudança de Uso da Terra	1.744.457.502	1.841.309.857	1.045.250.757	900.008.427	870.129.466
Agropecuária	445.269.797	453.033.596	460.430.022	472.207.176	483.930.348
Energia	334.470.063	354.700.643	342.458.817	373.313.982	386.702.192
Processos Industriais	84.267.199	83.688.812	76.137.838	95.548.484	99.817.935
Resíduos	73.257.024	74.180.167	78.827.816	83.905.431	86.315.128
<b>Total Geral</b>	<b>2.681.721.585</b>	<b>2.806.913.075</b>	<b>2.003.105.250</b>	<b>1.924.983.500</b>	<b>1.926.895.069</b>

	2.012	2.013	2.014	2.015	2.016
	860.101.091	976.747.132	858.806.837	949.214.456	1.167.484.337
	478.163.670	483.146.335	487.909.423	490.923.398	499.347.572
	420.934.924	455.421.687	481.002.096	456.947.640	423.477.076
	100.861.782	100.989.466	102.594.177	101.574.259	95.574.732
	87.403.355	90.471.736	91.936.667	92.635.218	91.971.999
<b>Total Geral</b>	<b>1.947.464.823</b>	<b>2.106.776.356</b>	<b>2.022.249.200</b>	<b>2.091.294.971</b>	<b>2.277.855.716</b>

Fonte: MCTIC (2017).

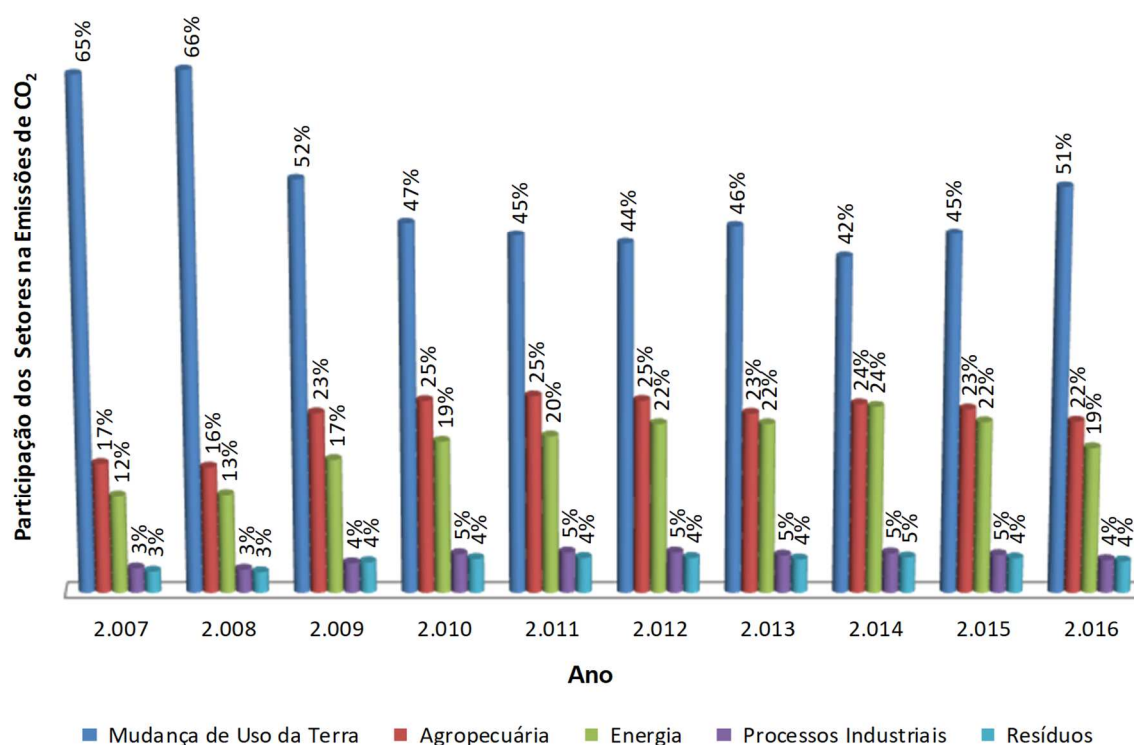


Figura 26: Participação de setores nas emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil (2007-2016)

Fonte: MCTIC (2017).

Assim, no período 2007-2016 o Brasil diverge daquilo que apontam Mcpherson e Sundquist (2009) para o contexto mundial, com relação as emissões de CO<sub>2</sub> provindas da queima de carvão, gás e petróleo serem maiores do que de outras atividades. As Mudanças de uso da Terra destacam-se como setor responsável pela maior quantidade de CO<sub>2</sub>, reforçando-se o fato que no ano de 2016 este setor teve um aumento de 5% nas emissões de CO<sub>2</sub>.

O presente trabalho se restringe ao estudo do ciclo do carbono que afeta a produção de energia elétrica, energia térmica e emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera, envolvidos no processo produtivo de RC, bem como a possibilidade de sequestro de CO<sub>2</sub> com vistas à minimização do impacto ambiental gerado por estas emissões de GEE.

#### 2.4.1 O carbono e a produção de energia elétrica

A produção de energia elétrica no Brasil está vinculada na sua maioria às hidrelétricas e uma parcela da energia elétrica produzida é responsável por emissão de CO<sub>2</sub> (Figura 20). Como forma de medir a influência desta emissão no inventário nacional de emissores de CO<sub>2</sub>, o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicação - MCTIC elabora mensalmente o fator médio de emissão do Sistema Interligado Nacional do Brasil.

Os fatores médios de emissão têm como objetivo estimar a quantidade de CO<sub>2</sub> associada a uma determinada geração de energia elétrica, que ao ser calculado leva em consideração todas as usinas que estão gerando energia e não somente aquelas que estejam funcionando na margem. Se todos os consumidores de energia elétrica do SIN calculassem as suas emissões multiplicando a energia consumida por esse fator de emissão, o somatório corresponderia às emissões do SIN, MCTIC (2017).

A Tabela 12 e a Figura 27 mostram o comportamento do fator médio de emissão no período de 2006 a 2017.

Tabela 12: Fator médio de emissão de CO<sub>2</sub> na geração de energia elétrica no Brasil (2006-2017)

Fator Médio Anual (tCO <sub>2</sub> /MWh)											
2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
0,0323	0,0293	0,0484	0,0246	0,0512	0,0292	0,0653	0,096	0,1355	0,1244	0,0817	0,0927

Fonte: MCTIC (2017).

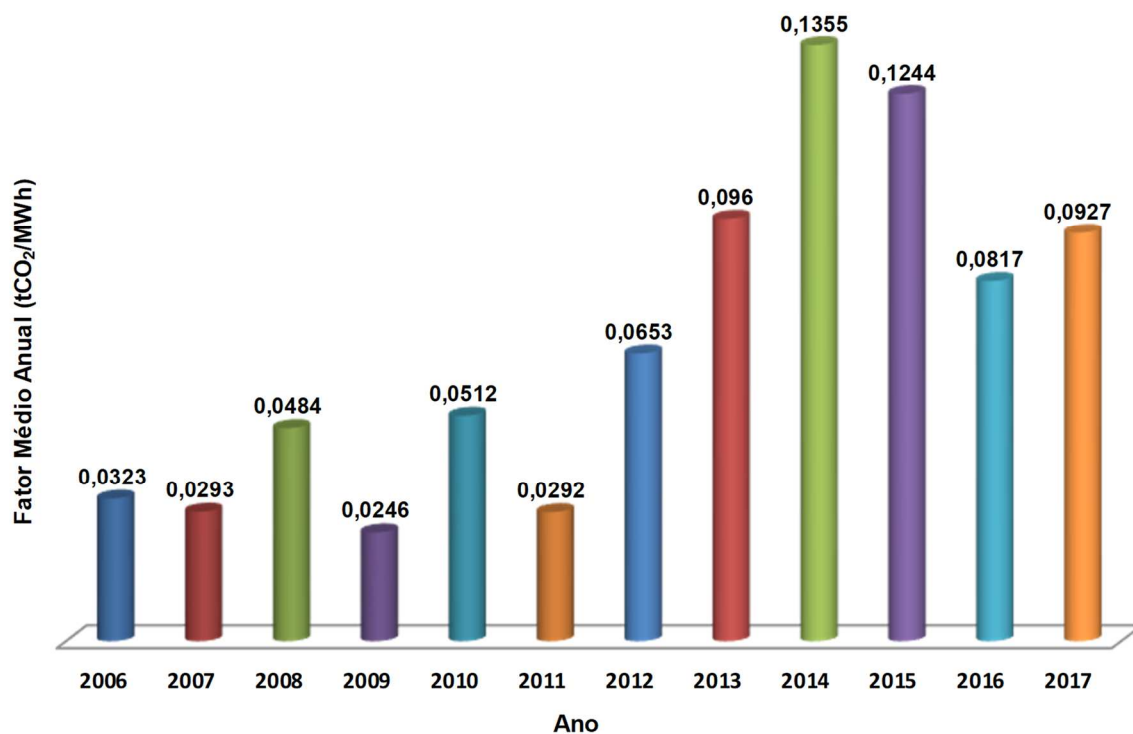


Figura 27: Fator médio de emissão de CO<sub>2</sub> na geração de energia elétrica no Brasil de 2006 a 2017

Fonte: MCTIC (2017).

O fator médio de emissão de CO<sub>2</sub> teve um crescimento acentuado a partir de 2012, tendo um pico no ano de 2014. Este pico coincide com a crise hídrica de 2014, que forçou a utilização em maior escala das usinas termoelétricas que são responsáveis por grande parte na composição do fator médio.

No processo de produção do RC tipo pastilha de porcelana parte da energia consumida é do tipo elétrica, de modo que se deve levar em conta as emissões de CO<sub>2</sub> provindas da geração da energia consumida e o fator médio anual utilizado foi 0,0927 t de CO<sub>2</sub> emitidos para cada MWhatt hora gerado no ano de 2017, que foi obtido com base nos fatores mensais apontados na Tabela 13.

Tabela 13: Fator médio de emissão de CO<sub>2</sub> na geração de energia elétrica no Brasil no ano de 2017

Fator Médio Anual (tCO <sub>2</sub> /MWh)												
jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	médio
0,0566	0,0536	0,0696	0,0815	0,0847	0,0676	0,0965	0,1312	0,1264	0,1366	0,1193	0,0892	<b>0,0927</b>

Fonte: MCTIC (2017).



#### 2.4.2 A Captura e sequestro de carbono

A Captura e Sequestro de Carbono (*carbon capture and storage* - CCS) é um processo que consiste na separação de CO<sub>2</sub> de fontes industriais e energo-intensivas, seu transporte a um local de armazenamento e seu isolamento da atmosfera, podendo acontecer de forma natural ou artificialmente direcionada. A CCS se apresenta como uma opção para reduzir a presença de CO<sub>2</sub> na atmosfera bem como as emissões de GEE provenientes do uso contínuo de combustíveis fósseis (MCPHERSON e SUNDQUIST, 2009).

Os processos naturais de remoção do carbono devem ocorrer de forma espontânea na natureza seguindo o ritmo do ciclo natural do carbono. Assim, esses processos naturais demandam um longo tempo na captura e sequestro do CO<sub>2</sub>, não se mostrando como uma opção de redução imediata das emissões, assim como na mitigação deste componente já presente na atmosfera. A fotossíntese é um destes processos naturais pela qual as plantas utilizando-se da luz solar capturam o CO<sub>2</sub> da atmosfera e liberam Oxigênio (O<sub>2</sub>) para o ambiente (JOHNSON, 2016). Ainda que a atividade fotossintética seja limitada em virtude da baixa concentração natural de CO<sub>2</sub>, este processo é o principal removedor deste gás da atmosfera. Estima-se que anualmente os ecossistemas terrestres removam em torno de 2Gt de C na forma de CO<sub>2</sub>. Por isto, a vegetação é um estabilizador na circulação da matéria na biosfera e pode ser influenciada pelas mudanças climáticas globais (Silva, 2008). Assim, as plantas se constituem em grandes reservas de carbono, sendo possível avaliar o estoque de carbono presente na biomassa das árvores (Bonan, 2008; Tezotto, 2018).

A Figura 28 mostra que as reservas de carbono contidas nas plantas (nos troncos, galhos, folhas, raízes) e a Tabela 14 apresenta a estimativa do Sistema Nacional de Informações Florestais – SNIF para quantidade de carbono para florestas naturais no Brasil em 2015.

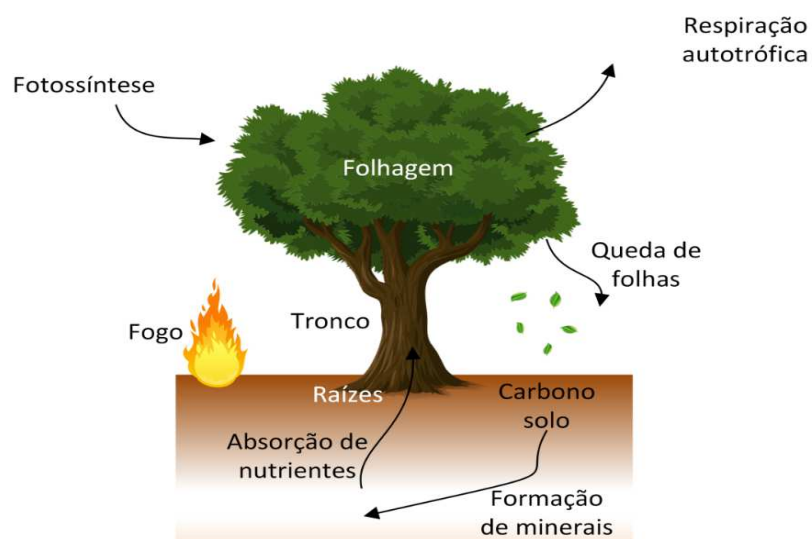


Figura 28: O ciclo do carbono natural em vegetais através da fotossíntese  
 Fonte: Bonan (2008); Tezotto (2018)

Tabela 14: Estimativa da quantidade de carbono, para florestas naturais do Brasil, em 2015

Estimativa da quantidade de carbono ( $10^6$ t) para as florestas naturais do Brasil, por compartimento, em 2015.	
Carbono estocado em Biomassa Acima do Solo	47.998
Carbono estocado em Biomassa Abaixo do Solo	10.333
Carbono estocado em Necromassa (Biomassa Morta)	737
Carbono estocado em na Serrapilheira	1.034
Carbono estocado em no Solo	20.711
<b>Total (Brasil)</b>	<b>80.813</b>

Fonte: SNIF (2016)

Processos direcionados a sequestrar o carbono atmosférico consistem-se em formas de aumentar a absorção natural em plantas e solos. Este mecanismo, também chamado de sequestro "biológico" ou "ecológico", além de retirar, pode compensar as emissões para a atmosfera por meio da armazenagem na biomassa, que corresponde a massa de matéria de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal (POTTER, *et al.*, 2009; TEZOTTO, 2018).

Dentro da conotação de que as plantas são instrumentos de sequestro de  $\text{CO}_2$  é que se busca subsídios para a resposta do problema de pesquisa: qual a área de floresta necessária para garantir o sequestro de  $\text{CO}_2$  emitido na produção unitária de RC (área de floresta por  $\text{m}^2$  de RC produzido)?

### 2.4.3 *Florestas nativas x florestas plantadas*

Consideram-se como florestas nativas a cobertura de origem natural de cada região, com toda a diversidade de espécies. As mudanças de uso da terra, para a agricultura ou pecuária, ameaça as florestas remanescentes, pequenos agricultores e povos indígenas que vivem nessas áreas. Nas últimas décadas a América Latina, viveu um período de grandes desmatamentos e de redução da vegetação natural, principalmente nas florestas regionais como o Cerrado (Brasil), as florestas do Chiquitanos (Bolívia), o Chaco (Bolívia, Paraguai, Brasil e Argentina), que tiveram fortes danos (MARTENS e COUTINHO 2017).

Em contrapartida, as florestas plantadas são decorrentes da ação humana no sentido contrário ao desmatamento, constituindo-se assim em reflorestamentos que podem servir ao fornecimento de madeira para a indústria ou mesmo para captura de CO<sub>2</sub> visando às questões ambientais de melhoria das condições climáticas do planeta, tal qual apontam Reeson *et al.* (2015) que estudaram as incertezas no sequestro de carbono, e afirmam que o reflorestamento tem potencial de sequestrar quantidades significativas de carbono da atmosfera, vislumbrando os resultados imediatos e nas próximas décadas.

Expandindo o horizonte das florestas plantadas, Del Quiqui *et al.* (2015) afirmam que além de melhorar a qualidade do ar, as florestas plantadas contribuem para manutenção dos regimes hídricos, fertilidade do solo e qualidade da água, proporcionando benefícios socioeconômicos e auxílio na conservação/manutenção das florestas nativas, na medida em que oferecem madeira de plantios florestais, evitando o desmatamento das florestas nativas.

### 2.4.4 *Estoque de carbono capturado no cultivo de florestas plantadas de eucalipto*

Silva (2008) *apud* Reis *et al.* (1994) em seu estudo sobre a projeção do estoque de carbono estimam que as florestas de eucalipto do Espírito Santo sequestraram anualmente 10,32 t.C.ha<sup>-1</sup>, sendo que 65% foram provenientes da biomassa do tronco, 13% da copa e 22% das raízes, podendo-se acrescentar esta estimativa 20% pela produção de matéria orgânica morta ao longo de uma rotação de sete anos. O potencial de sequestro de carbono anual

sobe para, 12,38 t.C.ha<sup>-1</sup>. Como termo de comparação, o mesmo estudo de Silva (2008) *apud* Paixão (2006) apresenta o resultado de 71,13 t.C.ha<sup>-1</sup> ao longo de seis anos, o que corresponde à média anual de 11,86 t.C.ha<sup>-1</sup>.

Negri (2008) elaborou o balanço de carbono na produção de papel e celulose, determinando que no plantio do eucalipto são liberados 0,32 t.C.ha<sup>-1</sup> e capturados 379 t.C.ha<sup>-1</sup>; assim, o superávit de captura em relação à liberação é de 378,64 t.C.ha<sup>-1</sup>. Como o trabalho de Negri (2008) determinou a captura de CO<sub>2</sub> e não a captura de carbono, é necessário a conversão de carbono para CO<sub>2</sub> equivalente, em que 1 t.C equivale à 3,67 t.CO<sub>2</sub>. Assim, chega-se à 103,17 t.C.ha<sup>-1</sup> nos sete anos considerados e uma média anual de 14,74 t.C.ha<sup>-1</sup> capturados.

Gatto *et al.* (2010) estudaram os estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto e encontraram um estoque médio de carbono sequestrado fixado na biomassa de 14,15 t.C.ha<sup>-1</sup>.

A Tabela 15 mostra o resumo destas informações sobre o sequestro de carbono.

Tabela 15: Sequestro anual de carbono em florestas de eucalipto

Referência	Sequestro médio de Carbono (t.C.ha <sup>-1</sup> )
Reis, 1994	12,38
Paixão, 2005	11,86
Negri, 2008	14,74
Gatto, 2010	14,15

Como medida conservadora, no presente trabalho será usado o valor mínimo encontrado nos estudos analisados como referência, ou seja, sequestro médio anual de 11,86 t de carbono.ha<sup>-1</sup>, que corresponde à 43,53 t.CO<sub>2</sub>.ha<sup>-1</sup> ou 4,353 Kg.CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup> de floresta de eucalipto.

## 2.5 Síntese da revisão de literatura científica

As referências da ABNT - a (1997), ABNT – b (1997), de Mota *et al.* (1998), RIBEIRO *et al.* (2001), Coelho (2009), HANSEN *et al.* (2010), Melchtiades

(2011), CVTC (2012), HUANG *et al.* (2013), IBAÑEZ-FLORES *et al.* (2013), Anfacer (2018) serviram como base para um breve histórico, a caracterização, o processo de produção e sobre o cenário que envolve o RC.

As referências de SETAC (1994), ISO 14040 (1997), Chehebe (2002), Nicoletti *et al.* (2002), Hauschild *et al.* (2005), Miele (2005), Ometo (2005), Schlegl *et al.* (2019), Arvanitoyannis (2008), Librelotto e Jalali (2008), Bribián *et al.* (2009), Ortiz *et al.* (2009), Kulay *et al.* (2010), Fukurozaki *et al.* (2016), Ibáñez-Forés *et al.* (2011), Santos *et al.* (2011), Willers e Rodrigues (2012), Matthias *et al.* (2013), Condeixa *et al.* (2014), Monaro (2014), Pini *et al.* (2014), Alves e Coutinho (2019), Han *et al.* (2015), De Souza *et al.* (2015), Rashid e Yusoff (2015) serviram como base para a elaboração da ACV dos RC.

Sobre sustentabilidade, sua importância à sobrevivência da humanidade, a aplicação dos seus conceitos na indústria e nos processos produtivos, tais como P+L e a conexão desta com a qualidade e aceitação dos produtos fabricados com a preocupação com o meio ambiente, buscou-se subsídios nas referências de Portela e Gomes (2005), Karlsson e Luttrupp (2006), Christofolletti e Moreno (2011), Rabelo *et al.* (2011), Shu *et al.* (2012), Peng *et al.* (2012), Huang *et al.* (2013) e Kuasosk *et al.* (2015).

Com relação à energia, à matriz mundial e brasileira, ao consumo de energia pelo setor da indústria cerâmica no Brasil, ao uso e consumo de energia nos diversos processos da produção do RC, bem como a sua busca pela eficiência energética recorreu-se aos estudos de EIA (2009), Henriques *et al.* (2010), Hasanuzzaman *et al.* (2012), Monfort *et al.* (2012), Siirola e Edgard (2012), Ibañez-Florés *et al.* (2013), Popov (2013), Bleicher *et al.* (2014), Mezquita *et al.* (2014), EPE (2017), Ministério de Minas Energia (2017).

Com relação às emissões/captura de CO<sub>2</sub>, destacam-se as referências: Nature (2006), Silva (2008), Negri (2008), Mcpherson e Sundquist (2009), Potter, *et al.* (2009), Gatto *et al.* (2010), Del Quiqui *et al.* (2015), Johnson (2016), SNIF (2016), MCTIC (2017), Martens e Coutinho (2017), Tezotto (2018) e NASA (2018).

### 3 MÉTODO DE PESQUISA

O presente trabalho foi desenvolvido com base no referencial teórico, voltado à ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida, que envolve a indústria cerâmica, especificamente a indústria do RC e seu processo de fabricação, no sentido de contribuir para as questões que envolvem a sustentabilidade ambiental.

#### 3.1 Revisão da Literatura

O trabalho teve início com a elaboração do referencial teórico nas áreas da ACV, RC, energia, P+L e sequestro de CO<sub>2</sub>. A leitura dos trabalhos embasou e forneceu elementos mínimos para o início dos trabalhos de campo e o conhecimento *in loco* do sistema de produção do RC tipo pastilha de porcelana. No sentido de fundamentar a revisão de literatura, foi feita análise bibliométrica na base de dados *Scopus* por busca de artigos que contemplam as palavras chaves envolvidas no tema do trabalho, de forma individual e de forma agrupada de duas a duas palavras e de três a três palavras (Apêndice A).

A partir desta busca foram identificadas duas vertentes de análise: os autores que mais publicaram sobre assuntos relacionados ao tema de pesquisa e assuntos conexos a este (palavras chaves), bem como os autores que mais foram citados sobre estes temas. Também, foram classificados os artigos encontrados pelos periódicos nos quais foram publicados, segundo classificação estabelecida pela Plataforma Sucupira e seus respectivos fatores de impacto (JRC) estabelecidos pela Plataforma Scopus.

Além disso, foram identificados vinte autores que mais publicaram e que mais foram citados, que mais se adequaram ao conjunto encontrado. Os dados para estabelecer os autores que mais publicaram foram obtidos diretamente da pesquisa na Plataforma Scopus, enquanto que para a determinação do número de citação que cada autor recebeu, foi utilizado o software VOS viewer que trata bases de referências bibliográficas.

Após a seleção dos autores que mais publicaram e dos que mais foram citados, dentro de cada um dos assuntos pesquisados, foi feita a identificação dos autores que se enquadravam dentro das duas classificações.

Uma outra forma de conhecer os autores relevantes para a pesquisa, foi agrupar o conjunto de todos os 20 autores mais citados identificados na pesquisa realizada pela sua incidência em um ou mais dos temas pesquisados, também com o auxílio do *software VOS viewer*.

A partir da seleção de autores preparada, foi feita a mineração dos trabalhos produzidos pelos mesmos, forma encontrada para validar as referências iniciais que já vinham sendo utilizadas na pesquisa, assim como incrementar novas referências que mostraram ser indispensáveis à fundamentação teórica do trabalho.

### **3.2 Estudo de Caso: levantamento de campo**

Partindo-se para a parte prática do método, a pesquisa foi realizada em uma das unidades de produção de uma indústria cerâmica, que produz RC's do tipo pastilha de porcelana, localizada no interior do Estado de São Paulo e se enquadra como *Estudo de Caso*. Este trabalho possui abordagem qualitativa, na medida em que a pesquisa de campo enseja o conhecimento e descrição do processo produtivo do RC (as pastilhas de porcelana). Também é caracterizado como quantitativo na medida em que se promove levantamento de dados mensuráveis a fim de permitir a elaboração do fluxograma do processo de produção, assim como os balanços de massa e de energia.

A partir do balanço de massa foi calculado o volume de CO<sub>2</sub> lançado na atmosfera com relação ao RC produzido, o que permite determinar a floresta de eucalipto a ser plantada para capturar este volume de CO<sub>2</sub>.

Também, este trabalho apresenta caráter descritivo, uma vez o escopo do trabalho detalha as características do processo produtivo, a fim de permitir a formulação de um modelo de ACV para o RC, tipo pastilha de porcelana.

A Figura 29 sintetiza a metodologia da pesquisa, na forma de fluxograma simplificado e em conjunto com a ordem cronológica das ações tomadas em cada etapa da pesquisa.

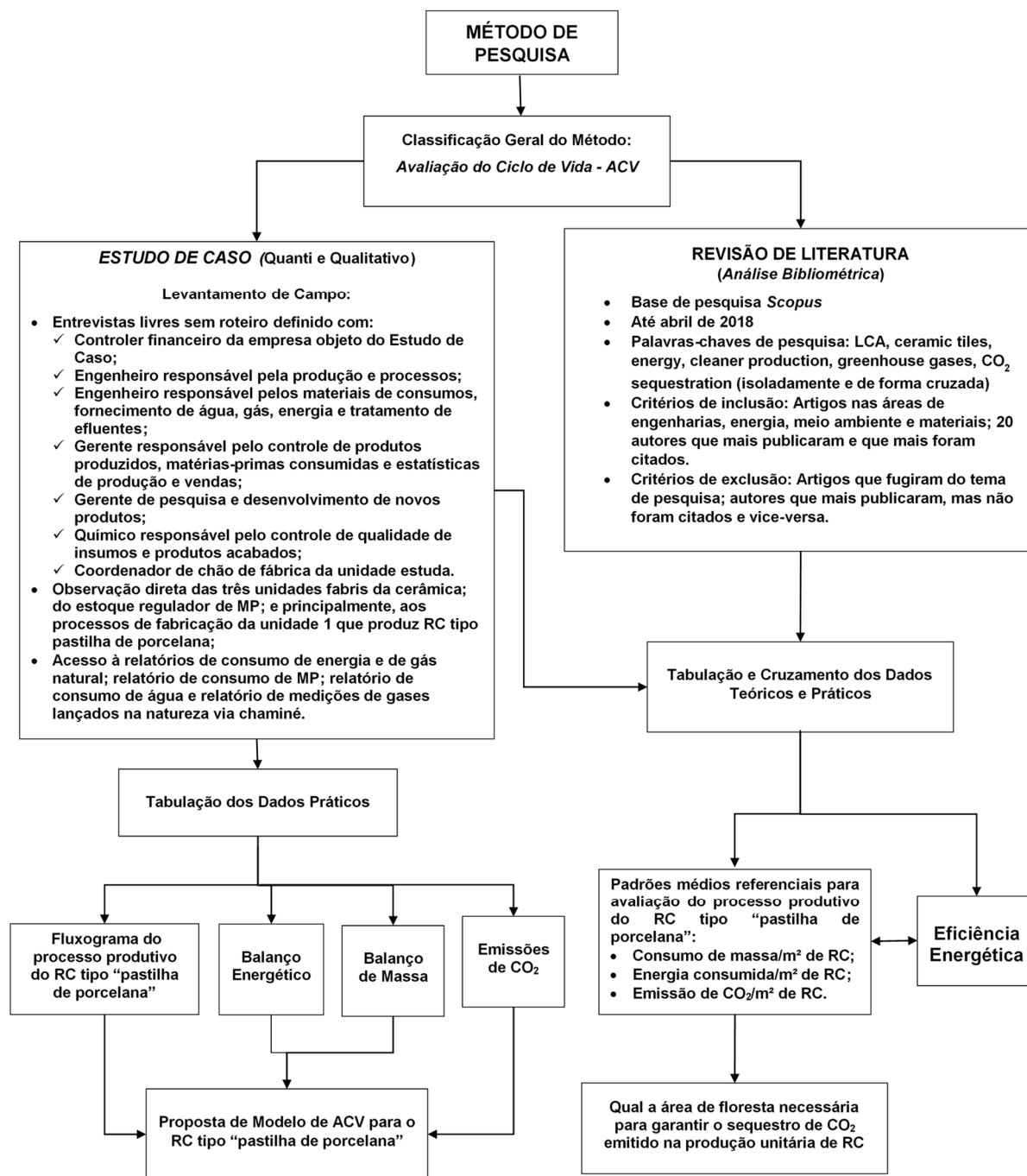


Figura 29: Síntese da Metodologia da Pesquisa

A pesquisa qualitativa foi feita por meio de entrevistas livres com os responsáveis por cada uma das áreas a serem caracterizadas. A pesquisa quantitativa foi feita por meio da observação direta dos processos produtivos, informações prestadas pelos responsáveis por estes processos e por meio de relatórios de consumo de insumos e energia, e também a emissão de efluentes e resíduos.



De maneira mais específica, o conhecimento das várias etapas do processo produtivo do RC tipo pastilha de porcelana, a determinação dos tipos de energia consumido em cada uma destas etapas e os pontos de entrada e de saída de insumos nestas etapas, foram obtidos por meio de observação direta. Com relação aos levantamentos quantitativos de energia e de massa, uma parte foi obtida por observação direta (potência dos equipamentos utilizados e entrada de insumos nos pontos que possuem pesagem) e, outra parte foi obtida por meio de informações prestadas pelos responsáveis de cada uma das áreas e/ou relatórios de consumo de insumo e de energia.

### **3.3 Escolha da indústria**

Inicialmente buscou-se uma indústria cerâmica que tivesse o processo de produção completo do RC. Em um segundo momento, primou-se pela procura de uma indústria com produto e capacidade produtiva de relevância no mercado de revestimentos e qualidade apontada como de primeira linha entre as pastilhas de porcelana.

Também, procurou-se por empresa com preocupação com o meio ambiente, e que permitisse a realização da pesquisa, por meio da disponibilização de dados para execução do fluxograma completo, e os balanços de massa e de energia do processo industrial.

Dentro destas premissas chegou-se a uma indústria cerâmica localizada no interior do Estado de São Paulo, com 50 anos de existência, líder nacional na produção de RC, tipo pastilhas de porcelana. A condição imposta pela empresa foi de se manter o anonimato, por questões de concorrência comercial.

### **3.4 Descrição da indústria**

A indústria cerâmica em estudo apresenta produção mensal em torno de 450.000 m<sup>2</sup>, e capacidade produtiva instalada de 600.000 m<sup>2</sup> de RC. Possui três unidades produtivas destinada à produção de RC convencional e RC tipo pastilha de porcelana:

- Unidade 1 - produção de RC, tipo pastilha de porcelana de ciclo longo, que consiste na queima em forno por um período entre 15 e 24 horas, em temperatura em torno de 1250 °C;
- Unidade 2 - produção de RC, tipo pastilha de porcelana de ciclo rápido, que consiste na queima em forno por um período em torno de 1h 30 min, em temperatura entre 1100-1250° C;
- Unidade 3 - produção do RC cerâmico de ciclo rápido e RC produzido a partir da reciclagem dos resíduos sólidos provenientes dos rejeitos das unidades 1 e 2.

No período de seis meses, em que foi feito o levantamento de dados do processo de produção (segundo semestre de 2015), a unidade 1 teve produção média de 133.752 m<sup>2</sup> de RC por mês; a unidade 2 apresentou produção média de 143.790 m<sup>2</sup> RC por mês e a unidade 3 teve a produção média de 163.517 m<sup>2</sup> de RC por mês.

Também, destaca-se que a empresa possui algumas subunidades de apoio, como:

- Laboratório de controle da qualidade: que efetua o controle da umidade da MP no estoque regulador; o teste de resistência do RC nas diversas etapas do processo produtivo (após as etapas de prensagem, esmaltação e queima); teste piloto da coloração do esmalte após a sua produção e antes do processo de esmaltação; avaliação em amostras durante diversas etapas do processo produtivo, e controle dos lotes de RC produzidos;
- Unidade de geradores de energia: energia gerada por meio do uso de GN e de óleo diesel, sendo utilizados para geração de energia em momentos de pico de consumo; com capacidade de geração 200MW;
- Unidade de manutenção: que cuida da manutenção dos equipamentos de produção e das instalações como um todo;
- Unidade de tratamento de efluentes: que promove o tratamento e a recuperação de aproximadamente 70% da água utilizada no processo de produção das três unidades;

- Unidade de desenvolvimento de novos produtos e equipamentos: responsável pela prospecção, projeto e lançamento de novos produtos no mercado;
- Unidade administrativa: cuida da administração do negócio por meio da compra de insumos, venda dos produtos, recursos humanos, contabilidade, pós-venda, garantia, etc.

### **3.5 Compilação dos dados provindos da revisão de literatura e dos dados obtidos nos levantamentos de campo**

Para a elaboração do fluxograma da ACV do RC, foram utilizados como base os modelos propostos por Mota *et al.* (1998), por Sepalla *et al.* (2002), por Ometto e Roma (2009), por Melchiades (2011), por CTVC (2012) e por Alves e Coutinho (2019).

O Balanço de energia consistiu no levantamento de dados na indústria de RC estudada (unidade 1), por meio de medidas do consumo, feitas diretamente em cada um dos equipamentos que operam com eletricidade, assim como os que usam energia térmica (gás natural e vapor). As medidas do consumo foram feitas em diversos intervalos de tempo e contabilizadas em forma de consumo mensal e relacionadas à produção dos RC, na forma de KWh por m<sup>2</sup> de RC.

Com relação ao balanço de massa, nesta unidade existe o controle da MP no ponto de entrada, o controle da quantidade de RC produzida, seja ela na produção da massa cerâmica, seja ela na produção do esmalte, bem como a quantidade de resíduos sólidos e líquidos produzidos. Porém, não existe em todos os pontos internos dos processos instrumentos capazes de medir a massa no início e no final de cada processo; em alguns pontos do processo a pesquisa *in loco* permitiu obter dados das perdas no processo, assim como do consumo médio de MP. Também, as entrevistas com os responsáveis pela produção, pelos materiais de consumo e estatística de produção, permitiram calcular os dados de massa nos demais pontos (consumo e perda), bem como a massa consumida por m<sup>2</sup> de RC.

No sentido de ter parâmetro de comparação, os dados de massa, de energia e de emissão de GEE obtidas em campo no presente trabalho, são comparados

com outro tipo de RC de indústrias cerâmicas do polo ceramista de Santa Gertrudes (Ciaco e Coutinho, 2013) e com dados disponíveis na literatura científica (Nicoletti *et al.*, 2002; Bribián *et al.*, 2009 e Peng *et al.*, 2009).

O Quadro 1 mostra o protocolo de pesquisa desenvolvido na coleta dos dados em campo.

Quadro 1: Protocolo de atividades para a condução da coleta de dados

Item	Atividade	Meio de coleta	Departamentos participantes	O que deve ser observado durante a coleta de dados
1	Elaboração do fluxograma do processo de produção do RC tipo pastilha de porcelana.	Revisão de Literatura, entrevistas e observação direta ao processo de produção do RC.	Engenharia de processos e produção, chão de fábrica.	As etapas do processo e a sua ordem lógica de ocorrência.
2	Avaliação do consumo energético nas etapas do processo produtivo do RC.	Observação direta dos equipamentos envolvidos em cada etapa e análise de relatórios de consumo de energia da indústria cerâmica.	Engenharia de materiais e consumos; controladoria financeira.	Os consumos energéticos (de cada tipo) nas etapas do processo de produção do RC.
3	Avaliação das entradas e saídas de material em cada etapa do processo produtivo do RC.	Observação direta e entrevista.	Chão de fábrica e engenharia de materiais e consumos.	As quantidades de entrada e de saída de materiais nas etapas do processo de produção do RC.
4	Avaliação das emissões de CO <sub>2</sub> no processo produtivo do RC.	Observação direta dos equipamentos envolvidos em cada etapa e análise de relatórios de consumo de energia da indústria cerâmica vindo a permitir o cálculo estequiométrico das emissões de CO <sub>2</sub> na natureza.	Engenharia de processos e produção, chão de fábrica e depto de controle da qualidade (insumos e emissões).	A quantidade de gases, em especial o CO <sub>2</sub> , emitidos na atmosfera no processo de produção do RC.

## 4 RESULTADOS

A Figura 30 mostra o fluxograma básico das etapas envolvidas na produção do RC, que contempla as etapas principais da ACV do RC, tipo pastilha de porcelana. Este fluxograma foi elaborado a partir de dados do processo de produção, que foram obtidos por meio do acompanhamento em chão de fábrica na indústria de RC; assim como foram usados dados do referencial teórico (Ibáñez-Forés *et al.*, 2011; Han *et al.*, 2015).

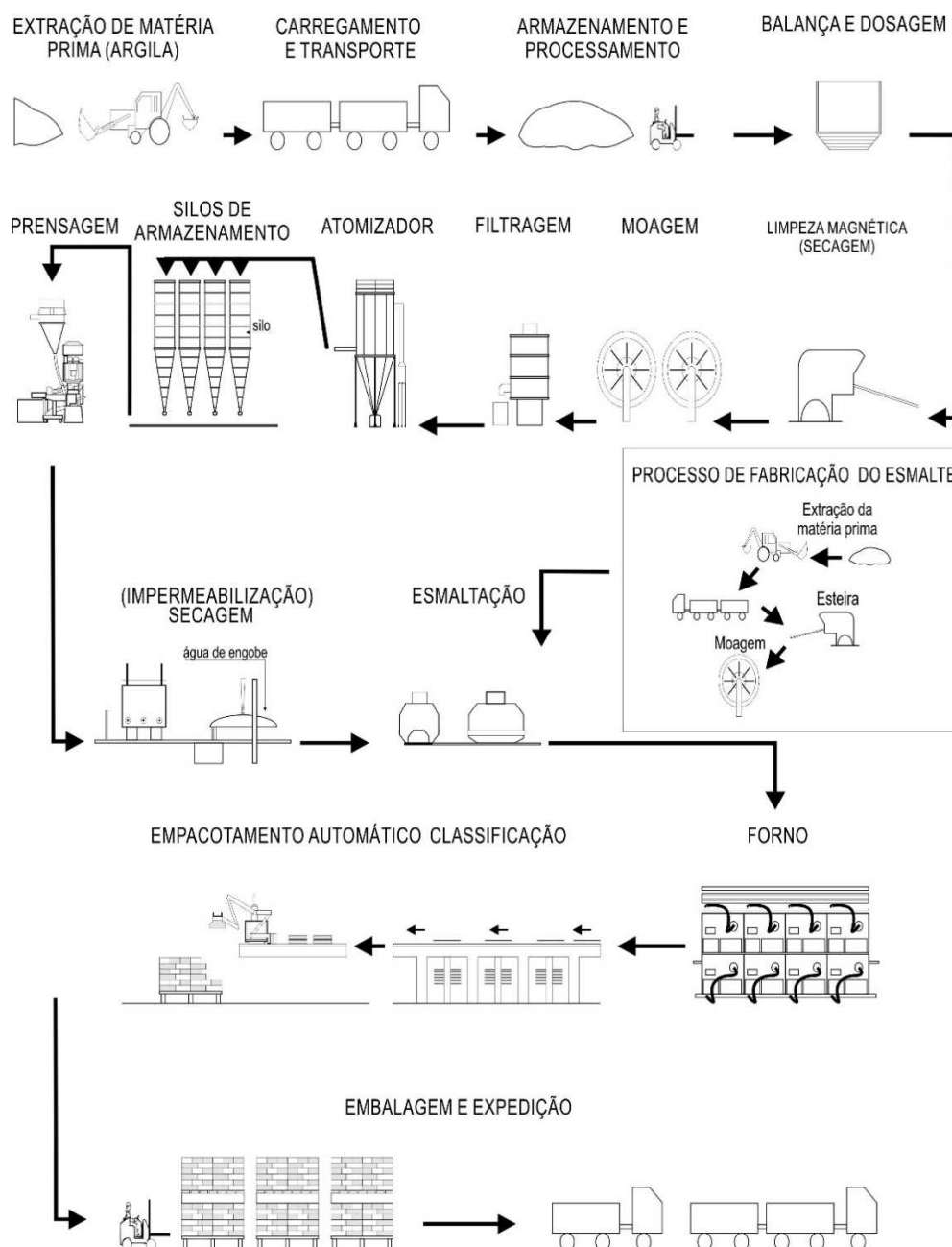


Figura 30: Fluxograma básico do processo de fabricação do RC

#### 4.1 Balanço energético dos processos de fabricação do RC

O levantamento dos dados relativos ao consumo de energia do processo produtivo do RC foi elaborado, tomando se como base o diagrama simplificado com as várias etapas e as respectivas formas de energia envolvidas, como mostra a Figura 31:

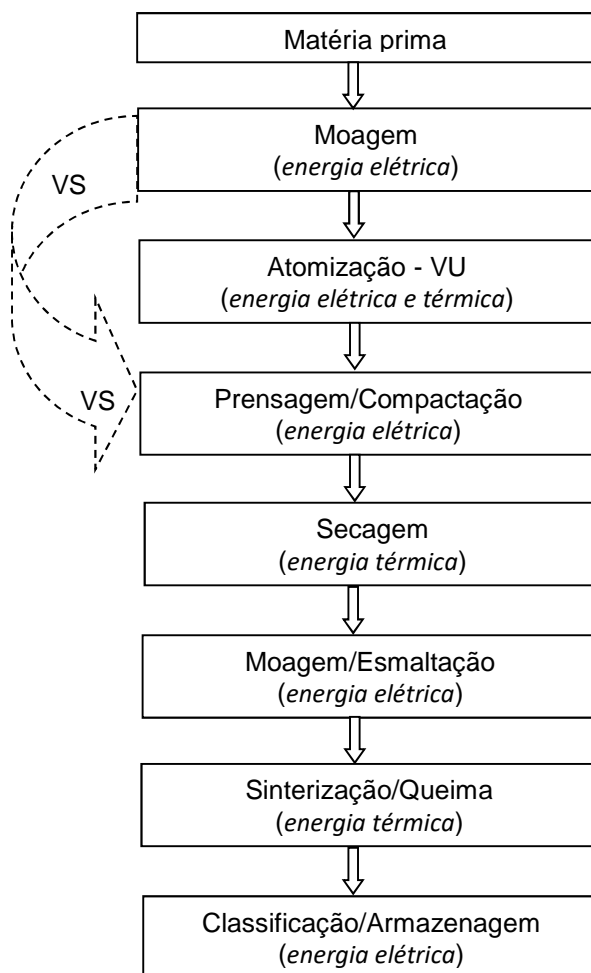


Figura 31: Diagrama simplificado da fabricação de RC e forma de energia utilizada nas etapas do processo

Fonte: Adaptado de Ciaco *et al.* (2017)

A Figura 32 mostra as etapas do processo de produção do RC, que efetivamente fazem parte do processo produtivo do RC tipo pastilha de porcelana, tal qual como acontecem na indústria que é objeto de estudo.

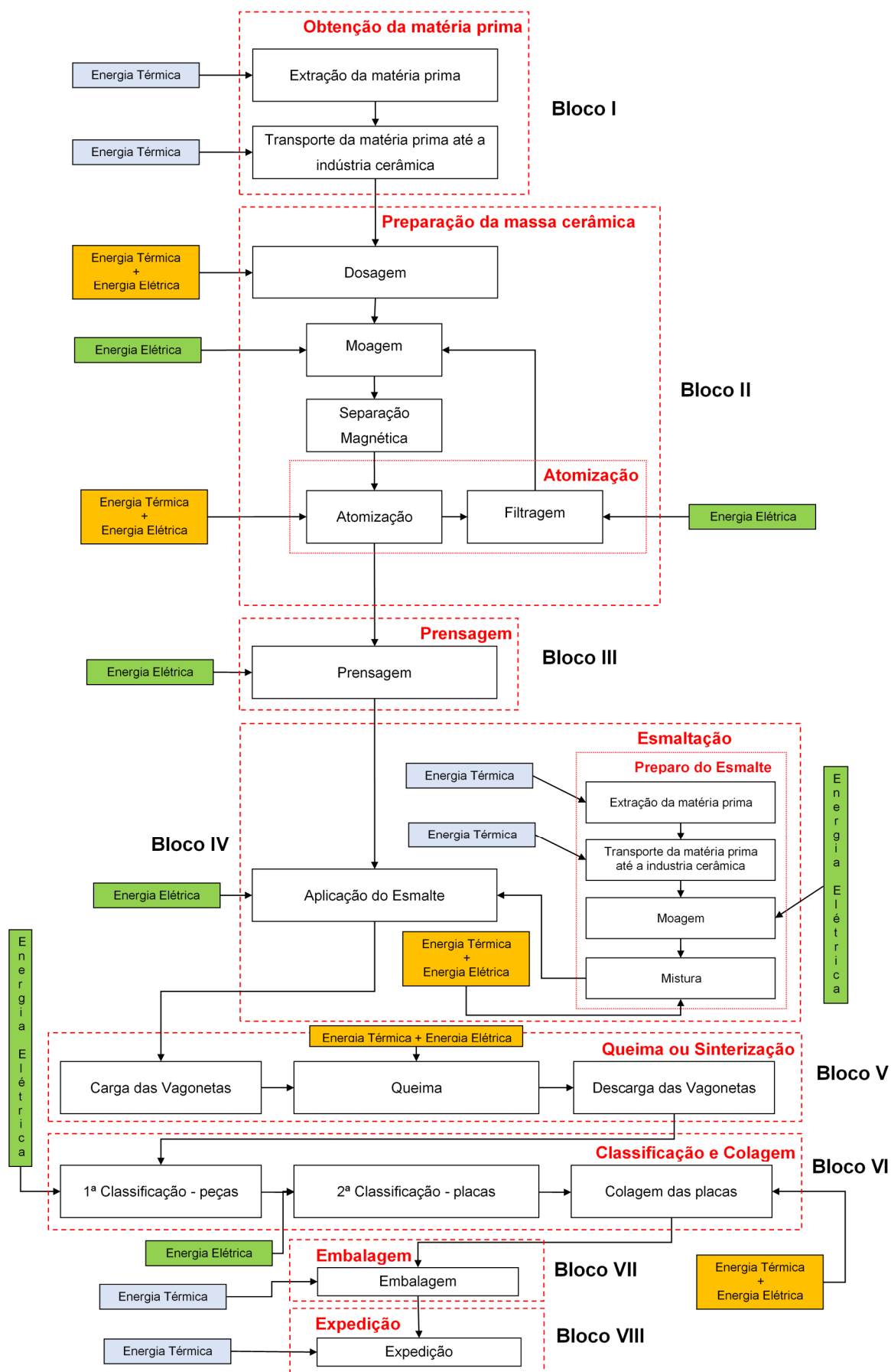


Figura 32: Fluxograma do processo produtivo do RC com os tipos de energia consumidos nas etapas

O conjunto de etapas do processo denominado “bloco-I” consiste na obtenção da MP, partindo-se da extração dos minérios da natureza, em que operações são condicionadas à situação topográfica do depósito, à distribuição espacial das camadas de argila, às características físicas, à escala de produção, ao nível de investimento e aos tipos de cuidados ambientais. Esta etapa geralmente ocorre fora dos limites da indústria.

Uma vez extraída a MP da natureza, esta é transportada para próximo do local de produção do RC. O transporte da MP da jazida para a indústria ocorre por meio de carretas, que consomem óleo diesel. A determinação do consumo de energia nesta etapa da ACV do RC foi estimada, sendo que o transporte é realizado por carretas que percorrem aproximadamente 1.000 Km da jazida em Santa Catarina até o município no qual se encontra implantada a indústria de RC estudada. A estimativa levou em conta o consumo médio de 1 L de diesel a cada 1,5 Km percorrido por uma carreta que transporta 41,5 t de MP; totalizando o consumo de 26.672 L de diesel para o transporte de 1.662 t de MP utilizada na produção mensal de RC. Destaca-se que a indústria mantém estoque regulador de MP dentro do complexo industrial (Figura 33), que permite o controle quantitativo em face do consumo programado e, também, o controle qualitativo em relação à umidade do material.



Figura 33: Conjunto de lotes de MP utilizados como estoque regulador da indústria estudada



Os dados para o balanço energético da extração de MP foram adotados a partir do referencial teórico, da pesquisa realizada por Coelho (2009) em minas e minerações de pequeno porte. Assim, foi adotado o parâmetro de consumo de  $0,00034 \text{ tep.t}^{-1}$  de argila extraída, ao qual deve ser adicionado o consumo de energia do transporte da MP até a indústria cerâmica.

O outro conjunto de etapas, denominado “bloco II”, de preparação da massa cerâmica inicia pelo controle de umidade. Na medida em que é feito este controle, lotes de cada tipo de MP são transportados para baias de estoques que se localizam próximas à unidade produtiva. A energia consumida no transporte das MP é a energia térmica, por meio do consumo de óleo diesel por parte das máquinas pá-carregadeiras.

A etapa de dosagem da massa é operacionalizada em balança eletrônica e a energia empregada é energia elétrica. O carregamento dos insumos na balança é realizado por pá carregadeira, movida a óleo diesel. O transporte de MP do estoque regulador até as baias de estoque e destas até a balança eletrônica é realizado por uma máquina pá-carregadeira que trabalha 8 horas por dia, durante 24 dias por mês e consomem 22 L de diesel por hora trabalhada, resultando em um consumo mensal de 4.224 L de diesel.

Depois de dosada a massa, esta segue para os moinhos de bola para início do processo de moagem. O transporte do material dosado até os moinhos é feito por meio de esteiras rolantes, movidas a energia elétrica, mesmo tipo de energia que é consumida no processo da moagem.

Na etapa da separação magnética a massa cerâmica já homogeneizada com adição de água, também chamada de barbotina, passa inicialmente por peneira, para separação granulométrica, e depois tem o óxido de ferro separado do restante da massa por eletroímãs, persistindo na massa quantidade deste óxido em teor apropriado para a produção de RC (Figura 34). O teor de óxido de ferro influencia na coloração da massa cerâmica, conseqüentemente na classificação do revestimento cerâmico massa clara ou massa vermelha.



Figura 34: Barbotina passando pela peneira e separador magnético

O consumo de energia elétrica no processo de preparação da massa cerâmica (dosagem, moagem, filtragem e separação magnética) corresponde a uma potência de 288 KW, com fator de correção 0,68. Destaca-se que o conjunto de equipamentos para atender as etapas de produção opera durante 10 horas diárias e 24 dias por mês, totalizando o consumo mensal de energia elétrica de 46.695,05 KWh. Considerando-se a produção média mensal de 133.752 m<sup>2</sup> de RC, então o consumo médio é de 0,35 KWh.m<sup>-2</sup> de RC.

Na etapa de atomização, incluída no processo de produção de RC por VU, a barbotina caminha por esteiras rolantes elétricas para o atomizador. O processo se inicia pela injeção da barbotina sob alta pressão dentro de uma câmara de secagem, entrando em contato com ar a uma temperatura entre 500-600°C. A evaporação ocorre de forma praticamente instantânea e o contato com o ar quente provoca a forma arredondada/esférica dos grãos do pó atomizado. Em seguida, o pó é transportado para o tanque subterrâneo por meio de esteiras rolantes, no qual fica estocado e, posteriormente é levado para prensagem, também por meio de esteiras rolantes.

Assim, na etapa de atomização, por se tratar de um processo com aquecimento de ar, a energia consumida é, em sua maior parte, energia térmica, na forma de queima de GN. O acompanhamento *in loco*, durante seis meses, permitiu mensurar o consumo médio de GN que foi de 62.984 m<sup>3</sup>, para uma produção média de 133.752 m<sup>2</sup> de RC, o que resultou em consumo médio de 0,47m<sup>3</sup> de GN por m<sup>2</sup> de RC.

Na mesma etapa de atomização a energia elétrica consumida, foi de 51 KW, do conjunto de equipamentos usados para atender as etapas de produção, trabalhando 24 horas diárias e 26 dias por mês, com fator de correção 0,68. Assim, o consumo mensal de energia elétrica em 21.499,18 KWh para produção média de 133.752 m<sup>2</sup> de RC, que corresponde ao consumo médio de 0,16 KWh.m<sup>-2</sup> de RC. Destaca-se que parte da energia térmica (calor) é recuperada na etapa de queima nos fornos, e reaproveitada na etapa de atomização. Assim, esta economia de energia térmica está contabilizada no processo, uma vez que corresponde ao GN consumido no aquecimento.

Em outra etapa, a captação do pó da MP proveniente da moagem, que causa a poluição atmosférica e que também é um agente de perda de massa no processo, é feita por meio de filtragem. Nesta etapa, a potência instalada é de 3,0 KW e capacidade para coleta de 3.000 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. Para que o pó gerado no processo de moagem deixe de ser um agente de perda de massa, o material recolhido no filtro é devolvido ao processo de preparação da massa cerâmica. A energia consumida na filtragem é elétrica e está contabilizada no consumo dos procedimentos de atomização.

O conjunto de etapas denominado “bloco-III”, correspondente à prensagem, começa com o pó atomizado chegando às prensas hidráulicas por meio de esteiras rolantes. Nas prensas o pó é compactado e conformado, atingindo densidade especificada para a qualidade exigida do RC. O consumo de energia elétrica é equivalente ao conjunto de equipamentos que totaliza a potência de 161 KW, que opera 24 horas por dia e 30 dias por mês, com fator de correção 0,68, totalizando o consumo mensal de energia elétrica de 78.311,50 KWh. Este consumo corresponde a uma produção média de 133.752 m<sup>2</sup> de RC, que resulta no consumo médio de 0,59 KWh.m<sup>-2</sup> de RC. Destaca se também que a energia elétrica consumida no transporte do pó atomizado até as prensas, bem como da massa prensada até a esmaltação e, ainda, a energia utilizada no trocador de calor (torre de resfriamento água), está contabilizada no consumo de energia elétrica desta etapa.

O processo produtivo adotado, que é objeto de estudo do presente trabalho, não possui a etapa de secagem da massa em separado. A umidade obtida pelo pó no processo de atomização é a considerada ideal para a etapa de

prensagem, que segue diretamente para a esmaltação. Assim a secagem ocorre na própria etapa de queima em ciclo longo.

As etapas do “bloco-IV”, de esmaltação, é dividida em duas outras etapas distintas: a preparação do esmalte e a aplicação do esmalte.

A preparação do esmalte está subdividida em obtenção da MP, moagem e mistura. Inicialmente, a obtenção da MP dos esmaltes é semelhante à extração da MP para a preparação da massa cerâmica, de modo que tem as mesmas características de consumo de energia. Assim, é adotado o mesmo parâmetro utilizado de consumo, que é de  $0,00034 \text{ tep.t}^{-1}$  de mineral extraído.

As MP's que compõem o esmalte são divididas em três grupos, conforme a função que exercem: os fundentes, os formadores do vidro e uma camada central que permite visualizar o comportamento de cada óxido. Especificamente na produção dos RC estudados, as MP utilizadas na produção do esmalte são: feldspato, argila (base), caulim, quartzo, talco, calcita, tripoli, óxidos/dióxidos, corantes, zircobit/zirconita, lustres, alumina, dolomita esmalte e carbonato de cálcio.

Como a composição do esmalte consiste de segredo industrial, não se teve acesso às composições utilizadas, bem como a ordem em que são introduzidas no processo, sabendo-se apenas que algumas das MP's são moídas em uma fase inicial e outras são adicionadas num momento mais próximo ao da esmaltação.

A moagem dos materiais fundentes em sua dosagem já pré-estabelecida acontece em moinhos de bola até a granulometria ideal e a homogeneidade dos grãos. A granulometria da mistura é controlada pelo sistema de peneiras, sendo inferior à  $44\mu\text{m}$ . No caso da pastilha de porcelana, o pó deve atingir a densidade aproximada de  $1,65 \text{ g.cm}^{-3}$  e conter aproximadamente 55% de água. A dosagem é operacionalizada em uma balança eletrônica e a energia consumida é energia elétrica. Depois de moídos e homogeneizados, a mistura segue para tanques, em que permanece em agitação lenta e constante. O transporte para os tanques de descanso ocorre por meio de bombas de sucção, e consome energia elétrica.

O consumo de energia elétrica na etapa de moagem e preparo do esmalte equivale a uma potência de 38 KW, com fator de correção (fator de potência),68. O conjunto de equipamentos opera 10 horas diárias, durante 24 dias por mês, totalizando o consumo mensal de energia elétrica de 6.161,15 KWh, para uma produção média de 133.752 m<sup>2</sup> de RC (pastilhas de porcelana), que corresponde ao consumo médio de 0,05 KWh.m<sup>-2</sup> de RC.

A partir dos tanques de descanso, os insumos dosados e moídos seguem para os tanques de agitação, nos quais os componentes “formadores do vidro” são adicionados, transformando a mistura em um “caldo”, que é preparado para conferir a cor e o acabamento especificado para a pastilha cerâmica. A energia consumida nos agitadores é elétrica e o seu consumo na etapa de mistura do esmalte, equivale a uma potência total de 19 KW, com fator de correção (fator de potência) 0,68. O conjunto de equipamentos opera 24 horas diárias e 30 dias por mês, totalizando o consumo mensal de energia elétrica de 9.241,73 KWh, para uma produção média de 133.752 m<sup>2</sup> de RC, e que corresponde consumo médio de 0,07KWh.m<sup>-2</sup> de RC.

O esmalte é aplicado na forma de *spray*, por meio da pressão gerada por uma bomba de sucção, que consome energia elétrica, assim como a esteira rolante que transporta a massa prensada durante o processo de esmaltação, indo até o ponto de preparo para o processo de queima. O consumo de energia elétrica na etapa de aplicação do esmalte, incluindo o transporte, equivale a potência de 3,33 KW, com fator de correção (fator de potência) 0,68. O conjunto de equipamentos opera 24 horas diárias e 30 dias por mês, totalizando o consumo mensal de energia elétrica de 1.619,73 KWh, para produção média de 133.752 m<sup>2</sup> de RC, que corresponde ao consumo médio de 0,01KWh.m<sup>-2</sup> de RC.

O conjunto de etapas do “bloco-V”, correspondentes à queima, requer que os RC prensados e esmaltados sejam organizados nas vagonetas de suporte para a queima, bem como a sua descarga. Inicialmente a massa prensada e esmaltada crua é depositada sobre suportes refratários, que são empilhados em vagonetas dirigidas para o interior do forno. Esta operação é feita de forma manual, de modo que a energia envolvida não é contabilizada. Por outro lado, a energia consumida no transporte das vagonetas é elétrica, que é contabilizada no balanço global.

O forno contínuo promove a secagem da massa e, quando esta atinge o ponto central do forno, a temperatura elevada provoca a fusão dos componentes vítreos do esmalte, conferindo à peça a resistência mecânica desejada. A energia para aquecimento dos fornos é térmica, sob a forma de queima do GN. O consumo de energia elétrica no processo de queima equivale à potência total de 135 KW, com fator de correção (fator de potência) igual a 1,0. O conjunto de equipamentos opera 24 horas diárias e 30 dias por mês, totalizando o consumo mensal de energia elétrica de 97.200 KWh, para produção média de 133.752 m<sup>2</sup> de RC, que atinge o consumo médio de 0,73 KWh.m<sup>-2</sup> da RC. Quanto ao consumo de GN, nos seis meses do levantamento de dados, o consumo médio foi de 313.919 m<sup>3</sup> de GN, para produção média no mesmo período de 133.752 m<sup>2</sup> de RC, que corresponde ao consumo de GN de 2,35 m<sup>3</sup> por m<sup>2</sup> de RC.

Ao final da etapa de queima é necessário o descarregamento das vagonetas, de modo que estes equipamentos de transportes possam novamente ser utilizados em outra queima. Tal qual a carga, a descarga das vagonetas se trata de processo manual, que não consome energia.

No conjunto de etapas do “bloco-VI”, os RC’s são retirados das vagonetas, passam por uma primeira classificação manual, na qual as pastilhas aprovadas são encarteladas. O procedimento consome energia elétrica no sistema de cilindros rolantes que transporta as pastilhas para fora do forno, de modo que energia será contabilizada como um todo no processo de classificação/colagem.

As pastilhas de porcelana aprovadas são dispostas em forma de placas de 30x30cm sobre uma esteira rolante, em que são revisadas quanto à forma e qualidade de acabamento do produto, de modo que é considerado somente o consumo de energia elétrica na esteira.

A etapa de colagem é automatizada, sendo que as pastilhas dispostas em placas são conduzidas mecanicamente por sucção até as coladeiras. Após a inserção dos pontos de cola, as cartelas são conduzidas mecanicamente, novamente por sucção, até as embalagens.

O processo de colagem consome energia elétrica no transporte das pastilhas e o conjunto de equipamentos com potência total de 74 KW, com fator de

correção (fator de potência) 0,68. Os equipamentos operam 24 horas diárias e 30 dias por mês, totalizando o consumo mensal de 35.994,10 KWh de energia elétrica. Para uma produção média de 133.752 m<sup>2</sup> de pastilhas de porcelana, chega-se ao consumo médio de 0,27 KWh.m<sup>-2</sup> de RC.

A etapa demanda ainda o consumo de energia térmica sob a forma de queima de GN para aquecimento da cola. Nos seis meses de levantamento de dados o consumo médio foi de 31.194,17 m<sup>3</sup> de GN, para uma produção média de 133.752 m<sup>2</sup> de RC, houve um consumo médio de 0,23 m<sup>3</sup> de GN por m<sup>2</sup> de RC.

Na etapa do “bloco-VII”, as placas ao serem coladas já são dispostas nas caixas de papelão que servem de embalagem, então resta a lacração da embalagem com a identificação do produto e lote de fabricação. Este processo é manual, sendo que as caixas devem ser dispostas em pontos especificados para estoque de cada tipo de produto. O transporte das caixas para estes locais especificados é promovido por empilhadeiras movidas a GLP, o gás consumido nesta fase está computado na expedição.

Na etapa do “bloco-VIII”, expedição dos produtos embalados e separados por tipo e lote de fabricação, ocorre após a venda, sendo que o transporte até os seus destinos (pontos de venda ou obra) é promovido por caminhões; o transporte do estoque até os caminhões é promovido por empilhadeiras movidas a GN. O consumo energético dos caminhões não será estudado neste trabalho que abrangerá os limites internos da indústria como fronteira final; por outro lado, o consumo energético destas empilhadeiras corresponde a 5 empilhadeiras de 2.500 Kg trabalhando em média 8 horas por dia, 24 dias por mês, resultando em 960 horas máquina trabalhadas. Segundo o fabricante, este tipo de empilhadeira consome 20 Kg de GLP a cada dez horas de uso. Assim, há um consumo mensal de 1.920 Kg de GLP.

#### **4.2 Compilação dos dados do balanço de energia da produção do RC**

De acordo com o consumo energético medido/calculado, foi adotada a unidade de energia KWh (Quilowatt hora). Após a padronização de unidade os dados foram compilados e mostrados na Tabela 16, que foi tomada como base para a análise dos processos quanto ao consumo de energia. Também, foi usado, para efeitos de comparação, outro estudo promovido no polo ceramista da

cidade de Santa Gertrudes, SP que produz o RC convencional (Ciaco *et al.*, 2017).

Os dados mostraram as etapas que são responsáveis por grande parte do consumo da energia da produção do RC, com destaque para a *queima/sinterização* (68,37%), a *atomização* (13,76%) e a *colagem* (7,96%), que juntos consomem mais de 90% da energia total do processo; de modo que estas são as etapas que merecem atenção e esforços de melhoria. A distribuição da energia consumida no processo produtivo do RC é mostrada na Figura 35.

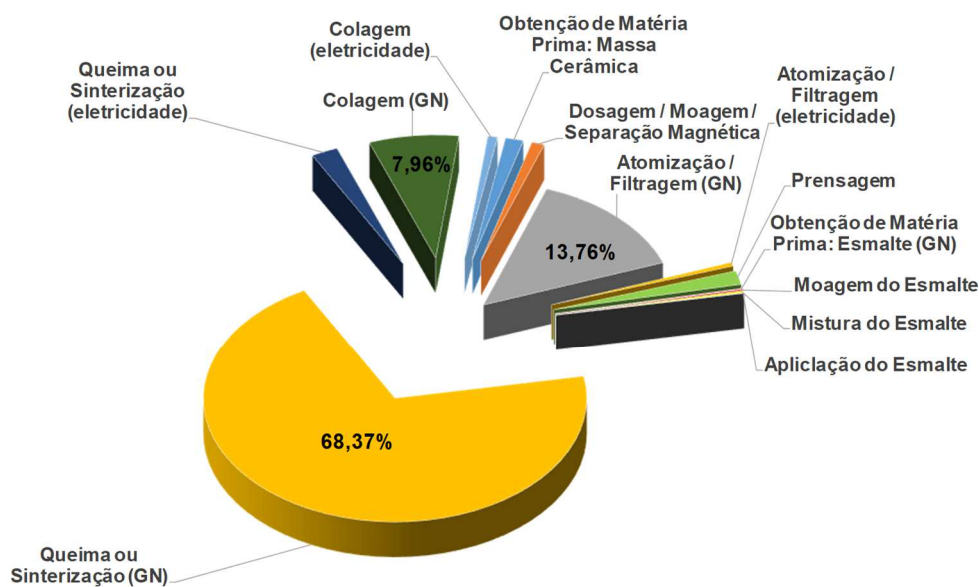


Figura 35: Consumo energético nos processos de produção da pastilha de porcelana

O consumo energético determinado pode ser generalizado para indústrias de RC que produzam RC tipo pastilha de porcelana e utilizem processo produtivo compatíveis com o presente estudo de caso. A produção de outro tipo RC deve ser analisada de forma criteriosa para a utilização dos dados encontrados.



Tabela 16: Resumo da energia consumida no processo de produção do RC

PROCESSO	ENERGIA				
	Caracterização		Consumo em KWh		
	Unidade	Tipo	por m <sup>2</sup> de RC	Total	Participação
<b>Obtenção de Matéria Prima: Massa Cerâmica</b>	TEP / t	Térmica	0,49	65.718,80	1,44%
Transporte da Matéria Prima da jazida à indústria	TEP / t	Térmica	1,00	133.804,55	2,92%
<b>Preparação da Massa Cerâmica</b>					
Dosagem (diesel)	TEP / t	Térmica	0,63	84.761,69	1,85%
Dosagem / Moagem / Separação Magnética	KWh por m <sup>2</sup> de RC	Elétrica	0,35	46.695,05	1,02%
Atomização / Filtragem (GN)	m <sup>3</sup> de GN/m <sup>2</sup> de RC	Térmica	4,55	608.711,00	13,29%
Atomização / Filtragem (eletricidade)	KWh por m <sup>2</sup> de RC	Elétrica	0,16	21.499,18	0,47%
<b>Prensagem</b>	KWh por m <sup>2</sup> de RC	Elétrica	0,59	78.311,50	1,71%
Secagem	---	---	---	---	---
<b>Esmaltação</b>					
<b>Preparação do Esmalte</b>					
Obtenção de Matéria Prima: Esmalte (GN)	TEP / t	Térmica	0,01	1.747,76	0,04%
Moagem do Esmalte	KWh por m <sup>2</sup> de RC	Elétrica	0,05	6.161,15	0,13%
Mistura do Esmalte	KWh por m <sup>2</sup> de RC	Elétrica	0,07	9.241,73	0,20%
<b>Aplicação do Esmalte</b>	KWh por m <sup>2</sup> de RC	Elétrica	0,01	1.619,73	0,04%
<b>Queima ou Sinterização</b>					
Queima ou Sinterização (GN)	m <sup>3</sup> de GN por m <sup>2</sup> de RC	Térmica	22,68	3.033.880,00	66,25%
Queima ou Sinterização (eletricidade)	KWh por m <sup>2</sup> de RC	Elétrica	0,73	97.200,00	2,12%
Colagem (GN)	m <sup>3</sup> de GN por m <sup>2</sup> de RC	Térmica	2,46	328.491,05	7,17%
Colagem (eletricidade)	KWh por m <sup>2</sup> de RC	Elétrica	0,27	35.994,10	0,79%
Embalagem	---	---	---	---	---
Expedição (GLP)	Kg de GLP por m <sup>2</sup> de RC	Térmica	0,19	25.670,40	0,56%
<b>Total</b>			<b>34,24</b>	<b>4.579.507,68</b>	<b>100,00%</b>

A Tabela 17 mostra a totalização do consumo de energia elétrica e de energia térmica por unidade de produção em m<sup>2</sup> de RC, para a produção de 133.752 m<sup>2</sup>, bem como a participação percentual de cada tipo de energia. Observa-se que a maior proporção é relativa ao uso da energia térmica, usada principalmente nas etapas de secagem e queima dos RC's.

Tabela 17: Totalização das energias consumidas na produção do RC

TIPO DE ENERGIA CONSUMIDA	Consumo em KWh		
	por m <sup>2</sup> de RC	Total	Participação
Energia Elétrica	2,23	296.722,44	6,48%
Energia Térmica	32,01	4.282.785,24	93,52%
<b>Total</b>	<b>34,24</b>	<b>4.579.507,68</b>	<b>100,00%</b>

O maior consumo de energia térmica se deve ao fato de a produção de RC utilizar calor em etapas principais da produção e o fornecimento de GN não estar sujeito às condições climáticas (crises hídricas) que impõe restrições de fornecimento de energia elétrica à indústria como um todo, razão pela opção deste tipo de fonte de energia pela indústria do caso.

De outro modo, a Tabela 18 mostra em detalhe o consumo de energia elétrica nas etapas individuais da fabricação dos RC's. A etapa que mais contribui para o consumo de energia elétrica é a queima, seguida pela prensagem e moagem, que são responsáveis por aproximadamente 75% do consumo de energia elétrica do processo produtivo dos RC's.

Tabela 18: Consumo de energia elétrica nas etapas da produção dos RC's

PROCESSO	ENERGIA ELÉTRICA		
	Consumo em KWh		
	por m <sup>2</sup> de RC	Total	Participação
Dosagem / Moagem / Separação Magnética	0,35	46.695,05	15,74%
Atomização / Filtragem (eletricidade)	0,16	21.499,18	7,25%
<b>Prensagem</b>	<b>0,59</b>	<b>78.311,50</b>	<b>26,39%</b>
Moagem do Esmalte	0,05	6.161,15	2,08%
Mistura do Esmalte	0,07	9.241,73	3,11%
Aplicação do Esmalte	0,01	1.619,73	0,55%
Queima ou Sinterização (eletricidade)	0,73	97.200,00	32,76%
Colagem (eletricidade)	0,27	35.994,10	12,13%
<b>Total</b>	<b>2,23</b>	<b>296.722,44</b>	<b>100,00%</b>

Com relação ao consumo de energia térmica, proveniente da queima de gás natural, a Tabela 19 mostra as participações de cada uma das etapas do processo produtivo dos revestimentos cerâmicos. Observa-se que as etapas de queima, atomização e colagem, são as principais responsáveis pelo consumo de energia térmica, em que a etapa de queima consome mais de 70% da energia térmica de todo o processo de fabricação dos RC.

Tabela 19: Consumo de energia térmica no processo de produção do RC

PROCESSO	ENERGIA TÉRMICA		
	Consumo em KWh		
	por m <sup>2</sup> de RC	Total	Participação
Obtenção de Matéria Prima: Massa Cerâmica	0,49	65.718,80	1,53%
Transporte da Matéria Prima da jazida à indústria	1,00	133.804,55	3,12%
Dosagem (diesel)	0,63	84.761,69	1,98%
Atomização / Filtragem (GN)	4,55	608.711,0000	14,21%
Obtenção de Matéria Prima: Esmalte (GN)	0,01	1.747,76	0,04%
Queima ou Sinterização (GN)	22,68	3.033.880,00	70,84%
Colagem (GN)	2,46	328.491,05	7,67%
Expedição (GLP)	0,19	25.670,40	0,60%
<b>Total</b>	<b>32,01</b>	<b>4.282.785,24</b>	<b>100,00%</b>

Os dados obtidos *in loco* e diretamente nos processos de produção dos RC's, mostraram que a etapa da queima/sinterização do RC é a responsável pela maior participação no consumo de energia térmica, assim como de também de energia elétrica, de modo que merece atenção quanto à possíveis melhorias em busca de eficiência energética.

Finalmente, o balanço de energia, que inclui a energia térmica e elétrica, mostra que são consumidos 34,24 KWh por m<sup>2</sup> de RC tipo pastilha de porcelana produzida.

### 4.3 Balanço de massa dos processos de fabricação RC

O balanço de massa foi elaborado com base nas etapas mostradas no fluxograma simplificado do processo de produção do RC, tipo pastilha de porcelana (Figura 30 e Figura 32).

### **4.3.1 Obtenção da matéria prima**

O processo de extração da MP, feito diretamente nas jazidas, praticamente não gera perdas. As eventuais quantidades de MP's perdidas na etapa de transporte e de carregamento poderão ser reaproveitadas em um próximo carregamento.

Quanto aos estoques de segurança mantidos nos pátios da indústria cerâmica, do mesmo modo, praticamente não apresenta perdas, uma vez que as eventuais perdas ficam depositadas no próprio pátio que receberá uma nova partida de MP, não sendo consideradas no balanço de massa.

Na indústria cerâmica pesquisada são consumidas mensalmente em torno de 7.800 t de MP, para a produção dos RC's. Especificamente, para a unidade produtiva 1, são consumidas mensalmente 1.662 t de MP, para uma produção média de 133.752,17 m<sup>2</sup> de RC (pastilhas de porcelanas), que foram produzidas nos seis meses de levantamento de campo. Então, os dados indicaram uma média de 12,43 Kg de MP por m<sup>2</sup> de RC, de modo que esta foi a quantidade considerada no ponto de entrada do processo produtivo para a massa cerâmica.

### **4.3.2 Preparação da massa cerâmica**

A preparação da massa cerâmica tem início a partir do controle de umidade da MP (argila cerâmica), que é feita logo na chegada da MP e depositada no pátio de estocagem. Destaca se que a MP é adquirida na forma de lotes, com 27 t cada, proveniente diretamente da jazida. As etapas seguintes correspondem à homogeneização e à dosagem.

Tendo como base o grau de umidade da MP e a quantidade de massa crua a serem incluídas na massa cerâmica, é formulada uma dosagem dos insumos, voltados à preparação da massa cerâmica, sendo que esta dosagem consiste de sigilo industrial.

Nesta etapa do processo ocorrem perdas de materiais, que geralmente são reaproveitadas em nova dosagem. A média anual de massa crua reaproveitada, que foi perdida em processos anteriores, é da ordem de 2,03%,

sendo utilizada integralmente em novo processo de produção de massa cerâmica.

Na etapa de moagem, a perda ocorre por meio de grãos que possuem dimensões acima da dimensão máxima tolerável, que são descartados na separação granulométrica da massa cerâmica.

A etapa da separação Magnética ocorre concomitantemente com a separação granulométrica, em que após a massa cerâmica ao passar pela peneira granulométrica, passa também por um conjunto de imãs que promove a retirada do óxido de ferro. Esta perda, quer seja por separação granulométrica ou por separação magnética, é considerada na perda total do processo de produção da pastilha de porcelana.

Para a composição da massa cerâmica é feita a dosagem em que é mantida a proporção da mistura com 50% de água e 50% de grãos de argila. Considerando-se que a MP é aceita com até 25% de umidade e que a umidade média no momento do preparo da massa é de 15%, ocorre a adição média de 984,9 t de água, para a produção mensal média de 133.752,17 m<sup>2</sup> de RC, tipo pastilhas de porcelana.

Na etapa de atomização a perda de massa ocorre por meio da emissão de partículas para a atmosfera. Este tipo de emissão concentra não só as partículas produzidas no processo da atomização, como também no processo da queima, em que o vapor carrega as partículas liberadas. Entretanto, existe perda de calor no processo de queima, mesmo quando a atomização não está ocorrendo, em que há emissão direta de partículas para a atmosfera provenientes do processo de queima.

O balanço de massa no processo de filtragem, conseqüentemente no processo de atomização, foi feito por meio de análise do relatório de amostragem da chaminé do atomizador (*Spray Dryer*) da unidade 1, em que a quantificação foi realizada no mesmo período de aquisição dos dados no chão de fábrica.

O relatório utilizado tem sua metodologia baseada nas seguintes Normas da CETESB, da USEPA e da ABNT, tanto para a coleta do material particulado, como para sua análise:

- **CETESB** (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo): L9.210 - Análise dos Gases de Combustão - Através do Aparelho ORSAT; L9.221 - Dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação dos Pontos de Amostragem; L9.222 - Dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação da Velocidade e Vazão dos Gases; L9.223 - Dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação da Massa Molecular Seca e do excesso de Ar do Fluxo Gasoso; L9.224 - Dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação da Umidade dos Efluentes.
- **USEPA** (*United States Environmental Protection Agency*): USEPA Método 29 - Determinação de Emissões de Metais a Partir da Fonte Estacionária.
- **ABNT** (Associação Brasileira de Normas Técnicas): NBR 10701-MB1202 - Determinação de pontos de amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias; NBR 10702-MB2994 - Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias. Determinação da massa molecular base seca; NBR 11966-MB3080 - Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias Determinação da velocidade e vazão; NBR 11967-MB3081 - Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias Determinação da umidade.

A determinação dos particulados foi feita em três coletas, de aproximadamente uma hora cada. A análise do teor Si foi obtido após a digestão ácida das amostras coletadas via técnicas de espectrometria de absorção atômica.

O resultado apontou para emissão média de gases  $8,66 \text{ g.m}^{-2}$  de RC; dos quais  $0,19 \text{ g.m}^{-2}$  de  $\text{CO}_2$ ;  $1,78 \text{ g.m}^{-2}$  de  $\text{O}_2$  e  $6,69 \text{ g.m}^{-2}$  de  $\text{N}_2$ . Há ainda a concentração de  $5,87 \text{ g.m}^{-3}$  de Si contida nos gases, ou seja,  $0,2365 \text{ g.m}^{-2}$  de pastilha, liberados a temperatura média de  $72,27^\circ\text{C}$ , com velocidade média nas condições da chaminé de  $2,297 \text{ m.s}^{-1}$ ; vazão média nas condições da chaminé de  $1.434 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$  e vazão média nas condições de base seca de  $864 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ . Estas informações foram obtidas com base nos dados da Figura 20.

Tabela 20: Compilação da análise dos gases emitidos pela chaminé do filtro do atomizador da Unidade Produtiva 1 (Chaminé Spray Dryer 1)

Parâmetro	Unidade	Média	Perda Mensal (24 h/dia x 26 dias)	Perda por m <sup>2</sup> de pastilha de porcelana
<b>Silício</b>				
Concentração nos Gases	mg / N m <sup>3</sup>	5,87	31.637	0,2365 g
Taxa de emissão	g / h	50,70	-	-
Umidade do Gás	% V / V	16,53	-	-
Dióxido de Carbono	% V / V	1,43	12.799 m <sup>3</sup>	0,10 m <sup>3</sup>
Oxigênio	% V / V	18,60	166.482 m <sup>3</sup>	1,24 m <sup>3</sup>
Nitrogênio	% V / V	79,97	715.784 m <sup>3</sup>	5,35 m <sup>3</sup>
Total	% V / V	100,00	895.066 m <sup>3</sup>	6,69 m <sup>3</sup>
Temperatura dos Gases	°C	72,27		
Velocidade nas Condições da Chaminé	m / s	22,97		
Vazão nas Condições da Chaminé	m <sup>3</sup> / h	1.434	895.066 m <sup>3</sup>	6,69 m <sup>3</sup>
Vazão nas Condições Normais Base Seca	N m <sup>3</sup> / h	864	538.949 m <sup>3</sup>	4,03 m <sup>3</sup>

Fonte: Produzida pelo autor a partir do relatório de amostragem

Com relação ao balanço efetuado nesta etapa, destaca-se que 84% da perda apontada ocorreu na etapa de atomização. As perdas do processo de queima também foram lançadas na atmosfera pela chaminé do atomizador, sendo que os demais 16% das perdas apontadas no estudo da chaminé do *spray dryer* foram originadas no processo de queima.

Na etapa de prensagem, o pó atomizado que chega às prensas hidráulicas é conformado para eliminação de poros. A perda nesta etapa, apesar de ser reduzida em relação às demais etapas do processo, não pôde ser medida e foi considerada no conjunto de perdas que ocorrem antes da esmaltação, apontadas como sendo 2,03% da massa cerâmica. Assim, para uma massa de 1.662 t, tem-se uma perda de 33,739 t de massa cerâmica, que corresponde a perda de 252 g.m<sup>-2</sup> de pastilha porcelana. Esta massa é totalmente reaproveitável, tendo-se em vista que não sofreu modificação resultante de queima/sinterização.

O consumo de esmalte na produção do RC, foi feito com base no consumo de cada peça produzida, obtendo consumo médio de 700g de esmalte por m<sup>2</sup> de

RC, em que foram usados 385g de água e 315g de demais componentes que compõem o esmalte. Assim, a unidade produtiva analisada consumiu em média 42,132 t por mês de insumos destinados à produção do esmalte, considerando a produção média no período dos 6 meses do levantamento de campo.

Com relação à etapa de moagem e homogeneização dos grãos, a adição de água visa reduzir a mistura para granulometria inferior a 44 $\mu$ m, em que o controle da granulometria é feito por peneiras. Os materiais perdidos retornam a uma nova etapa de moagem. Não existe, na produção, uma forma de dimensionar a quantidade de grãos que é separada (perda), pois o material não é pesado quando retirado das peneiras, e a perda é controlada no processo como um todo. Após a moagem a massa do esmalte é removida para os tanques de descanso, nos quais permanecem em agitação lenta constante para manter a massa homogênea.

Em uma nova etapa da preparação do esmalte, são adicionados os insumos formadores do vidro e que diferem para cada tipo de acabamento e cor de RC. Além dos insumos é adicionada água que permite transformar a massa do esmalte em um caldo com consistência ideal para a aplicação nas cabines de esmaltação. Na composição final, o esmalte contém 55% de água e 45% de demais componentes. Para cômputo no balanço de massa foi considerado para o período em análise a entrada de 51,495 t de água na etapa de moagem, mesmo que parte desta massa tenha sido adicionada na mistura.

Em geral, o lote de esmalte produzido foi 50 L, que corresponde a um lote de 50 m<sup>2</sup> de pastilhas de porcelana, em que o esmalte é produzido com uma sobra em torno de 5%, o que é suficiente para os testes de controle de cor e qualidade.

Os insumos dosados, moídos, misturados e testados são transportados para recipientes, posicionados sobre as cabines de esmaltação e são aplicados na superfície das pastilhas de porcelana.

Parte do material perdido nesta fase foi capturado e reconduzido aos reservatórios de esmalte pronto. No processo produtivo a perda foi em torno de 4% de todo esmalte produzido, seja na dosagem, na moagem, na mistura, nos testes de cor e qualidade ou na aplicação. Esta perda percentual representou



1,69 t de insumos e 2.055 L de água.

Na etapa de queima, geralmente aparecem os defeitos provocados nos RC em outros pontos do processo produtivo. Defeitos até então imperceptíveis se manifestam, de modo que se tem um elevado nível de perdas. Estas perdas são contabilizadas no processo de classificação/controlado de qualidade.

Na etapa de carga e descarga das vagonetas, ocorrem acidentes provocados pelo impacto entre pastilhas, o que provoca quebra e defeitos, que também serão contabilizados no processo de classificação/controlado de qualidade.

Assim que os RC's são retirados das vagonetas, são selecionados para compor as cartelas, que são comercializadas e utilizadas para revestimento de paredes e pisos. O RC reprovado no processo de controle de qualidade não mais pode ser conduzido para reaproveitamento na massa cerâmica e deve ser tratado como resíduo sólido do sistema produtivo.

O RC na forma de placas 30 cm x 30 cm e pronto para ser colado em cartelas, é submetido a nova inspeção para garantia da qualidade do produto final. Se o defeito apontado for o de desalinhamento, procede-se a sua correção; se o defeito for de qualidade da peça, promove-se a sua substituição e encaminha-se a placa para o processo de colagem automática.

A perda acumulada nos processos de queima, de descarga das vagonetas e de controle de qualidade, durante seis meses, foi de 1,17% do total das pastilhas produzidas, que aponta 19,445 t, e uma perda relativa de 145,38 g.m<sup>-2</sup> de pastilha de porcelana. Este é um número relevante, uma vez que representa a geração de resíduo sólido final do processo.

O RC pronto é transportado em uma esteira rolante até as coladeiras, que injetam pequenas quantidades de cola de PVC unindo o RC, transportando-o em seguida para a embalagem final. É uma etapa que não provoca perdas, uma vez que não são contabilizadas nos custos e defeitos de produção. O consumo do processo foi de 22,8 t de cola de PVC, representando 170,46 g.m<sup>-2</sup> de RC.

A etapa de embalagem se resume à lacração da embalagem e à identificação do produto e lote de fabricação. Este processo praticamente não provoca

perdas e eventuais acidentes no transporte das embalagens por empilhadeiras são contabilizados no computo geral de perdas na produção/venda de RC.

Finalmente, o RC é transportado para seu destino final. O carregamento do RC do estoque para o veículo de transporte é promovido por empilhadeiras. Ocorrem perdas por acidentes de transporte tanto no interior da indústria, como no transporte e operação de descarga do RC no seu destino intermediário ou destino final. Não existem dados que determinam a perda envolvida na etapa de expedição dos RC's. Esta perda é contabilizada no cômputo total de perdas, assumido estatisticamente pela indústria.

A indústria investigada, no que se refere à produção de RC tipo pastilha de porcelana, trabalha com perdas estatísticas dos insumos componentes da massa cerâmica, seja no transporte interno da MP, na dosagem, moagem, separação magnética, atomização/filtragem, prensagem, esmaltação/produção do esmalte, queima, classificação, embalagem e expedição. A perda inclui a perda de material por geração de resíduos sólidos, por consumo de energia com produtos descartados, por reprocesso de massa cerâmica e do esmalte.

As perdas por emissões atmosféricas não se encontram nessas estatísticas e foram calculadas com base em relatórios de monitoramento da chaminé da unidade produtiva investigada, mediante consideração apontada no balanço de massa, na preparação da massa cerâmica, atomização e filtragem. Não foi considerado no presente estudo a reciclagem do resíduo sólido, pelo fato de seu custo final ser significativamente superior ao das demais pastilhas de porcelana.

#### **4.4 Compilação do balanço de massa**

Os dados de entrada e de saída de massa em cada etapa do processo produtivo do RC, são mostrados na Tabela 21.

Tabela 21: Resumo das entradas e saídas de massa nas etapas do processo produtivo do RC

PROCESSO	MASSA								
	Unidade	Vinda da Etapa anterior	Adicionada na Etapa		Perdida na Etapa		Final da Etapa		
		Kg	Kg	%	Kg	%	Total	por m <sup>2</sup> de RC	
<b>Preparação da Massa Cerâmica</b>									
Dosagem	Kg	-	1.662.000,00	60,14%	-	0,00%	1.662.000,00	12,43	
Moagem / Separação Magnética	Kg	1.662.000,00	984.900,00	35,64%	-	0,00%	2.646.900,00	19,79	
Atomização / Filtragem	Kg	2.646.900,00	-	0,00%	973.295,00	80,07%	1.673.605,00	12,51	
Prensagem	Kg	1.673.605,00	-	0,00%	33.739,00	2,78%	1.639.866,00	12,26	
<b>Esmaltação</b>									
<i>Preparação do Esmalte</i>									
Obtenção de Matéria Prima do Esmalte	Kg	1.639.866,00	42.132,00	1,52%	-	0,00%	1.681.998,00	12,58	
Moagem do Esmalte	Kg	1.681.998,00	51.495,00	1,86%	-	0,00%	1.733.493,00	12,96	
Mistura do Esmalte	Kg	1.733.493,00	-	0,00%	-	0,00%	1.733.493,00	12,96	
Aplicação do Esmalte	Kg	1.733.493,00	-	0,00%	3.745,00	0,31%	1.729.748,00	12,93	
<b>Queima ou Sinterização</b>									
Carga das Vagonetas	Kg	1.729.748,00	-	0,00%	-	0,00%	1.729.748,00	12,93	
Queima ou Sinterização	Kg	1.729.748,00	-	0,00%	185.390,00	15,25%	1.544.358,00	11,55	
Descarga das Vagonetas	Kg	1.544.358,00	-	0,00%	-	0,00%	1.544.358,00	11,55	
Classificação - 1º controle de qualidade	Kg	1.544.358,00	-	0,00%	-	0,00%	1.544.358,00	11,55	
Classificação - 2º controle de qualidade	Kg	1.544.358,00	-	0,00%	19.445,00	1,60%	1.524.913,00	11,40	
Colagem	Kg	1.524.913,00	22.800,00	0,83%	-	0,00%	1.547.713,00	11,57	
Embalagem	Kg	1.547.713,00	-	0,00%	-	0,00%	1.547.713,00	11,57	
Expedição	Kg	1.547.713,00	-	0,00%	-	0,00%	1.547.713,00	11,57	
<b>Total</b>		<b>27.028.622,00</b>	<b>2.763.327,00</b>	<b>100,00%</b>	<b>1.215.614,00</b>	<b>100,00%</b>	-----	-----	
<b>Massa ao Final do Processo de Produção do RC --&gt;</b>							<b>1.547.713,00</b>	<b>11,57</b>	

A etapa da produção do RC apontou que a maior entrada de massa corresponde à dosagem de MP para preparo da massa cerâmica (60,14%); seguida da moagem da MP (35,64%), que respondem por mais de 95% das entradas de massa na produção do RC, de modo que a Figura 36 mostra a distribuição das entradas de massa na produção do RC.

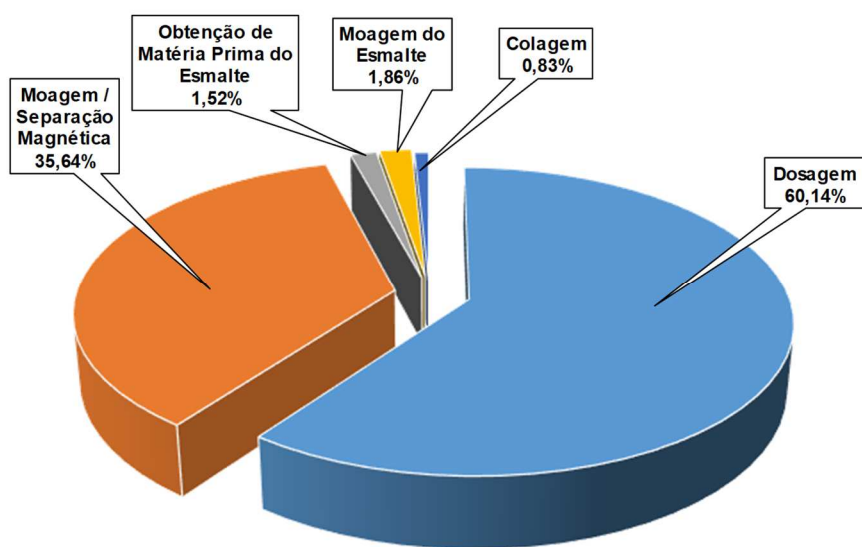


Figura 36: Distribuição das entradas de massa nas etapas produtivas do RC

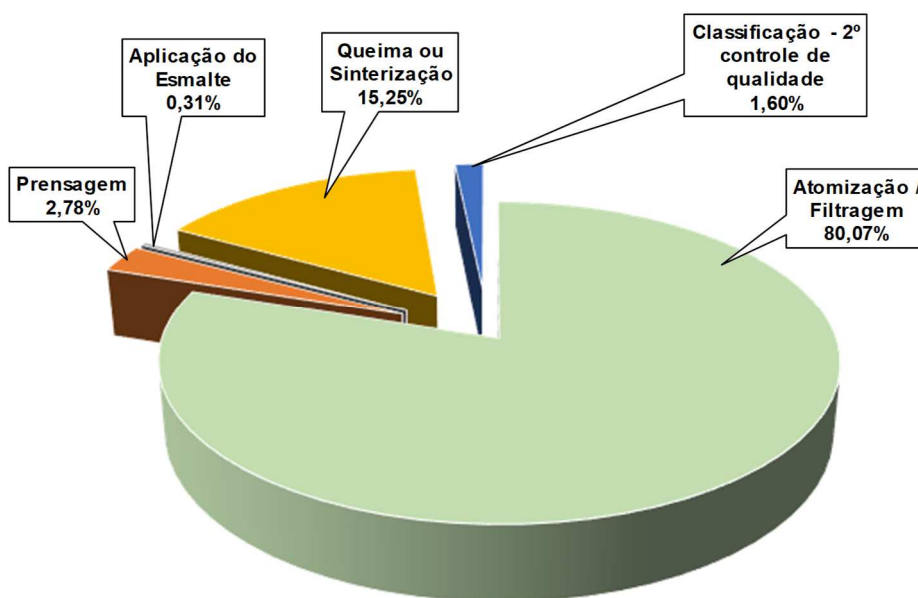


Figura 37: Distribuição das perdas de massa nas etapas produtivas do RC

Por outro lado, a etapa que proporciona maior perda de massa é a da atomização (80,07%), seguida pela etapa de queima (15,25%), que respondem por mais de 95% das perdas de massa na produção do RC. Destaca-se que nestas duas etapas ocorre emissão de partículas para a atmosfera, de modo que as perdas de massa na produção do RC são visualizadas na Figura 37.

O consumo de insumos, determinado pelas entradas e perdas de massa, nas etapas do processo produtivo do RC, pode ser usado como base de cálculos para outras indústrias produzem RC tipo pastilha de porcelana e utilizam processos compatíveis com o presente estudo de caso.

#### **4.5 Fluxograma do processo contendo os consumos de energia e de massa individuais**

A Figura 38 mostra o fluxograma relativo ao consumo de energia do processo de produção dos RC tipo pastilha de porcelana, elaborado a partir da Figura 32 e dos dados do processo de produção, que foram obtidos por meio do acompanhamento em chão de fábrica na indústria de RC. Também, os dados foram confrontados com os de consumo de energia elétrica e GN, obtidos por meio de dados do referencial teórico para a extração de MP's (Coelho, 2009) e por estimativas de consumo em transporte (interno e externo).

O fluxograma traz, de forma sistematizada, o tipo e a quantificação de energia consumida em cada etapa produtiva, permitindo visualizar de forma direta as etapas com maior consumo energético no processo produtivo, bem como permite comparações com outros estudos que possuam o consumo energético segmentado por etapa produtiva.

A Figura 39 mostra o fluxograma relativo ao consumo de massa do processo de produção dos RC tipo pastilha de porcelana elaborado, levando-se em conta a Figura 30 e a Figura 32, em que os levantamentos de dados em chão de fábrica são complementados por dados estatísticos que norteiam a compra de insumos e a elaboração dos custos de produção e as perdas no processo produtivo. O fluxograma mostra as entradas (tipo e quantidade) e saídas (tipo e quantidade) nos pontos passíveis de quantificação, permitindo comparação com estudos que determinaram a massa final dos RC's.

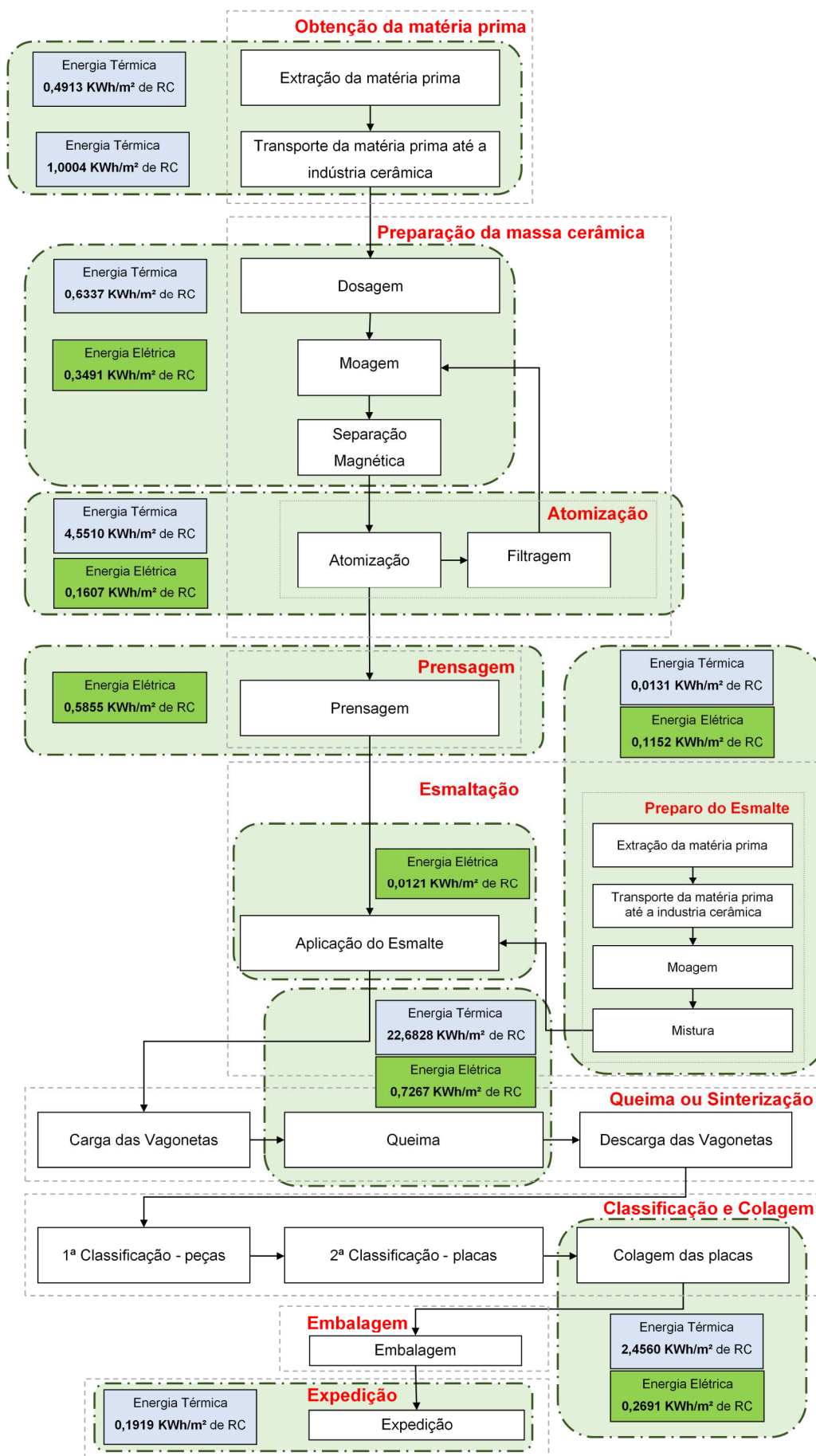


Figura 38: Fluxograma do processo de fabricação do RC com os respectivos consumos de energia nas diversas etapas

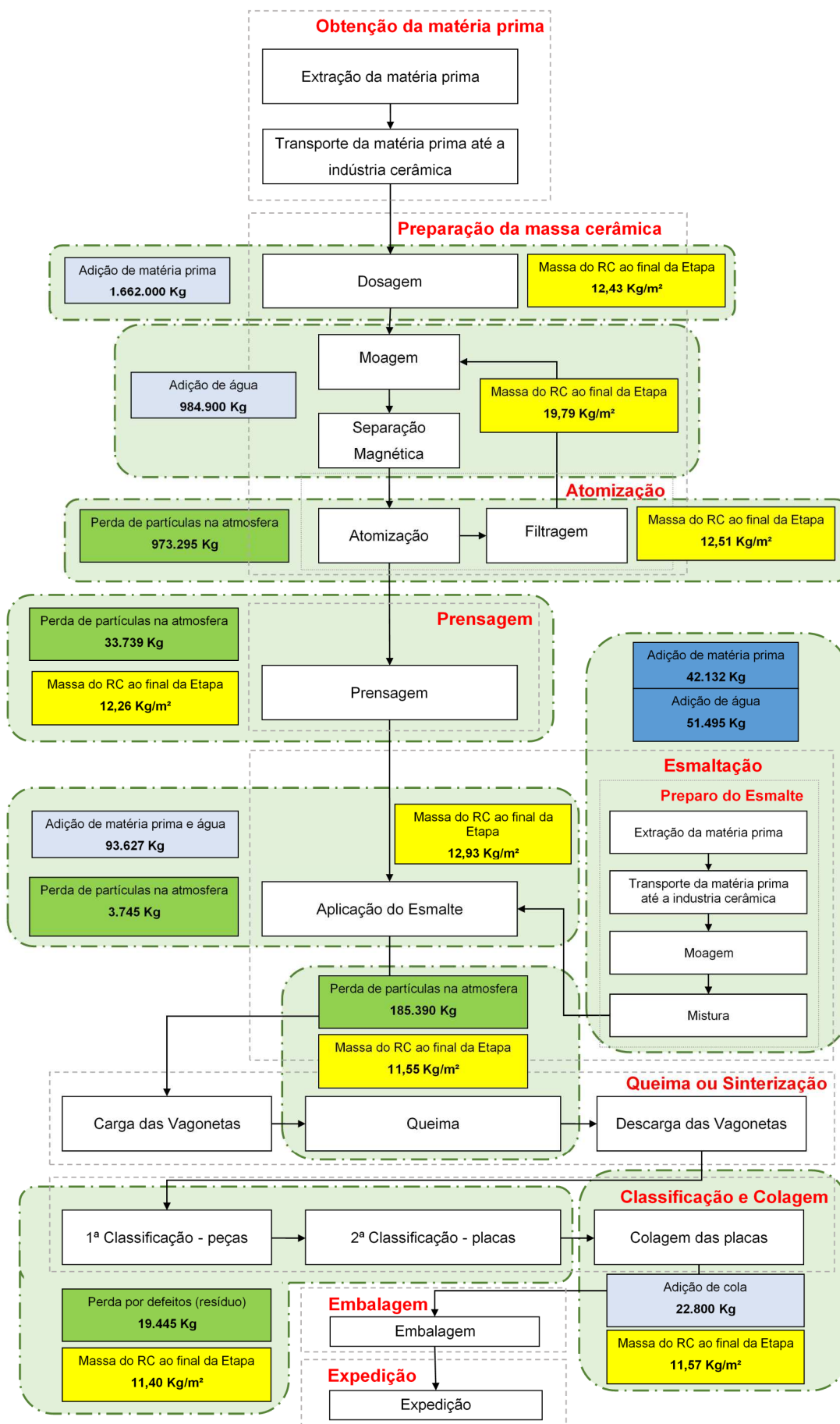


Figura 39: Fluxograma do processo de fabricação do RC com as respectivas adições e perdas de massa nas diversas etapas

#### 4.6 Emissões de CO<sub>2</sub> na produção de RC

As emissões de CO<sub>2</sub> pelas indústrias estão diretamente ligadas aos possíveis impactos ambientais causados nas diversas operações unitárias que envolvem a exploração e beneficiamento das MP's, a produção, distribuição e uso dos produtos. Assim, no sentido de minimizar os impactos ambientais, uma das alternativas é a busca por formas de captura/armazenamento de CO<sub>2</sub>.

Nesse contexto, o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> está relacionado a determinação da quantia de floresta de eucalipto a ser plantada (ou mantida) por m<sup>2</sup> de RC produzido, de modo a promover a captura do CO<sub>2</sub> e, assim, reduzir o impacto ambiental do processo. Dessa forma, as emissões do CO<sub>2</sub> ocorrem em alguns pontos do processo produtivo dos RC:

- Extração da MP (argila);
- Transporte da MP da jazida até a indústria cerâmica;
- Dosagem da massa cerâmica;
- Atomização;
- Prensagem;
- Esmaltação (preparação do esmalte, moagem do esmalte, mistura do esmalte; aplicação do esmalte);
- Queima/sinterização;
- Colagem;
- Embalagem e expedição.

Para as emissões de CO<sub>2</sub> serão utilizados os dados da pesquisa realizada por Coelho (2009) em minas e minerações de pequeno porte, adotando-se o parâmetro de emissão de 1,1Kg de CO<sub>2</sub>.t<sup>-1</sup> de argila extraída.

Com relação ao consumo de energia elétrica nas diversas etapas da produção dos RC's, foi empregado o fator médio de emissão de CO<sub>2</sub> na geração de energia elétrica no Brasil para o ano de 2017, sendo igual a 0,0927 Kg de CO<sub>2</sub> por Kwh gerado MCTIC (2017).

As emissões de CO<sub>2</sub> no transporte da MP da jazida até a indústria cerâmica serão calculadas com base no consumo de óleo diesel por veículos pesados apontada no item obtenção da MP, correspondente a 26.672 L de combustível. A estequiometria da combustão do diesel, considerando a densidade do óleo



diesel e seu Poder Calorífero Inferior (PCI) leva à emissão de 2,62 Kg de CO<sub>2</sub> por L de combustível.

As emissões de CO<sub>2</sub> na dosagem da massa cerâmica foram calculadas com base no consumo de óleo diesel consumido em veículo do tipo pá-carregadeira, apontada no item preparação da massa cerâmica, correspondente a 4.224 L de combustível. A estequiometria da combustão do diesel acima apontada, leva à emissão de 2,62 Kg de CO<sub>2</sub> por L de combustível.

As emissões de CO<sub>2</sub> na moagem e separação magnética correspondem ao consumo de 46.695,05 KWh de energia elétrica, convertidas pelo fator médio de emissão de CO<sub>2</sub> na geração de energia elétrica no Brasil para o ano de 2017, igual a 0,0927 Kg de CO<sub>2</sub> por Kwh gerado MCTIC (2017).

Por outro lado, as emissões de CO<sub>2</sub> na atomização correspondem ao consumo de 21.499,18 KWh de energia elétrica, também convertidos pelos citado fator médio de emissão de CO<sub>2</sub> na geração de energia e, no que se refere à energia térmica, foram obtidas pela estequiometria de 62.984 m<sup>3</sup> de GN utilizados na queima/sinterização, sendo emitidos 2,1237 Kg de CO<sub>2</sub> por m<sup>3</sup> de GN consumido na combustão completa.

As emissões na prensagem correspondem ao CO<sub>2</sub> emitido na geração da energia elétrica consumida no processo, 78.311,50 KWh, e também foram determinadas pelo o fator médio de emissão de CO<sub>2</sub> na geração de energia elétrica no Brasil para o ano de 2017.

Para as emissões de CO<sub>2</sub> na obtenção da MP do esmalte, por tratar-se de extração de minerais em jazidas, também foram utilizados os dados da pesquisa de Coelho (2009), sendo a emissão de 1,1Kg de CO<sub>2</sub> por t de MP extraída. As emissões da geração da energia elétrica consumida na moagem do esmalte, mistura e aplicação do esmalte correspondem a 17.022,61 KWh.

As emissões de CO<sub>2</sub> na queima foram obtidas pela estequiometria do GN no que se refere à energia térmica à utilização de 313.919,00 m<sup>3</sup> de GN para que o ar proveniente da queima atinja a temperatura necessária. Assim, foram emitidos 2,1237 Kg de CO<sub>2</sub> por m<sup>3</sup> de GN consumido na combustão completa.

Para o CO<sub>2</sub> emitido, foram empregados 97.200,00 KWh de energia elétrica.

Na colagem as emissões de CO<sub>2</sub> proveniente da combustão de GN foram obtidas pela estequiometria do gás, ou seja, 2,1237 Kg de CO<sub>2</sub> para cada um dos 31.194,17 m<sup>3</sup> de GN consumidos no processo. Assim como 0,0927 Kg de CO<sub>2</sub> por Kwh na geração de cada um dos 35.994,10 KWh de energia elétrica consumidos no processo.

Por fim, as emissões provenientes dos processos de embalagem e expedição foram obtidas com base na estimativa de uso de empilhadeiras movidas à GLP, que foram determinados no cálculo de energia consumida no item específico, ou seja, 1.920 Kg de GLP. A estequiometria da combustão do GLP, considerando a densidade do óleo e seu Poder Calorífico Inferior (PCI) levam à emissão de 3,08 Kg de CO<sub>2</sub> por Kg de GLP.

A compilação das emissões de CO<sub>2</sub> no processo permitiu aferir que são emitidos 7,35 Kg de CO<sub>2</sub> para cada m<sup>2</sup> de RC tipo pastilha de porcelana produzido. O processo de queima/sinterização foi responsável pela emissão de aproximadamente 68% do CO<sub>2</sub> emitidos, seguido pela atomização com aproximadamente 14% da emissão de CO<sub>2</sub>, conforme se observa na Figura 40. As emissões de CO<sub>2</sub> estão sintetizadas na Tabela 22 e indicadas individualmente no fluxograma da Figura 41.

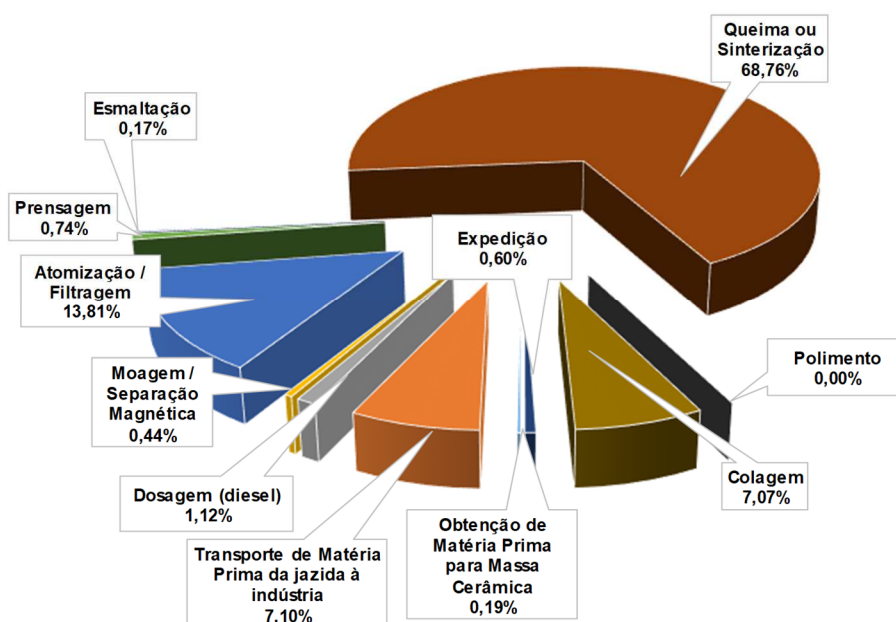


Figura 40: Emissões de CO<sub>2</sub> na produção do RC tipo pastilha de porcelana

Tabela 22: Resumo das emissões de CO<sub>2</sub> no processo produtivo do RC

PROCESSO	ITEM QUE GERA EMISSÃO		EMISSÕES DE CO <sub>2</sub>					
	Quantidade	Unidade do Item	Unitária	Unidade	Total	por m <sup>2</sup> de RC	Unidade	Participação
Obtenção de Matéria Prima para Massa Cerâmica	1.662,00	t de matéria prima	1,1000	Kg de CO <sub>2</sub> por t de MP	1.828,20	0,0137	Kg de CO <sub>2</sub>	0,19%
Transporte de Matéria Prima da jazida à indústria	26.672,00	L de Diesel	2,6166	Kg de CO <sub>2</sub> por L de diesel	69.791,00	0,5218	Kg de CO <sub>2</sub>	7,10%
<b>Preparação da Massa Cerâmica</b>								
Dosagem (diesel)	4.224,00	L de Diesel	2,6167	Kg de CO <sub>2</sub> por L de diesel	11.053,00	0,0826	Kg de CO <sub>2</sub>	1,12%
Moagem / Separação Magnética	46.695,05	KWh de energia elétrica	0,0927	Kg de CO <sub>2</sub> por KWh de energia elétrica	4.328,63	0,0324	Kg de CO <sub>2</sub>	0,44%
Atomização / Filtragem	62.984,00	m <sup>3</sup> de GN	2,1237	Kg de CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup> de GN	133.759,12	1,0001	Kg de CO <sub>2</sub>	13,61%
Atomização / Filtragem	21.499,18	KWh de energia elétrica	0,0927	Kg de CO <sub>2</sub> por KWh de energia elétrica	1.992,97	0,0149	Kg de CO <sub>2</sub>	0,20%
Prensagem	78.311,50	KWh de energia elétrica	0,0927	Kg de CO <sub>2</sub> por KWh de energia elétrica	7.259,48	0,0543	Kg de CO <sub>2</sub>	0,74%
<b>Esmaltação</b>								0,00%
Preparação do Esmalte								
Obtenção de Matéria Prima do Esmalte	42,13	t. de matéria prima	1,1000	Kg de CO <sub>2</sub> por t de MP	46,3452	0,0003	Kg de CO <sub>2</sub>	0,00%
Moagem do Esmalte	6.161,15	KWh de energia elétrica	0,0927	Kg de CO <sub>2</sub> por KWh de energia elétrica	571,14	0,0043	Kg de CO <sub>2</sub>	0,06%
Mistura do Esmalte	9.241,73	KWh de energia elétrica	0,0927	Kg de CO <sub>2</sub> por KWh de energia elétrica	856,71	0,0064	Kg de CO <sub>2</sub>	0,09%
Aplicação do Esmalte	1.619,73	KWh de energia elétrica	0,0927	Kg de CO <sub>2</sub> por KWh de energia elétrica	150,15	0,0011	Kg de CO <sub>2</sub>	0,02%
<b>Queima ou Sinterização</b>	313.919,00	m <sup>3</sup> de GN	2,1237	Kg de CO <sub>2</sub> por m <sup>3</sup> de GN	666.669,78	4,9844	Kg de CO <sub>2</sub>	67,84%
Queima ou Sinterização	97.200,00	KWh de energia elétrica	0,0927	Kg de CO <sub>2</sub> por KWh de energia elétrica	9.010,44	0,0674	Kg de CO <sub>2</sub>	0,92%
<b>Colagem</b>	31.194,17	m <sup>3</sup> de GN	2,1200	Kg de CO <sub>2</sub> por m <sup>3</sup> de GN	66.131,63	0,4944	Kg de CO <sub>2</sub>	6,73%
Colagem	35.994,10	KWh de energia elétrica	0,0927	Kg de CO <sub>2</sub> por KWh de energia elétrica	3.336,65	0,0249	Kg de CO <sub>2</sub>	0,34%
<b>Expedição</b>	1.920,00	Kg de GLP	3,0800	Kg de CO <sub>2</sub> por Kg GLP	5.913,60	0,0442	Kg de CO <sub>2</sub>	0,60%
<b>Total</b>					<b>982.698,85</b>	<b>7,3472</b>	<b>Kg de CO<sub>2</sub></b>	<b>100,00%</b>

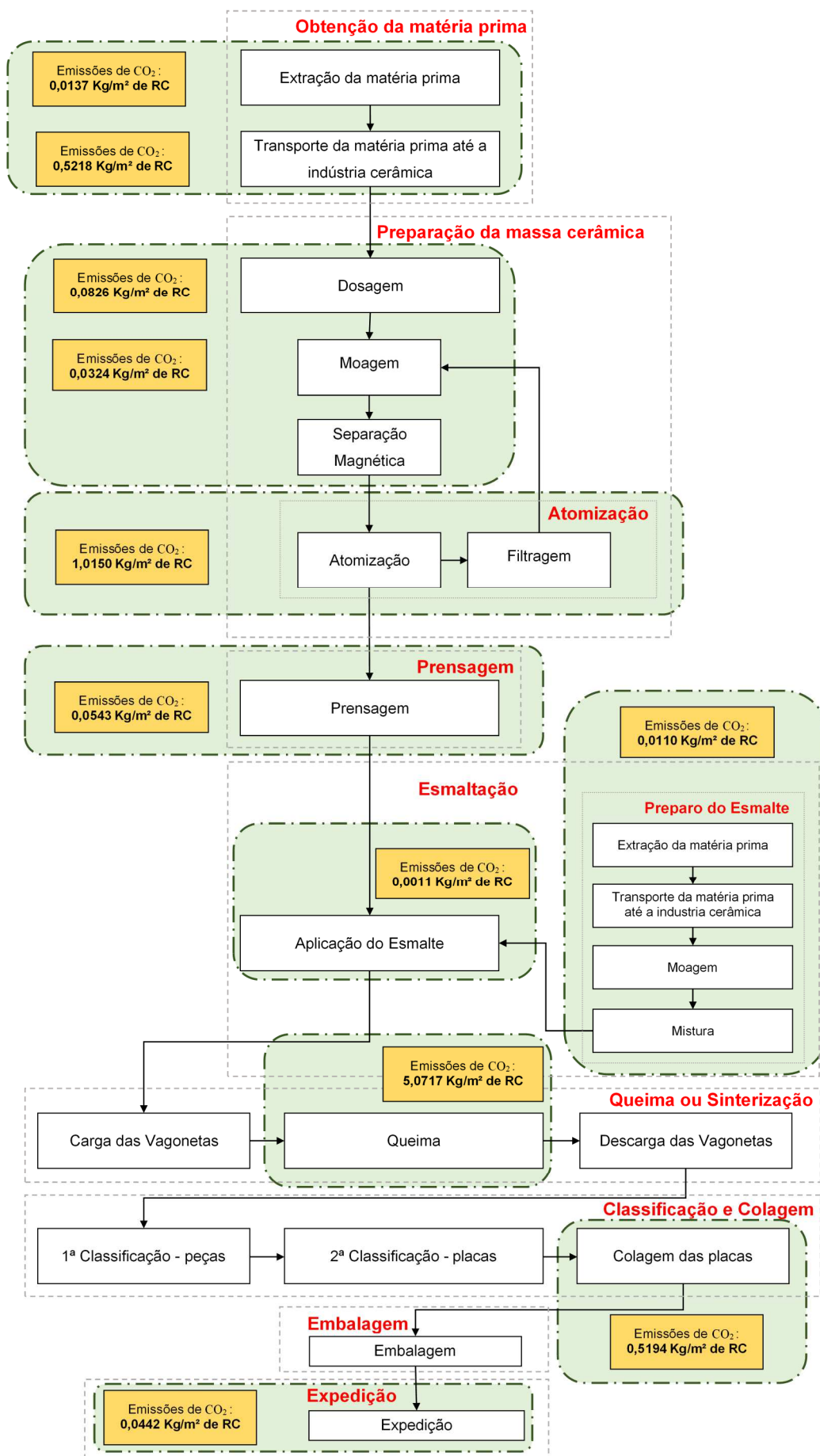


Figura 41: Fluxograma do processo de fabricação do RC com as respectivas emissões de CO<sub>2</sub>

O fluxograma da Figura 41, que aponta as etapas nas quais ocorre emissão de CO<sub>2</sub> e suas respectivas quantidades, permite a comparação dos dados obtidos na pesquisa para o processo produtivo do RC tipo pastilha de porcelana com dados de estudo que também traz resultados segmentados por etapa, situando a indústria objeto do estudo de caso em termos de poluição ambiental.

Tendo se como base o valor de 7,3472 Kg de CO<sub>2</sub> para a emissão de CO<sub>2</sub> na produção unitária do RC tipo pastilha de porcelana, foi feita a estimativa da necessidade de área coberta com plantação de eucalipto considerando 4,353 Kg de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de floresta de eucalipto, de modo que foi determinado o parâmetro de floresta de eucalipto a ser plantada/mantida por m<sup>2</sup> de RC produzido, que resultou da expressão:

$(7,3472 \text{ Kg de CO}_2) \div (4,353 \text{ Kg de CO}_2 \text{ por m}^2 \text{ de floresta}) = 1,69 \text{ m}^2 \text{ floresta de eucalipto por m}^2 \text{ de RC produzido}$

A determinação das emissões de CO<sub>2</sub> nas etapas do processo produtivo do RC, bem como a área de floresta de eucalipto a ser plantada/mantida para o sequestro de CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> de RC produzido, pode ser usada para indústrias de RC que produzam RC tipo pastilha de porcelana.

#### **4.7 Análise Comparativa**

Como forma de aferir o consumo energético levantado *in loco* no presente Estudo de Caso, foi feita uma comparação dos dados levantados com dados obtidos anteriormente em uma indústria cerâmica do polo ceramista de Santa Gertrudes/SP (Ciaco *et al.*, 2017) e, também, com o parâmetro de consumo total de energia para a produção unitária de RC demonstrado nos estudos realizados por NICOLETTI *et al.* (2002) e por BRIBIÁN *et al.* (2009). Com relação às emissões de CO<sub>2</sub> no processo produtivo do RC, foi feita a comparação dos dados obtidos no presente estudo com os dados levantados e compilados por PENG *et al.* (2012). As informações das referências teóricas foram relacionadas com os resultados e contribuições da presente pesquisa que foi promovida por meio da abordagem do ciclo de vida na produção do RC tipo pastilha de porcelana, estas relações e comparações se encontram compiladas na Tabela 23.

Tabela 23: Estudos teóricos x Levantamento de campo da ACV na produção do RC – contribuições da tese

ACV - TEÓRICO		ACV - LEVANTAMENTO DE CAMPO	CONTRIBUIÇÃO DA TESE
( Referencial Teórico )			
Autor(es)	Ano		
FONTES	Nicoletti <i>et al.</i> Estabelece, baseado em revisão de literatura, parâmetros de energia incorporada ao m <sup>2</sup> de RC e de massa final do m <sup>2</sup> de RC.	2002 Determina a energia incorporada ao m <sup>2</sup> de RC e a massa final do m <sup>2</sup> de RC tipo pastilha de porcelana.	Verifica que as ferramentas de Produção Mais Limpa introduziram melhorias de eficiência energética nos processos produtivos, reduzindo a energia incorporada ao RC, bem como um menor consumo de matérias primas ao reduzir a massa de RC/m <sup>2</sup> .
	Coelho Estabeleceu o consumo energético (energia térmica) e a emissão de CO <sub>2</sub> na extração de argila em minas de pequeno porte.	2009 Adotou como parâmetro o trabalho elaborado por Coelho (2009) uma vez que a extração extrapola os limites da indústria cerâmica estudada.	Incorpora ao estudo efetuado por Coelho (2009) o processo produtivo do RC e permitir a visualização do consumo energético e emissão de CO <sub>2</sub> na atmosfera em um único espectro.
	Ibáñez-Forés <i>et al.</i> Promovem, através da revisão de literatura, a análise ambiental (índices relevantes de poluição) e do consumo energético na produção do RC.	2011 Determina a energia incorporada ao m <sup>2</sup> de RC e a emissão de CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> de RC tipo pastilha de porcelana.	Traz para o universo da produção de RC no Brasil o parâmetro de energia incorporada ao m <sup>2</sup> de RC, assim como a emissão de CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> de RC produzido, que é um importante dado na determinação do parâmetro de captura de CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> de RC tipo pastilha de porcelana produzido.
FLUXOGRAMAS	Ibáñez-Forés <i>et al.</i> Figura 17 - Ciclo de vida do RC: entradas, saídas, unidades funcionais e fluxos de insumos nos processos.	2011 Figura 39 - Fluxograma do processo de fabricação do RC com as respectivas adições e perdas de massa nas etapas do processo; Figura 43 - Fluxo das etapas do processo produtivo do RC tipo pastilha de porcelana. Figura 47 - Modelo de ACV do RC tipo pastilha de porcelana proposto.	Através do levantamento <i>in loco</i> dos pontos das efetivas entradas e saídas de insumos nas etapas do processo produtivo, bem como a determinação da massa final de RC/m <sup>2</sup> , faz um contrapondo com o estudo dos autores que se baseou em revisão de literatura e que não emitiu parâmetro da massa final do RC/m <sup>2</sup> . De forma mais conclusiva, propõe-se padrões médios de energia incorporada ao m <sup>2</sup> de RC, massa média/m <sup>2</sup> de RC e, a contribuição mais significativa do trabalho, o parâmetro de área de reflorestamento para a captura do CO <sub>2</sub> emitido/m <sup>2</sup> de RC produzido.
	Pini <i>et al.</i> Fluxograma do ciclo de vida do RC apontando os tipos de energia consumida e as emissões em cada etapa do processo produtivo do RC de grandes dimensões e pequena espessura.	2014 Figura 33 - Fluxograma do processo produtivo do RC com os tipos de energia consumidos nas etapas; Figura 44 - Fluxo de energias no processo produtivo do RC; Figura 46 - Fluxo de emissões de poluentes na atmosfera e reinserções no processo produtivo do RC.	O fluxograma produzido no presente estudo ao tratar especificamente do processo produtivo do RC tipo pastilha de porcelana, subdividiu as etapas tal qual ocorre na produção e permite uma visão detalhada e real da energia consumida e das emissões poluentes nestas etapas. Primeiro passo para o balanço de energia do processo produtivo do RC tipo pastilha de porcelana, bem como a emissão do parâmetro de energia incorporada ao m <sup>2</sup> do RC e da emissão de CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> de RC tipo pastilha de porcelana.
	Ciaco <i>et al.</i> Figura 32 - Diagrama simplificado da fabricação do RC e forma de energia utilizada nas etapas do processo.	2017	

#### 4.7.1 Comparação dos dados energéticos da produção do RC

Inicialmente destaca-se que no presente Estudo de Caso, o RC produzido é do tipo pastilha de porcelana; e para efeitos de comparação, os processos empregados são:

- Na indústria do polo ceramista de Santa Gertrudes, segundo Ciaco *et al.*, 2017 denominada como cerâmica comparativa, é produzido o RC convencional, por Via Úmida;
- Nesta cerâmica comparativa, o que se denominou “moagem do esmalte”, engloba todo o processo de preparação e aplicação do esmalte do presente estudo de caso. Para efeito de comparação, foi empregado o consumo energético da colagem do presente estudo de caso, com o consumo energético da embalagem no estudo comparativo. No processo produtivo da cerâmica objeto deste trabalho não existem as etapas de secagem e retificação do RC;

A Tabela 24 mostra a comparação do consumo de energia elétrica nas duas cerâmicas, em que se observa que a cerâmica a comparativa consome mais energia elétrica na maioria das etapas da fabricação do RC, exceto na queima/sinterização e na colagem; a Tabela 25 mostra o consumo de energia térmica nas duas cerâmicas, em que se observa inversão no posicionamento do consumo de energia: o processo de queima da cerâmica deste estudo de caso é responsável por 70,84% do consumo de energia térmica (GN) e, também apresenta consumo 73% superior ao processo de queima da cerâmica comparativa. Além disso, mesmo que se adicione a queima no processo de secagem, esta diferença permanece acima de 38%. No processo da atomização, o consumo de energia térmica se inverte, uma vez que a cerâmica comparativa consome aproximadamente 58% de energia a mais do que a cerâmica objeto do presente trabalho.

Tabela 24: Comparação do consumo de energia elétrica na indústria cerâmica do presente trabalho e na indústria cerâmica comparativa

PROCESSO	ENERGIA ELÉTRICA Consumo em KWh			
	CERÂMICA DO ESTUDO DE CASO		CERÂMICA COMPARATIVA	
	por m <sup>2</sup> de RC	Participação	por m <sup>2</sup> de RC	Participação
Moagem / Separação Magnética	0,35	15,74%	1,60	27,80%
Atomização / Filtragem	0,16	7,25%	0,71	12,27%
<b>Prensagem</b>	0,59	26,39%	0,66	11,45%
Moagem do Esmalte	0,05	2,08%	1,16	20,20%
Mistura do Esmalte	0,07	3,11%		0,00%
Aplicação do Esmalte	0,01	0,55%		0,00%
Queima ou Sinterização	0,73	32,76%	0,63	10,95%
Colagem	0,27	12,13%	0,13	2,22%
<b>Total</b>	<b>2,22</b>	<b>100,00%</b>	<b>4,88</b>	<b>84,89%</b>
<b>Processos inexistentes no presente estudo</b>				
Secagem			0,29	5,00%
Retificação			0,12	2,11%
Compressor			0,30	5,21%
Transporte			0,16	2,78%
<b>Subtotal 2</b>			<b>0,87</b>	<b>15,11%</b>
<b>Total</b>			<b>5,75</b>	<b>100,00%</b>

Tabela 25: Comparação do consumo de energia térmica indústria cerâmica do presente trabalho e na indústria cerâmica comparativa

PROCESSO	ENERGIA TÉRMICA Consumo em KWh			
	CERÂMICA DO ESTUDO DE CASO		CERÂMICA COMPARATIVA	
	por m <sup>2</sup> de RC	Participação	por m <sup>2</sup> de RC	Participação
Obtenção de Matéria Prima: Massa Cerâmica	0,49	1,53%		0,00%
Transporte de Matéria Prima da jazida à Indústria	1,00	3,12%		
Dosagem	0,63	1,98%		
Atomização / Filtragem	4,55	14,21%	7,17	30,43%
Obtenção de Matéria Prima: Esmalte	0,01	0,04%		0,00%
Queima ou Sinterização	22,68	70,84%	13,11	55,66%
Colagem	2,46	7,67%		0,00%
Expedição	0,19	0,60%		
<b>Total</b>	<b>32,02</b>	<b>100,00%</b>	<b>20,28</b>	<b>86,09%</b>
<b>Processos inexistentes no presente estudo</b>				
Secagem			3,28	13,91%
<b>Subtotal 2</b>			<b>3,28</b>	<b>13,91%</b>
<b>Total</b>			<b>23,56</b>	<b>100,00%</b>

No computo geral, a cerâmica que é objeto do presente estudo de caso consome aproximadamente 36% de energia térmica a mais do que a cerâmica



comparativa; sendo que se trata de energia obtida a partir de fonte não renovável, o GN.

Considerando o consumo de energia elétrica e o consumo de energia térmica no processo produtivo das duas cerâmicas (do presente *Estudo de Caso* e da cerâmica comparativa), a Tabela 26 mostra energia incorporada ao RC dos dois processos.

Tabela 26: Comparação do consumo total de energia nos processos de RC

TIPO DE ENERGIA CONSUMIDA	Consumo em KWh			
	CERÂMICA DO ESTUDO DE CASO		CERÂMICA COMPARATIVA	
	por m <sup>2</sup> de RC	Participação	por m <sup>2</sup> de RC	Participação
Energia Elétrica	2,22	6,84%	5,75	19,62%
Energia Térmica	32,02	93,16%	23,56	80,38%
<b>Total</b>	<b>34,24</b>	<b>100,00%</b>	<b>29,31</b>	<b>100,00%</b>

A Figura 42 mostra, para efeito de comparação, o consumo total de energia nos processos produtivos de RC das duas indústrias cerâmicas.

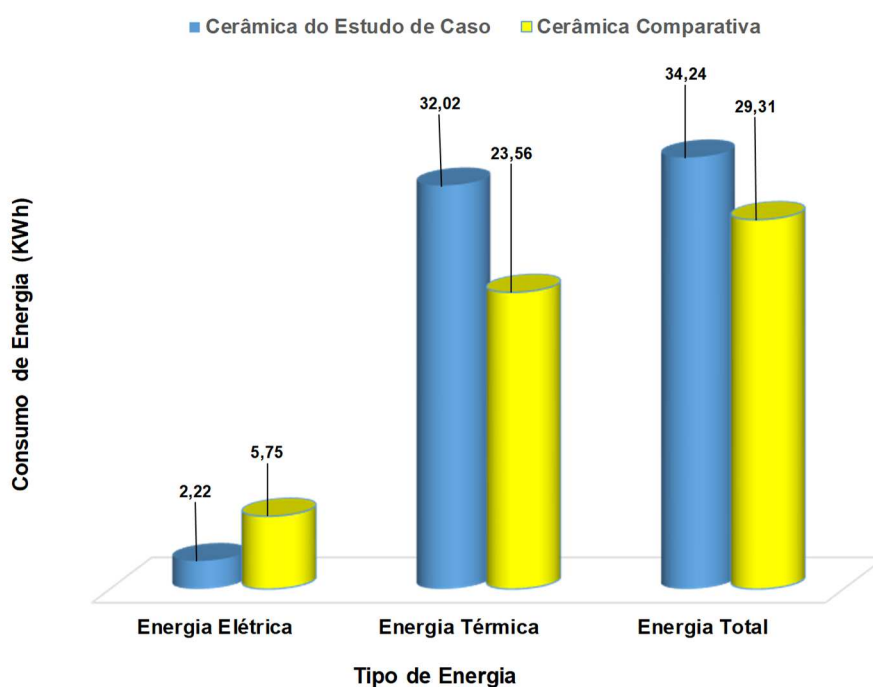


Figura 42: Consumo de energia por m<sup>2</sup> de RC no processo produtivo do RC na cerâmica do *Estudo de Caso* e na cerâmica comparativa

Por outro lado, considerando dados publicados em literatura científica, como: a) Nicoletti *et al.* (2002) que apresentaram consumo 161,67 MJ para a produção de 1,0 m<sup>2</sup> de RC (que equivale a 44,99 KWh.m<sup>-2</sup> de RC) e, b) Bribián *et al.* (2009) que apresentaram consumo 128,47 MJ para a produção de 1,0 m<sup>2</sup> de RC (que equivale à 35,75 KWh por m<sup>2</sup> de RC; constata-se que tanto a cerâmica objeto deste estudo de caso, como a cerâmica de Santa Gertrudes (comparativa) possuem um processo produtivo que consome menos energia que as referências teóricas pesquisadas. Os parâmetros utilizados na comparação do consumo energético na produção do RC se encontram resumidos na Tabela 27.

Tabela 27: Compilação dos dados de comparação de consumo de energia no processo de produção do RC

Parâmetro de Comparação	Ano	Energia Consumida
Estudo de Nicoletti <i>et al.</i>	2002	44,99 KWh.m <sup>-2</sup> de RC
Estudo de Bribián <i>et al.</i>	2009	35,75 KWh.m <sup>-2</sup> de RC
Estudo de Ciaco <i>et al.</i>	2017	29,31 KWh.m <sup>-2</sup> de RC
Presente Estudo de Caso	2019	34,24 KWh.m <sup>-2</sup> de RC

#### 4.7.2 Comparação dos dados de massa do RC

A pesquisa feita em literatura científica não apresentou resultados com dados que permitissem fazer a comparação e aferição dos dados de massa levantados no presente estudo de caso, com relação às diversas etapas do processo produtivo, mas somente a comparação da massa que o RC possui ao final sua produção.

Por exemplo, Nicoletti *et al.* (2002) apresentaram dados correspondentes a massa de 20,17 Kg.m<sup>-2</sup> de RC; enquanto que Ibáñez-Forés *et al.* (2011) apresentaram 17,23 Kg.m<sup>-2</sup> de RC. Estes parâmetros, comparados ao encontrado para a massa final do RC tipo pastilha de porcelana (11,57 Kg.m<sup>-2</sup> de RC), indicam para variações dos processos produtivos ao longo do tempo, assim como evoluções tecnológicas, que implicam em um menor consumo de MP para a produção do RC. A Tabela 28 mostra os dados comparativos da massa final do RC.

Tabela 28: Comparação de massa unitária do RC ao final do processo produtivo

Parâmetro de Comparação	Ano	Massa final do RC
Estudo de Nicoletti <i>et al.</i>	2002	20,17 Kg.m <sup>-2</sup> de RC
Estudo de Ibáñez-Forés <i>et al.</i>	2011	17,23 Kg.m <sup>-2</sup> de RC
Presente Estudo de Caso	2019	11,57 Kg.m <sup>-2</sup> de RC

#### 4.7.3 Comparação dos dados de emissão de CO<sub>2</sub> da produção do RC

A Tabela 29 mostra a comparação entre os dados de emissão de CO<sub>2</sub>, que foi feita a partir dos dados obtidos diretamente em chão de fábrica da indústria cerâmica deste estudo de caso, e os dados do estudo promovido por Peng *et al.* (2012). A tabela comparativa mostra que todos os processos de fabricação da cerâmica objeto do presente estudo de caso emitem menos CO<sub>2</sub> do que os processos de fabricação da cerâmica comparativa. Os dados mostram que as emissões totais na produção do RC do presente estudo de caso é cerca de 55% inferior às emissões totais na produção da cerâmica comparativa.

Tabela 29: Emissão de CO<sub>2</sub> nas etapas do processo de produção de RC

PROCESSO	EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> (Kg)			
	Cerâmica Objeto do Estudo de Caso		Cerâmica Comparativa	
	por m <sup>2</sup> de RC	Participação	por m <sup>2</sup> de RC	Participação
Obtenção de Matéria Prima para Massa Cerâmica	0,01	0,19%		
Transporte de Matéria Prima da jazida à indústria	0,52	7,10%		
Dosagem (diesel)	0,08	1,12%		
Moagem / Separação Magnética	0,03	0,44%	0,81	4,95%
Atomização / Filtragem	1,01	13,81%	4,18	25,49%
Prensagem	0,05	0,74%	0,64	3,92%
Esmaltação	0,01	0,17%	0,24	1,44%
Queima ou Sinterização	5,05	68,76%	9,38	57,12%
Polimento			1,16	7,08%
Colagem	0,52	7,07%		
Expedição	0,04	0,60%		
<b>Total</b>	<b>7,35</b>	<b>100,00%</b>	<b>16,42</b>	<b>100,00%</b>

É importante apontar as diferenças nos processos produtivos das indústrias cerâmicas que foram comparadas:

- Na cerâmica do estudo comparativo (cerâmica comparativa), as emissões são correspondentes às etapas de moagem, de atomização, de prensagem, de queima, de polimento e de esmaltação;
- A energia térmica do processo de queima na cerâmica comparativa é obtida a partir de carvão mineral, enquanto no presente estudo de caso a fonte é o GN;
- No presente estudo as emissões foram determinadas nas etapas da extração da MP do RC, do transporte da MP para a indústria, da dosagem, da moagem, da atomização, da prensagem, da produção do esmalte, da esmaltação da queima, da colagem e da expedição.

#### **4.8 Resumo geral de consumos e emissões na produção do RC tipo pastilha de porcelana**

A seguir é apresentado o resumo dos dados da produção dos RC's, obtidos *in loco* e calculados, com relação a energia, aos materiais e emissões de resíduos.

- Produção média de RC no período de análise: 133.752,12 m<sup>2</sup> de RC
- Energia Elétrica consumida: 296.722 KWh
- Energia Térmica (GN) consumida: 4.282.785 KWh
- Energia incorporada ao RC produzido: **34,24 KWh.m<sup>-2</sup> de RC produzido**
- Massa – entradas - 2.763,3 ton
- Massa – Saídas: 1.215,6 ton
- Massa final do RC pronto: 11,57 Kg.m<sup>-2</sup> de RC
- Emissões de CO<sub>2</sub>: 982.299 Kg
- Emissão de CO<sub>2</sub> unitária na produção de RC: 7,35 Kg de CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup> de RC
- Área de floresta para o Sequestro de CO<sub>2</sub>: 4,353 m<sup>2</sup> de floresta eucalipto
- CO<sub>2</sub> produzido por m<sup>2</sup> de RC: 1,69 m<sup>2</sup> de floresta de eucalipto

#### **4.9 Modelo de ACV do RC tipo pastilha de porcelana**

Tendo-se como base os conceitos de ACV, elaborados para diversos tipos produtos em literatura científica (SETAC, 1994; ISO 10.040, 1997; Sepalla *et al.*, 2002; Hauschild *et al.*, 2005; Ometto e Roma, 2009; Oliveira *et al.*, 2007;

Arvanitoyannis, 2008; Fujurozaki, 2011, Ibañez-Forés *et al.*, 2011 e Alves e Coutinho, 2019), associados aos conceitos de P+L estudados (Strobel *et al.*, 2006; Portela e Gomes, 2005; Carter e Rogers, 2008; Da Silva, 2008; Alvarenga e Queiroz, 2009; Latorre, 2014; Kuasoski *et al.*, 2015; Christofolletti e Moreno, 2011Y; Peng *et al.*, 2012; Shu *et al.*, 2012; Huang *et al.*, 2013; Yamamoto, 2019); e na pesquisa *in loco* do presente processo de produção do RC tipo pastilha de porcelana, foi elaborado um modelo para a ACV, no qual é possível visualizar as principais etapas envolvidas na produção: exploração e beneficiamento de matéria-prima, uso de energias, desenvolvimento das etapas do processo produtivo, reaproveitamento de materiais no processo, emissões de elementos para a natureza, reciclagem de resíduos sólidos, reinserção dos reciclados e reaproveitamento de calor.

A elaboração do modelo de produção do RC, que foi o ~~sende~~ objetivo principal do trabalho, atendeu os objetivos específicos do estudo de caso, que foi de elaborar o fluxograma do processo produtivo dos RC tipo pastilha de porcelana, identificando os pontos de entrada e de saída de insumos, ponto de consumo e respectivo tipo de energia consumido e pontos de emissões na natureza. Para tanto, foram levantados e tratados os dados necessários para a elaboração do balanço de massa, do balanço de energia e as emissões na natureza ocorridos no processo produtivo do RC, que são premissas básicas da ACV.

#### *4.9.1. Roteiro de coleta de dados e informações para a elaboração dos balanços de massa, de energia e emissões na natureza*

- Período e quantidade de RC produzida a ser considerada no balanço de massa, no balanço de energia e nas emissões de CO<sub>2</sub>;
- Energia térmica consumida na extração de matéria prima para a produção do RC;
- Emissões de CO<sub>2</sub> na extração da matéria prima do RC;
- Energia térmica consumida no transporte da matéria prima da mina de extração até a indústria cerâmica;
- Emissões de CO<sub>2</sub> no transporte da matéria prima da mina de extração até a indústria cerâmica;
- Quantidade de matéria prima adicionada na dosagem da massa cerâmica;

- Energia térmica consumida na dosagem e separação magnética da massa cerâmica;
- Emissões de CO<sub>2</sub> na dosagem da massa cerâmica;
- Quantidade de água adicionada na moagem da massa cerâmica;
- Energia elétrica consumida na moagem da massa cerâmica;
- Quantidade de emissões para a atmosfera ocorrida na atomização/filtragem, em especial do CO<sub>2</sub>;
- Energia térmica consumida na atomização da massa cerâmica;
- Energia elétrica consumida na atomização e filtragem da massa cerâmica;
- Quantidade de emissões para a atmosfera ocorrida na prensagem;
- Energia elétrica consumida na prensagem da massa cerâmica atomizada;
- Emissões de CO<sub>2</sub> na prensagem da massa cerâmica;
- Energia térmica consumida na extração e transporte da matéria prima do esmalte;
- Quantidade de matéria prima e de água adicionada no preparo do esmalte e, posteriormente, adicionados à massa cerâmica prensada;
- Energia elétrica consumida na moagem e mistura dos insumos do esmalte;
- Emissões de CO<sub>2</sub> na extração e transporte da matéria prima, bem como no preparo do esmalte;
- Quantidade de esmalte perdido no processo de esmaltação;
- Energia elétrica consumida na aplicação do esmalte na massa cerâmica prensada;
- Emissões de CO<sub>2</sub> na esmaltação do RC;
- Quantidade de emissões para a atmosfera ocorrida na queima ou sinterização do RC, em especial do CO<sub>2</sub>;
- Energia térmica consumida na queima ou sinterização do RC;
- Energia elétrica consumida no transporte do RC durante a queima;
- Quantidade de RC (massa) perdido por defeitos apontados na classificação;
- Quantidade de cola adicionada na colagem do RC em placas;
- Energia térmica consumida na colagem do RC em placas;
- Energia elétrica consumida na colagem do RC em placas;
- Emissões de CO<sub>2</sub> na colagem do RC em placas;
- Energia térmica consumida na expedição do RC;
- Emissões de CO<sub>2</sub> na expedição do RC.

O Estudo de Caso na indústria cerâmica permitiu a determinação dos dados elencados no roteiro de coleta de dados supra citado conforme procedimentos descritos no capítulo 4, sendo essenciais à elaboração dos balanços de energia (Figura 38) e de massa (Figura 39), bem como emissões de CO<sub>2</sub> (Figura 41), por sua vez, etapas predecessoras e inevitáveis à elaboração do modelo de ACV do RC tipo pastilha de porcelana. A Figura 43 mostra de forma simplificada o diagrama de blocos do modelo proposto, com destaque para:

- Reaproveitamento no processo: as perdas de massa cerâmica ocorridas na moagem e na prensagem retornam ao início da moagem e são reaproveitadas; perdas de esmalte no processo de esmaltação são capturadas e retornam à moagem de insumos do esmalte e são reaproveitadas; a água perdida e capturada em todo o processo de produção do RC é tratada e retorna ao processo de moagem (seja em forma de água ou em forma de torta).
- Reaproveitamento de calor: o calor utilizado nos fornos de queima é conduzido ao atomizador e reaproveitado na atomização;
- Reciclagem: o resíduo sólido proveniente de peças defeituosas apontadas pelo controle de qualidade e classificação, as perdas na instalação e descarte no fim da vida do produto, são encaminhados para o processo de reciclagem e reinserido como MP na dosagem.

O modelo se mostra válido pois que representa a produção do RC tipo pastilha de porcelana, podendo ser reproduzido para outro processo para o qual se deseja realizar a ACV, desde que os dados sejam obtidos conforme orienta o roteiro descrito no item 4.9.1, estabelecendo-se a massa final do RC, o consumo energético e as emissões no processo produtivo (total e unitária), bem como o cálculo da área de floresta necessária ao sequestro de CO<sub>2</sub> emitido no processo desejado, sendo necessária a análise do processo produtivo quanto à divergências com o processo produtivo do presente estudo de caso para eventuais adaptações.

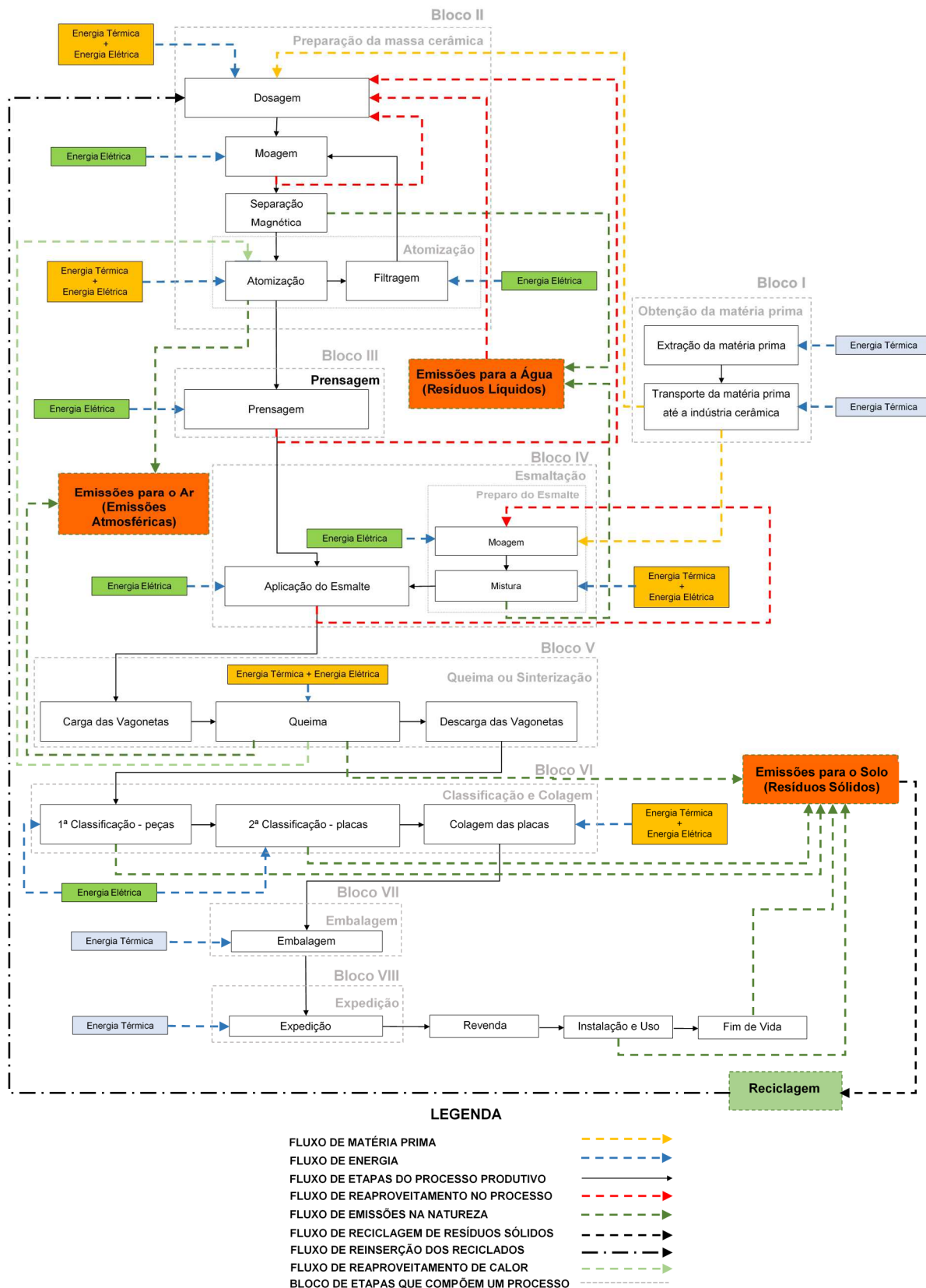


Figura 43: Modelo de ACV do RC tipo pastilha de porcelana



## 5 CONCLUSÃO

O trabalho realizado apresentou contribuições técnicas que permitiram visualizar que as ferramentas da P+L introduzem nos processos produtivos melhorias de eficiência energética, de redução no consumo de MP's e redução de emissões na natureza. Também permitiu estabelecer parâmetros para o RC tipo pastilha de porcelana de energia incorporada, de massa final, de emissões de CO<sub>2</sub> na sua produção e respectiva captura por meio de reflorestamento; permitiu a elaboração de fluxogramas detalhados dos processos produtivos com os respectivos consumos energéticos, consumos e perdas de insumos e emissões na natureza em cada uma das etapas.

As etapas do processo atomização e queima foram as responsáveis por mais de 82% da energia consumida na produção, dos quais 93% são providas de fontes não renováveis e, também, responsáveis por cerca de 83% das emissões de poluentes na natureza por emissão de gases na atmosfera. Desta forma são etapas que causam grande preocupação ambiental e devem ser prioritárias quando se planejar melhorias nos processos produtivos.

Os pontos passíveis de melhorias que venham a alavancar a sustentabilidade do processo produtivo estudado, podem ser a implementação da cogeração de energia com o calor provindo da atomização, um melhor controle da entrada de ar no forno, ou ainda, a substituição dos equipamentos atuais por equipamentos que propiciam melhor desempenho em termos de eficiência energética, mesmo que o processo estudado já contemple o reaproveitamento de calor utilizado no processo de queima no processo de atomização. Estas melhorias devem passar por um estudo aprofundado uma vez que se tratam procedimentos apontados como viáveis nas referências estudadas, porém não foram objeto de maiores detalhes e especificações.

A partir dos fluxogramas do balanço de energia e do balanço de massa foi proposto um modelo de ACV do RC tipo pastilha de porcelana contendo os diversos fluxos inerentes à produção do RC.

A energia incorporada ao processo objeto do presente estudo de caso foi inferior aos dados da literatura científica, de modo que o consumo ficou de

10,25% a 31,40% abaixo do consumo apontado na literatura e, por outro lado, 16,82% acima do valor encontrado no estudo preliminar.

A massa final do RC tipo pastilha de porcelana ficou entre 33% e 43% abaixo da massa unitária dos componentes semelhantes encontrados em literatura científica; de modo que os levantamentos mostraram que a partir 1.663 t de argila, 1.036,4 m<sup>3</sup> de água, 42,1 t de insumos dos esmaltes e 22,8 t de adesivo de PVC, foram produzidos 133.752,12 m<sup>2</sup> de RC. Além disso, o balanço de massa mostrou que a partir da massa inserida no processo, 1.158,7 t foram lançadas na atmosfera; 3,7 t foram lançadas como resíduos líquidos e 58,2 t como resíduos sólidos. Assim, a partir de uma massa total de 2.763,3 t inserida no processo, 1.215,6 t foram descartados, resultando a massa de 11,57 Kg por m<sup>2</sup> de RC produzido. Com relação ao destino dado aos resíduos líquidos, 100% da água captada no decorrer do processo produtivo foi reaproveitada no sistema; parte sob a forma de “torta” na composição da massa cerâmica de uma das linhas de produção do RC e parte na produção da massa cerâmica sob a forma de água limpa.

Como parâmetro de energia incorporado ao m<sup>2</sup> de RC foram obtidos o valor médio de 34,24 KWh de energia total (2,23 KWh de energia elétrica + 32,01 KWh de energia térmica). Como parâmetro de CO<sub>2</sub> emitidos na produção unitária de RC foram emitidos em média de 7,35 Kg de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de RC e como parâmetro médio da massa do RC o valor de 11,57 Kg por m<sup>2</sup> de RC. Assim, com relação à emissão de CO<sub>2</sub>, os resultados mostram que são necessários 1,69 m<sup>2</sup> de floresta de eucalipto para capturar o CO<sub>2</sub> emitido por cada m<sup>2</sup> de RC produzido.

A generalização dos parâmetros obtidos e aplicação direta do modelo proposto, deve acontecer em indústrias de RC tipo pastilha de porcelana e que cujo processo produtivo seja compatível com o presente estudo. A utilização do modelo de ACV e dos parâmetros aqui estabelecidos na produção de outro tipo de RC ou produção que utilize etapas divergentes às estabelecidas no presente estudo de ser precedida de análise e, se necessário, adaptações.

## **5.1 Proposta para trabalhos futuros**

Uma proposta para futuros trabalhos consiste em estudar o processo de produção do RC obtido pelo reaproveitamento do resíduo sólido do RC (processo em desenvolvimento na indústria cerâmica estudada). Como relatado informalmente e sem comprovação de dados, trata-se de um processo de fabricação que utiliza 65% de insumos da massa cerâmica provindos da reciclagem do RC. Se esta informação se confirmar, pode vir a ser uma excelente solução para obtenção de matéria prima não renovável e, ainda, para a redução no descarte de resíduos da construção civil.

Outra vertente para estudos futuros seria estabelecer o parâmetro de área de floresta necessária que garanta o sequestro do CO<sub>2</sub> emitido na produção de outros produtos da construção civil visando equilibrar a balança ambiental do segmento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - a; Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13817: 1997 - Placas Cerâmicas para revestimentos - Classificação. Rio de Janeiro, 1997.
- ABNT - b; Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13818: 1997 - Placas Cerâmicas para revestimentos - Especificação e Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 1997.
- ALVARENGA, R.P.; QUEIROZ, T.R. Produção mais Limpa e Aspectos Ambientais na indústria sucroalcooleira. International Workshop Advances in Cleaner Production. São Paulo, 2009.
- ALVES, A. R.; COUTINHO, A.R. Life cycle assessment of niobium: A mining and production case study in Brazil. *Minerals Engineering* (132) 275-283, 2019.
- ANDRADE, M. C.; MATOS, T.F.; LUZ, A.B. Aproveitamento de feldspato contido em pegmatitos. ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA - ENTMMME; 2, 111-118. Florianópolis, 2004.
- ANFACER (2018) - Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres. Disponível em <http://www.anfacer.org.br/site/default.aspx?idConteudo=157&n=Hist%C3%B3ria-da-Cer%C3%A2mica>, acesso em 11/06/2018.
- ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Análise Comparativa do Ciclo de Vida das Telhas Cerâmicas versus Telhas de Concreto. Montreal, 2011. Disponível em <http://anicer.com.br/acv/ACV%20Telhas%20Cer%C3%A2micas.pdf>, acesso em 07/06/2015.
- ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Análise comparativa do ciclo de vida de paredes construídas com blocos cerâmicos, blocos de concreto e concreto armado moldado in loco. Montreal, 2012. Disponível em <http://anicer.com.br/acv/ACV%20Blocos%20Cer%C3%A2micos.pdf>, acesso em 07/06/2015.

ARVANITOYANNIS, I. S. ISO 14040: Life Cycle Assessment (LCA) - Principles and Guidelines. *Waste Management for the Food Industries*, 97-132. 2008.

ATITUDES SUSTENTAVEIS. Disponível em <http://www.atitudessustentaveis.com.br/sustentabilidade/todo-mundo-ganha-sustentabilidade-empresarial/>, acesso em 23/05/2016.

BLEICHER, F.; DU,ER F.; LEOBNER, I.; KOVACIC, I.; HEINZL, B.; KASTNER, W. Co-simulation environment for optimizing energy efficiency in production systems. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 63, 441-444, 2014.

BONAN, G.B.; Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320 - 5882, 1444-1449, 2008.

BRIBIÁN, I. Z.; USÓN, A. A.; SCARPELLINI, S. Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment*, 44, 2510-2520, 2009.

BUSTAMANTE, G. M.; BRESSIANI, J. C. A indústria cerâmica brasileira. *Revista Cerâmica Industrial*, 5, 31-36, 2000.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. Política Nacional dos Resíduos Sólidos – Lei 12.305/2010. Brasília, Centro de Documentação e Informação (CEDI), 2010. Disponível em <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2010/lei-12305-2-agosto-2010-607598-publicacaooriginal-154180-pl.html>, acesso em 10/02/2019.

CARTER, C. R.; ROGERS, D. S. A Framework of Sustainable Supply Chain Management: Moving Toward New Theory. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 38, 360-387, 2008.

CHEHEBE J.R.B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos - Ferramenta Gerencial da ISO 14000**. Qualimark. Rio de Janeiro, 2002.

CHEHEBE J.R.B. O Ciclo de Vida dos Produtos. *Revista CNI*. 305, 22-28, 1998.

- CHOY, Y. K. From stockholm to Rio+20: The ASEAN environmental paradox, environmental sustainability, and environmental ethics. *International Journal of Environmental Sustainability* 12 (1), 1-25, 2015.
- CHRISTOFOLETTI, S. R.; MORENO, M.M.T. Sustentabilidade da Mineração no Pólo Cerâmico de Santa Gertrudes, São Paulo - Brasil. *Revista Cerâmica Industrial*, 16 (3), 2011.
- CIACO, E. F. S.; COUTINHO, A. R. LIFE CYCLE ASSESSMENT OF CERAMIC MATERIALS. 22<sup>o</sup> International Conference on Production Research. Foz do Iguaçu/PR, 2013.
- CIACO, E. F. S.; ROCHA, J. R.; COUTINHO, A. R. The energy consumption in the ceramic tile industry in Brazil. *Applied Thermal Engineering*, 113, 1283–1289, 2017.
- COELHO, J. M. Desenvolvimento de Estudos para Elaboração do Plano Duodecenal (2010 - 2030) de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Ministério de Minas e Energia - MME, Banco Mundial, J. Mendo Consultoria. 2009.
- CONDEIXA, K.; HADDAD, A.; BOER, D. Life Cycle Impact Assessment of masonry system as inner walls: A case study in Brazil. *Construction & building materials*, 70, 141-147, 2014.
- CONSERVA, L. R. S., MELCHIADES, F.G.; NASTRI, S.; BOSCHI, A. O.; DONDI, M. GUARANI, G.; RAIMONDO, M.; ZANELLI, C. Pyroplastic deformation of porcelain stoneware tiles: Wet vs. dry processing. *Journal of the European Ceramic Society*. Volume 37, 2017, 333-342.
- CTVC - Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro. EFINERGE - Plano sectorial de melhoria da eficiência energética em PME - Sector da cerâmica e do vidro. Portugal, Novembro de 2012.
- DA SILVA, M. C. Construção Verde: a nova perspectiva de valor para desenvolvimento sustentável. IV SINGEP – Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade, São Paulo, 2015.

- DA SILVA, R.B.; WOLQUIND, D.S.; DA SILVA, F. S.; PORTO, A.G.; DA SILVA, F.T. Aplicação da produção mais limpa no processo de clarificação do caldo de cana para produção de açúcar. 28º ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, 2008.
- DE SOUZA, D. M.; LAFONTAINE, M.; CHARRON-DOUCET, F.; BENGUA, X.; CHAPPERT, B.; DUARTE, F.; LIMA, L. Comparative Life Cycle Assessment of ceramic versus concrete roof tiles in the Brazilian context. *Journal of Cleaner Production*, 89, 165 - 173, 2015.
- DEL QUIQUI, E. M.; DELELI, M. W.; MACIEL, J. P. R.; HORA, R. C.; POSSENTI, J. C. Desenvolvimento de Oito Espécies de Eucalyptus na Região Noroeste do Paraná aos 7 anos de idade. *Journal of Agronomic Sciences*. Umuarama, 4, 2, 60-70, 2015.
- DONDI, M.; RAIMONDO, M.; ZANELLI, C. Clays and bodies for ceramic tiles: Reappraisal and technological classification. *Applied Clay Science* 96, 91–109, 2014.
- DUNK, A. S. Product life cycle analysis: the impact of customer profiling, competitive advantage, and quality of IS information. *Management Accounting Research*, 15, 401-414, 2004.
- EIA (2009) - US Energy Information Administration. International Energy Outlook 2009: World Energy and Economic Outlook. Disponível em <http://www.eia.doe.gov/>, acesso em 25/03/2016.
- EPE (2017) - Empresa de Pesquisa Energética, Balanço Energético Nacional, (2017 - ano base 2016), Disponível em [https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2017.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf), acesso em 11/06/2018.
- FUKUROZAKI, S. H.; BRAULIO NETO, A.; OLIVEIRA, L.B.C.; PASCHOAL, J.O.A. Life Cycle Impact Assessment of a HT-PEM Fuel Cell Powered by Natural Gas Reforming. *British Journal of Applied Science & Technology*, 17(6): 1-14, 2016.

- GATTO, A.; DE BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; DA SILVA, I. R.; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; VILLANI, E. M. A. Estoques de carbono no solo e na biomassa. *R. Bras. Ci. Solo*, 34, 1069-1079, 2010.
- GRIGOLETTI, G. C.; SATTLER, M. A. Aplicação da ferramenta BEES 3.0 na avaliação de impactos ambientais na produção de aço no RS. Encontro Nacional sobre edificações e comunidades sustentáveis, 3. São Carlos, 2003. Disponível em <http://www.infohab.org.br>, acesso em 09/03/2006.
- GUINÉE J.B.; HEIJUNGS R.; HUPPES G.; ZAMAGNI A.; MASONI P.; BUONAMICI R. Life cycle assessment: past, present, and future. *Environmental Science and Technology*, 45(1), 90-6, 2011.
- HAN, B. ; WANG, R.; YAO,L.; LIU, H.; WANG, Z. Life cycle assessment of ceramic façade material and its comparative analysis with three other common façade materials. *Journal of Cleaner Production*, 99, 86 - 93, 2015.
- HANSEN, A. P.; SEO, E. S. M.; KULAY, L. A. Identificação de Oportunidades de Melhoria de Desempenho Ambiental em Processo de Produção de Materiais Cerâmicos via Aplicação da Técnica de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). *Revista Produção Online*, 10, 4, 912-936, 2010.
- HASANUZZAMAN, M.; RAHIM, N.A.; SAIDUR, R.; MAHBUBUL, I.M.; RASHID, M.M. Energy savings in the combustion based process heating in industrial sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 4527-4536, 2012.
- HAUSCHILD, M.; JESWIET, J.; ALTING, L. From Life Cycle Assessment to Sustainable Production: Status and Perspectives. *Annals of CIRP*, 54, 70-87, 2005.
- HENRIQUES, J.M.F.; DANTAS, F.; SCHAEFFER, R. Potential of CO2 emissions and low-carbon scenario for the brazilian industrial sector. *Energy Policy*, 38, 1946-1961, 2010.



- HUANG, Y.; LUO, J.; XIA, B. Application of cleaner production as an important sustainable strategy in the ceramic tile plant - a case study in Guangzhou, China. *Journal of Cleaner Production*, 43, 113-121, 2013.
- HUPPES, G. Allocating impacts of multiple economic processes in LCA. In: SETAC-Europe workshop. Lifecycle Assessment. SETAC. Brussels, 1991.
- IBÁÑEZ-FORÉS, V.; BOVEA, M.D.; SIMÓ, A. Life cycle assessment of ceramic tiles. Environmental and statistical analysis. *Int J Life Cycle Assess*, 16, 916-928, 2011.
- IBÁÑEZ-FORÉS, V.; BOVEA, M.D.; AZAPAGIC, A. Assessing the sustainability of best available techniques (BAT): methodology and application in the ceramic tiles industry. *Journal of Cleaner Production*, 51, 162-176, 2013.
- ISO 14040 - International organization for standardization. Environmental management - life cycle assessment - principles and framework. Geneva, 1997.
- ISO 14.041 - International organization for standardization. Life Cycle Assessment - Goal scope definition and inventory analysis, 1998.
- ISO 14.042 - International organization for standardization. Life Cycle Assessment - Life cycle impact assessment, 2000.
- ISO 14.043 - International organization for standardization. Life Cycle Assessment - Life cycle interpretation, 2000.
- ISO 14.044 - International organization for standardization. Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines, 2006.
- ISO/TR 14.047 - International organization for standardization. Life Cycle Impact Assessment - Examples of Application of ISO 14.042, 2000.
- ISO/TS 14.048 - International organization for standardization. Life Cycle Assessment - Data Documentation Format, 2001.

- ISO/TR 14.049 - International organization for standardization. Life Cycle Assessment. Examples of Application of ISO 14.041 for goal and scope definition and inventory analysis, 2000.
- JOLLIET, O.; DUBREUIL, A.; GLORIA, T.; HAUSCHILD, M. Progresses in life cycle impact assessment withing the UNEP/SETAC life cycle initiative. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 10 (6), 447-448, 2005.
- JOHNSON, M. P. Photosynthesis. *Essays in Biochemistry*, 60, 255–273, 2016.
- KARLSSON, R; LUTTROPP, C. Ecodesign: What´s Happening? An Overview of the Subject Area of Eco design and the Papers in this Special Issue. *Journal of Cleaner Production*, 14, 1291-1298, 2006.
- KUASOSKI, M.; DOLIVEIRA, S.L.D.; SILVA, A.Q. Impactos socioambientais no processo de extração e transporte da argila em industrias de cerâmica vermelha. Congresso Internacional de Administração, Ponta Grossa/PR, 2015.
- KULAY, L. A.; HANSEN, A. P.; DA SILVA, G. A. Inventario do Ciclo de Vida de Porcelanato Esmaltado obtido via Rota úmida de processamento. 2º Congresso Brasileiro em Gestão de Ciclo de Vida em Produtos e Serviços, 35-40, Florianópolis, 2010. Disponível em [www.ciclodevida.ufsc.br/congresso](http://www.ciclodevida.ufsc.br/congresso), acesso em 24/06/2015.
- LATORRE, C.R. Desenvolvimento sustentável e sustentabilidade empresarial: sua essência e aplicabilidade no setor empresarial. Conpedi, RA: 613150080, 2014.
- LIBRELOTTO, D.; JALALI, S. Aplicação de uma Ferramenta de Análise do Ciclo de Vida em Edificações Residenciais - Estudos de Caso. Guimarães - Portugal, Engenharia Civil UM, 30, 05-20, 2008.
- LIU, Z.; XIAO, Z.; MASUKO, S.; ZHAO, W.; STERNER, E.; Vinod BANSAL, V.; FAREED, J.; DORDICK, J.; ZHANG, F.; LINHARDT, R.J. Mass balance analysis of contaminated heparin product. *Analytical Biochemistry* 408, 147–156, 2011

- MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis: Os Requisitos Ambientais dos Produtos Industriais**. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 2005.
- MARTENS, E. COUTINHO, A.R. Estimativa do balanço de carbono de florestas industriais no estado do paraná. VII Congresso Brasileiro de Engenharia da Produço (CONBREPRO), 2017, Ponta Grossa.
- MATTHIAS, B.; JOHAN, B.; AMARYLLIS, A. Life cycle assessment in the construction sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 379-388, 2013.
- MCPHERSON, B. J.; SUNDQUIST, E.T. Carbon Sequestration and Its Role in the Global Carbon Cycle. *American Geophysical Union*, 2009.
- MCTIC (2017) - Ministério da Ciência, Tecnologia, Inova es e Comunica es. Sistemas de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito – Observatório do Clima (2017, SEEG V. 5.0). Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2016/12/governo-publica-novos-dados-de-emissao-de-gases-de-efeito-estufa> Acesso em: 13/04/2018.
- MELCHIADES, F. G.; DAROS, M. T.; BOSCHI, A. O. Porcelain tiles by the dry route. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.*, 49, (4), 221-226. Castellón, 2010.
- MELCHIADES, F. G. **Estudo comparativo entre as tecnologia Via úmida e Via Seca para a prepara o de massas de porcelanato**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR, São Carlos, 2011.
- MEZQUITA, A.; BOIX, J.; MONFORT, E.; MALLOL, G. Energy saving in ceramic tile kilns: cooling gas heat recovery. *Applied thermal Engineering*, 65, 102-110, 2014.
- MIELE, J. C. A.; SILVA, C.M.; DE OLIVEIRA, R.C. Análise do Ciclo de Vida do Papel - Revisão de uma importante ferramenta para controle e redu o de impactos ambientais. ABTCP-PI - 38  Congresso e Exposi o Internacional de Celulose e Papel. São Paulo, 2005.

- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Energias no Mundo 2015-2016. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/14+-+Energia+no+Mundo+-+Matrizes+e+Indicadores+2017+-+anos+ref.+2015+-+16+%28PDF%29/60755215-705a-4e76-94ee-b27def639806;jsessionid=23A29A5505323A1DD0ED0E7D02E956E2.srv155>. Acesso em: 12/06/2018.
- MONARO, D.L.G. **Avaliação do Ciclo de Vida de um Microcomputador**. Dissertação de Mestrado, Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP, Santa Bárbara D'Oeste, 2014.
- MONFORT, E.; MEZQUITA, A.; VAQUER, E.; MALLOL, G.; ALVES, H.J.; BOSCHI, A.O. Consumo de energia térmica y emisiones de dióxido de carbono na la fabricacion de baldosas cerâmicas - analisis de lãs industrias Española e Brasileña. *Boletín de La Sociedad Española de Ceramica e Vidrio*, 51, 275-284, 2012.
- MOTA, J.F.M.; CABRAL JUNIOR, M.; TANNO, L.C. Panorama das matérias primas utilizadas na indústria de revestimentos cerâmicos: desafios do setor produtivo. *Revista Cerâmica Industrial* 3, 4-6, 1998.
- NASCIMENTO, E.P. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. *Estudos avançados*, 26(74), 51-64, 2012.
- NATURE (2006). Carbon Cycle. Disponível em: <<http://www.nature.com>>.
- NASA (2018). Agência Espacial Norte Americana. Disponível em: <https://climate.nasa.gov>. Acesso em: 13/04/2018.
- NEGRI, E. L. **Balço de Carbono na Produço de Papel e Celulose - Estudo de uma empresa da região sudeste**. Dissertação de Mestrado, Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP, Santa Bárbara D'Oeste, 2008.
- NICOLETTI, G. M.; NOTARNICOLA, B.; TASSIELLI, G. Comparative Life Cycle Assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles. *Journal of Cleaner Production*, 10, 283-296, 2002.

- OLIVEIRA, E.B.; DE CASTRO, A.C.F.; RIAMUNDINI, S.L.; SGTRUMIELLO, L.D.P. Desenvolvimento sustentável e produção mais limpa: estudo de caso em uma empresa do setor moveleiro. 27º ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, 2007.
- OMETTO, A. R.; ROMA, W. N. L. Lifecycle assessment of fuel ethanol from sugarcane in Brazil. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Volume 14, Issue 3, pp 236–247, 2009.
- ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials*, 23, 258-39, 2009.
- RIBEIPAIXÃO, F . A. Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto. *Árvore*, Viçosa-MG, v.30, n.3, p.411-420, 2006
- PENG, J.; ZHAO, Y; JIAO, L.; ZHENG, W.; ZENG, L. CO2 Emission Calculation and Reduction Options in Ceramic Tile Manufacture - The Foshan Case. *Energy Procedia*, 16, 467 - 476, 2012.
- PFROMM, P.H.; AMANOR-BOADU, V.; NELSON, R. Sustainability of algae derived biodiesel: A mass balance approach. *Bioresource Technology* 102, 1185–1193, 2011.
- PINI, M.; FERRARI, A. M.; GAMBERINI, R.; NERI, P. RIMINI, B. Life cycle assessment of a large, thin ceramic tile with advantageous technological properties. *Int J Life Cycle Assess*, 19, 1567–1580, 2014.
- POPOV, S. Secondary energy recovery in ceramic kilns: energotechnological characteristics. *Glass and Ceramics*, 70, 107-110, 2013.
- PORTELA, M.O.B.; GOMES, J.M.A. Os danos ambientais resultantes da extração de argila no bairro olarias em Teresina-PI. II Jornada Internacional de Políticas Públicas. São Luís/MA, 2005.
- POTTER, C.; KLOOSTER, S.; GENOVESE, V.; Carbon emissions from deforestation in the Brazilian Amazon Region. *Biogeosciences*, 6, 2369-2381, 2009.

- RABELO , E.C.; UHLMANN, V. O.; PFITSCHER, E.D.; BORGERT, A. Análise de sustentabilidade ambiental: estudo em uma cerâmica catarinense. *Revista Gestão Industrial*, 07, (04), 246-260. Ponta Grossa/PR, 2011.
- RASHID, A.F.A.; YUSOFF, S. A review of life cycle assessment method for building industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 244-248, 2015.
- REESON, A.; RUDD, L.; ZHU, Z. Management Flexibility, price uncertainty and the Adoption of Carbon Forestry. *Land Use Policy*, 46, 267-272, 2015.
- REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; VALENTE, O. F.; FERNANDES, H. A. C. Sequestro e armazenamento de carbono em florestas nativas e plantadas dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. SEMINÁRIO EMISSÃO x SEQUESTRO DE CO<sub>2</sub>, 1. Rio de Janeiro, Companhia Vale do Rio Doce, 157-195, 1994.
- RIBEIRO, M. J. P. M.; ABRANTES, J.C.C. Moagem em moinho de bolas: Estudo de algumas variáveis e otimização energética do processo. *Revista Cerâmica Industrial*, 6, 2, 7-11, 2001.
- RIBEIRO, M.J.; VENTURA, J. M.; LABRINCHA, J. A. A atomização como processo de obtenção de pós para a indústria cerâmica. *Revista Cerâmica Industrial*, 6, 5, 2001.
- RICHERSON, D.W. Modern ceramic engineering – properties, processing, and use in design, 3<sup>a</sup> ed. New York, Taylor & Francis Group, 2006.
- SANTOS, M.F.N.; BATTISTELLE, R.A.G.; HORI, C.Y.; JULIOTI, P.S. Importância da Avaliação do Ciclo de Vida na Análise de Produtos: Possíveis Aplicações na Construção Civil. *GEPROS (Gestão da Produção, Operações e Sistemas)*, 2, 57-73, 2011.
- SCHLEGL, F.; GANTNER, J.; TRAUNSPURGER, R.; ALBRECHT, S.; LEISTNER, P. LCA of buildings in Germany: Proposal for a future benchmark based on existing databases. *Energy and Buildings*. V. 194, 2019, pp 342-350.

- SCHWOB, M.R.V.; HENRIQUES JR, M.; SZKLO, A. The technical potential for developing natural gas use in Brazilian red ceramic industry. *Applied Energy*, 86, 1524-1531, 2009.
- SEPPALA, J., KOSKELA, S., MELANEN, M., PALPERI, M. The Finnish Metals Industry and the Environment. Resources, *Conservation and Recycling*, 35. 61-76, 2002.
- SETAC (1994) - Society of Environmental Toxicology and Chemistry Life cycle assessment : a new way of thinking. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 13 - 6, 853-854, 1994.
- SHU, Z - a; GARCIA-TEM, J.; MONFORT, E.; AMAROS, J.L.; ZHOU, J.; WANG, Y.X., Y.; LUO, J.; XIA, B. Cleaner production of porcelain tile powders. Fired compact properties. *Ceramics International*, 38, 1479-1487, 2012.
- SHU, Z - b; GARCIA-TEM, J.; MONFORT, E.; AMAROS, J.L.; ZHOU, J.; WANG, Y.X., Y.; LUO, J.; XIA, B. Cleaner production of porcelain tile powders. Granule and green compact characterization. *Ceramics International*, 38, 517-526, 2012.
- SIROLA, J.J.; EDGAR, T.F. Process energy systems: Control, economic, and sustainability objectives. *Computers and Chemical Engineering*, 47, 134- 144, 2012.
- SILVA, R. F. Projeção de carbono em povoamentos de eucalipto e a geração de créditos de carbono. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.29, n.242, 2008.
- SILVEIRA, M. C. Histórico dos Revestimentos Cerâmicos. Disponível em <http://www.iau.usp.br/pesquisa/grupos/arqtema/ceramica/principal7.htm> acesso em 08/06/2016.
- SNIF (2016) - Sistema Nacional de Informações Florestais - SNIF. Serviço Florestal Brasileiro, Boletins, 2ª edição. Disponível em: [http://snif.florestal.gov.br/images/pdf/publicacoes/boletim\\_snif\\_compilado\\_2016\\_ed2.pdf](http://snif.florestal.gov.br/images/pdf/publicacoes/boletim_snif_compilado_2016_ed2.pdf). Acesso em 17/07/2018.

STROBEL, J. S.; CORAL, E.; SELIG, P.M. Corporate sustainability Indicators at Textile. *Third International Conference on Production Research – Americas' Region*, 2006.

#### INDUSTRY: A NEW PROPOSAL

SWALLOW, P.G. Our Architectural Ceramic Heritage. *Structural Survey*, Vol. 12 (2), 20-23, 1994.

TEZOTTO, D. R. **Balanco dos gases de efeito estufa na cadeia produtiva do chocolate com abordagem de Ciclo de Vida**. Dissertação de Mestrado, Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP, Santa Bárbara D'Oeste, 2018.

SABEDOT, S.; VOLKMANN, A. R.; SAMPAIO, C. H. Caracterização e processamento da rocha aegirina-nefelina-microsienito para aplicação na indústria cerâmica. *Tecnologia em Metalurgia e Materiais*, São Paulo V.2, p.26-31, 2006.

WILLERS, C. D.; RODRIGUES, L. B. Um panorama sobre Avaliação de Ciclo de Vida com base nos Anais do Simpósio de Engenharia de Produção. *Revista Gestão Industrial*, 08, (01), 199-218, 2012.

YAMAMOTO, P.T.; COUTINHO, A.R. Technological parks in the state of Paraná, Brazil: evaluation based on economic and environmental sustainability. *Int. J. Innovation and Sustainable Development*, 13, 2, 117-134, 2019.



## **APÊNCIDE A – ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA**

### **ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DAS PUBLICAÇÕES PERTINENTES AO TEMA LCA DO REVESTIMENTO CERÂMICO**

Foi promovida uma análise bibliométrica na base Scopus por busca de artigos que contemplem as palavras chaves envolvidas no tema do trabalho de forma individual e também de forma agrupada duas a duas e três a três. Baseado nesta análise bibliométrica foi feita uma seleção sistemática dos autores que mais publicaram sobre o assunto e os que mais foram citados dentro deste assunto. A determinação dos autores que mais publicaram foi obtida diretamente na pesquisa realizada na base Scopus e a determinação dos autores mais citados foi promovida com auxílio do software VOSviewer. Após a seleção dos autores conforme descrito, promoveu-se uma conciliação dos autores que mais publicaram com aqueles mais citados, desta conciliação resultou a listagem dos autores ao qual dedicou-se maior atenção. Lembrando-se que este procedimento foi repetido a cada palavra chave do trabalho, individualmente e combinadas duas a duas e três a três.

Após esta seleção sistemática de autores, passou-se ao levantamento manual e leitura dos trabalhos destes autores que têm conexão e relação com o presente trabalho, trazendo para as referências bibliográficas apenas trabalhos que trouxeram contribuição à pesquisa.

#### **1ª Análise**

Resultou da pesquisa nos últimos 10 anos das palavras “ceramic tiles” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais, orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 30 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 24.605 autores listados, 67 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 20 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras “ceramic tiles” na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:

## ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR "CERAMIC TILES" - análise 1

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	Monfort, E. (2)	17	Dondi, M.	187	1
2	Boschi, A.O.	14	Monfort, E.	139	2
3	Dondi, M. (1)	12	Sanchez, E.	117	3
4	Hotza, D.	10	Raimondo, M.	106	4
4	Melchiades, F.G.	10	Guarini, G.	102	5
4	Moreno, M.M.T.	10	Romero, M.	98	6
4	Rambaldi, E.	10	Garcia-Ten, J.	97	7
5	Bondioli, F. (20)	9	Amoros, J.L.	96	8
5	Defez, B.	9	Tucci, A.	91	9
5	Mallol, G.	9	Esposito, L.	88	10
6	Bernardin, A.M.	8	Manfredini, T.	85	11
6	Guarini, G. (5)	8	Querol, X.	76	12
6	Mezquita, A.	8	de Brito, J.	71	13
7	Alves, H.J.	7	Rincon, J.M.	70	14
Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
7	Esposito, L. (10)	7	Barbieri, L.	64	15
7	Peris-Fajarnés, G.	7	Alastuey, A.	61	16
7	Raimondo, M. (4)	7	Celades, I.	61	17
7	Romero, M. (6)	7	Zanelli, C.	61	18
7	Sousa, F.J.P.	7	Labrincha, J.A.	60	19
7	Zanardo, A.	7	Bondioli, F.	59	20

Percebe-se que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre “ceramic tiles”, apenas 7 deles figuram entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos, assim, melhor atenção deve ser dada a estes 7 autores: Bondioli, F.; Dondi, M.; Esposito, L.; Guarini, G.; M.; Monfort, E.; Raimondo, M. e Romero, M. Mesmo que a posição ocupada por estes autores em termos de número de publicações seja diferente da posição ocupada em termos de número de citações.

## 2ª Análise

Resultou da pesquisa nos últimos 10 anos das palavras “energy” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema. Devido ao grande número de publicações contemplando o tema “Energy”, tornou-se inviável a análise destas publicações no software VOSviewer, de tal forma que permitisse determinar-se os autores mais citados em publicações em torno deste tema.

Os 20 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras “energy” na base Scopus são:

## ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR "Energy" - análise 2

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados
1	Dincer, I.	421
2	Wang, L.	238
3	Rosen, M.A.	211
4	Wang, B.	199
5	Wang, Z.L.	190
6	Wang, Q.	181
7	Wang, T.	181
8	Li, Y.	171
9	Reshak, A.H.	170
10	Patel, S.	169
10	Peeters, F.M.	169
11	Wang, B.	154
12	Yang, L.	152
13	Cen, K.	150
14	Khenata, R.	149
14	Yang, Y.	149
15	Logan, B.E.	148
16	Li, F.	141
16	Salavati-Niasari, M.	141
17	Cabeza, L.F.	140

Existem dados em número tão elevado que não permitiu uma análise de citações no VOS viewer

Pelo mesmo motivo que se tornou inviável a análise de autores citados em publicações sobre o tema “energy”, se torna inviável aprofundar o estudo das publicações sobre o tema sem que este esteja coligado a outro tema de interesse do trabalho.

### 3ª Análise

Resultou da pesquisa nos últimos 10 anos das palavras “LCA” ou “life cycle assessment” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema e promoveu-se através do software VOSviewer a busca pelos autores mais citados também no tema, o mapa foi orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 500 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 204.980 autores listados, 75 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 20 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras “LCA” na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:

**ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR "LCA" ou "Life Cycle Assessment" - análise 3**

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	Moreira, M.T.	88	Heijungs, R.	3.992	1
2	Feijoo, G. (18)	85	Hellweg, S.	2.426	2
3	Gabarrell, X.	69	Frischknecht, R.	2.260	3
4	González-García, S.	59	Huppel, G.	2.259	4
5	Rieradevall, J.	56	Jolliet, O.	2.233	5
6	Heijungs, R. (1)	51	Finnveden, G.	2.060	6
7	Benetto, E.	50	Huijbregts, M.A.J.	2.038	7
8	Hauschild, M.Z. (8)	49	Hauschild, M.Z.	1.866	8
8	Huijbregts, M.A.J. (7)	49	Ekvall, T.	1.837	9
9	Hellweg, S. (2)	48	Goedkoop, M.	1.797	10
10	Azapagic, A.	42	Suh, S.	1.795	11
11	Christensen, T.H. (16)	41	Guinee, J.B.	1.773	12
11	Dewulf, J.	41	Jungbluth, N.	1.735	13
11	Margni, M. (15)	41	Margni, M.	1.545	14
12	Gheewala, S.H.	39	Hauschild, M.	1.338	15
13	Finkbeiner, M.	36	Christensen, T.H.	1.328	16
14	Keoleian, G.A.	33	Hischier, R.	1.317	17
15	Gasol, C.M.	32	Feijoo, G.	1.306	18
15	Hertwich, E.G.	32	Horvath, A.	1.278	19
16	Vázquez-Rowe, I.	30	Doka, G.	1.247	20

Percebe-se que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre "LCA", apenas 7 deles figuram entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos, assim, melhor atenção deve ser dada a estes 7 autores: Christensen, T.H.; Feijoo, G.; Hauschild, M.Z.; Heijungs, R.; Hellweg, S.; Huijbregts, M.A.J. e Margni, M. Mesmo que a posição ocupada por estes autores em termos de número de publicações seja diferente da posição ocupada em termos de número de citações.

#### 4ª Análise

Resultou da pesquisa nos últimos 10 anos das palavras "cleaner production" na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema e promoveu-se através do software VOSviewer a busca pelos autores mais citados também no tema, o mapa foi orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 60 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 39.983 autores listados, 84 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 20 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras "cleaner production" na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:

## ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR "Cleaner Production" - análise 4

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	Huisingh, D. (1)	21	Hauschild, M.	177	1
2	Klemeš, J.J. (2)	12	Klemes, J.J.	133	2
3	Demirer, G.N.	9	Van Berkel, R.	115	3
4	Govindan, K. (13)	8	Zhang, Y.	113	4
4	Vandecasteele, C.	8	Sarkis, J.	108	5
5	Alkaya, E.	7	Liu, Y.	103	6
6	Chiu, A.S.F.	6	Wang, Y.	103	7
6	Geng, Y. (8)	6	Geng, Y.	99	8
6	Giannetti, B.F. (10)	6	Zhu, Q.	81	9
6	Staniškis, J.K.	6	Giannetti, B.F.	73	10
6	Yuan, Z.	6	Wang, J.	68	11
7	Almeida, C.M.V.B. (14)	5	Friedler, F.	66	12
7	Gabarrell, X.	5	Govindan, K.	65	13
7	Varbanov, P.S.	5	Almeida, C.M.V.B.	63	14
7	Wang, Y. (11)	5	Bonilla, S.H.	62	15
8	Baas, L.	4	Li, X.	62	16
8	Jabbour, C.J.C.	4	Zhang, L.	58	17
8	Khalili, N.R.	4	Zhang, X.	57	18
8	Liu, X.	4	Li, J.	56	19
8	Liu, Y. (6)	4	Li, Y.	55	20

Percebe-se que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre “cleaner production”, apenas 7 deles figuram entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos, assim, melhor atenção deve ser dada a estes 8 autores: Almeida, C.M.V.B.; Geng, Y.; Giannetti, B.F.; Govindan, K.; Klemes, J.J.; Liu, Y. e Wang, Y. Mesmo que a posição ocupada por estes autores em termos de número de publicações seja diferente da posição ocupada em termos de número de citações.

### 5ª Análise

Resultou da pesquisa nos últimos 10 anos das palavras “GHG” ou “greenhouse gases” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema e promoveu-se através do software VOSviewer a busca pelos autores mais citados também no tema, o mapa foi orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 300 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 179.532 autores listados, 64 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 20 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras “GHG” ou “greenhouse gases” na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:

**ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR “GHG” ou “Greenhouse Gases” -  
análise 5**

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	<b>Smith, P. (2)</b>	39	Heijungs, R.	1.315	1
2	Kumar, A.	30	<b>Smith, P.</b>	837	2
3	MacLean, H.L.	27	Wang, M.	821	3
4	Gheewala, S.H.	22	Hellweg, S.	760	4
5	Brandt, A.R.	16	Frischknecht, R.	734	5
6	Freire, F.	15	Huppess, G.	682	6
6	Keoleian, G.A.	15	Lenzen, M.	673	7
6	Patel, M.K.	15	Suh, S.	657	8
7	Biswas, W.K.	14	Jolliet, O.	649	9
7	Kendall, A.	14	Jungbluth, N.	643	10
8	Han, J.	13	Hauschild, M.Z.	607	11
9	Elgowainy, A.	12	Horvath, A.	595	12
9	Geng, Y.	12	Christensen, T.H.	576	13
9	Hertwich, E.G.	12	Zhang, Y.	557	14
9	Ramaswami, A.	12	Ekvall, T.	556	15
10	Cai, H.	11	Huijbregts, M.A.J.	549	16
10	Dincer, I.	11	Lal, E.	542	17
10	Horvath, A.	11	Finnveden, G.	540	18
10	Jaramillo, P.	11	Feijoo, G.	516	19
10	Paltsev, S.	11	Cherubini, F.	499	20

Percebe-se que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre “GHG”, apenas 1 deles figura entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos: Smith, P. Desta forma, torna inviável aprofundar o estudo das publicações sobre o tema sem que este esteja coligado a outro tema de interesse do trabalho.

## 6ª Análise

Resultou da pesquisa nos últimos 10 anos das palavras “ceramic tiles” x “energy” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema e promoveu-se através do software VOSviewer a busca pelos autores mais citados também no tema, o mapa foi orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 10 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 5.002 autores listados, 38 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 20 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras “ceramic tiles” x “energy” na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:

Perceber-se-á que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre “GHG”, apenas 6 deles figuram entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos, assim, melhor atenção deve ser dada a estes 6 autores: Amritphale, S.S.; Chandra, N.; Mallol, G.; Mezquita, A.; Monfort, E. e Vaquer, E. Mesmo que a posição ocupada por estes autores em

termos de número de publicações seja diferente da posição ocupada em termos de número de citações.

**ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR “Ceramic Tiles” x “Energy” - análise 6**

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	Mezquita, A. (2)	8	Monfort, E.	48	1
1	Monfort, E. (1)	8	Mezquita, A.	23	2
2	Vaquer, E. (8)	5	Sanchez, E.	22	3
3	Alves, H.J.	4	Amritphale, S.S.	20	4
3	Anon	4	Akbari, H.	19	5
4	Amritphale, S.S. (4)	3	Timellini, G.	18	6
4	Boschi, A.O.	3	Li, L.	17	7
4	Bourtsalas, A.	3	Vaquer, E.	17	8
4	Chandra, N. (9)	3	Chandra, N.	16	9
4	Cheeseman, C.R.	3	Escardino, A.	16	10
4	Ferrer, S.	3	Garcia-Ten, J.	16	11
4	Hotza, D.	3	Lawrence, J.	15	12
4	Mallol, G. (13)	3	Mallol, G.	15	13
4	Zaera, V.	3	Santamouris, M.	15	14
5	Anshul, A.	2	Amoros, J.L.	14	15
5	Arnal, M.A.	2	Moreno, A.	14	16
5	Berezhetskaya, V.Y.	2	Siligardi, C.	14	17
5	Bernardin, A.M.	2	Celades, I.	13	18
5	Black, I.	2	Das, S.K.	13	19
5	Boschi, A.O.	2	Barbieri, L.	12	20

## 7ª Análise

Resultou da pesquisa nos últimos 10 anos das palavras “ceramic tiles” x “LCA” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema e promoveu-se através do software VOSviewer a busca pelos autores mais citados também no tema, o mapa foi orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 5 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 828 autores listados, 26 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 20 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras “ceramic tiles” x “LCA” na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:

Perceber-se-á que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre “GHG”, apenas 8 deles figuram entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos, assim, melhor atenção deve ser dada a estes 7 autores: Azapagic, A.; Bondioli, F.; Bovea, M.D.; Ferrari, A.M.; Gallardo, A.; Islam, H.; Jollands, M. e Pini, M. Mesmo que a posição ocupada por estes autores em termos de número de publicações seja diferente da posição ocupada em termos de número de citações.

## ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR “Ceramic Tiles” x “LCA” - análise 7

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	Bovea, M.D. (1)	5	Bovea, M.D.	15	1
2	Bhuiyan, M.A.	2	Timellini, G.	10	2
2	Ferrari, A.M. (3)	2	Ferrari, A.M.	8	3
2	Gallardo, A. (17)	2	Palmonari, C.	8	4
2	Ibáñez-Forés, V.	2	Azapagic, A.	7	5
2	Islam, H. (9)	2	Bondioli, F.	7	6
2	Jollands, M. (20)	2	Heijungs, R.	7	7
2	Neri, P.	2	Huppés, G.	7	8
2	Pini, M. (12)	2	Islam, H.	7	9
2	Serrano, J.	2	Monfort, E.	7	10
2	Setunge, S.	2	Notarnicola, B.	7	11
3	Almeida, M.I.	1	Pini, M.	7	12
3	Arroja, L.	1	Tassielli, G.	7	13
3	Asif, M.	1	Busani, G.	6	14
3	Azapagic, A. (5)	1	Celades, I.	6	15
3	Belussi, L.	1	Commission, E.	6	16
3	Bengoa, X.	1	Gallardo, A.	6	17
3	Benveniste, G.	1	Guinée, J.B.	6	18
3	Blengini, G.A.	1	Hischier, R.	6	19
3	Bondioli, F. (6)	1	Jollands, M.	5	20

## 8ª Análise

Resultou da pesquisa nos últimos 10 anos das palavras “ceramic tiles” x “GHG” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 10 autores que publicaram no tema. Devido ao baixo número de publicações contemplando o tema “ceramic tiles” x “GHG”, tornou-se inviável a análise destas publicações no software VOSviewer, de tal forma que permitisse determinar-se os autores mais citados em publicações em torno deste tema.

Os 10 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras “ceramic tiles” x “GHG” na base Scopus são:

## ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR “Ceramic Tiles” x “GHG” - análise 8

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados
1	Bhuiyan, M.A.	1
1	Ferrari, A.M.	1
1	Gamberini, R.	1
1	Haque, N.	1
1	Islam, H.	1
1	Jollands, M.	1
1	Neri, P.	1
1	Pini, M.	1
1	Rimini, B.	1
1	Setunge, S.	1

Não houveram dados suficientes para uma análise fundamentada de citações no VOSviewer



Pelo mesmo motivo que se tornou inviável a análise de autores citados em publicações sobre o tema “ceramic tiles” x “GHG”, se torna inviável aprofundar o estudo das publicações sobre o tema sem que este esteja coligado a outro tema de interesse do trabalho.

## 9ª Análise

Resultou da pesquisa nos últimos 10 anos das palavras “ceramic tiles” x “cleaner production” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que publicaram no tema. Devido ao baixo número de publicações contemplando o tema “ceramic tiles” x “cleaner production”, tornou-se inviável a análise destas publicações no software VOSviewer, de tal forma que permitisse determinar-se os autores mais citados em publicações em torno deste tema.

Os 20 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras “ceramic tiles” x “cleaner production” na base Scopus são:

### ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR “Ceramic Tiles” x “Cleaner Production” - análise 9

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados
1	Shu, Z.	2
1	Zhou, J.	2
2	Amoros, J.L.	1
2	Fortunato, E.	1
2	Garcia-Ten, J.	1
2	Goncalves, R.	1
2	Gonçalves, A.	1
2	Huang, Y.	1
2	Luo, J.	1
2	Marie, A.	1
2	Marques, A.C.	1
2	Martins, R.	1
2	Monfort, E.	1
2	Nunes, D.	1
2	Pereira, L.	1
Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados
2	Pinto, J.V.	1
2	Resende, J.	1
2	Wang, Y.	1
2	Wang, Y.X.	1
2	Xia, B.	1

Não houveram dados suficientes para uma análise fundamentada de citações no VOSviewer

Pelo mesmo motivo que se tornou inviável a análise de autores citados em publicações sobre o tema “ceramic tiles” x “cleaner production”, se torna inviável aprofundar o estudo das publicações sobre o tema sem que este esteja coligado a outro tema de interesse do trabalho.

## 10ª Análise

Resultou da pesquisa nos últimos 10 anos das palavras “energy” x “LCA” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema e promoveu-se através do software VOSviewer a busca pelos autores mais citados também no tema, o mapa foi orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 500 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 130.998 autores listados, 34 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 20 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras “energy” x “LCA” na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:

### ANÁLISE DOS AUTORES QUERESULTARAM DA BUSCA POR “Energy” x “LCA” - análise 10

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	Moreira, M.T.	54	Heijungs, R.	2.080	1
2	Feijoo, G.	50	Frischknecht, R.	1.526	2
3	Rieradevall, J.	46	Huppel, G.	1.334	3
4	González-García, S.	44	Finnveden, G.	1.249	4
5	Gabarrell, X.	42	Hellweg, S.	1.226	5
6	Keoleian, G.A.	33	Jungbluth, N.	1.167	6
7	Hellweg, S. (5)	28	Ekvall, T.	1.124	7
8	Horvath, A. (16)	27	Guinee, J.B.	995	8
8	Ulgiate, S.	27	Goedkoop, M.	959	9
9	Gheewala, S.H.	26	Jolliet, O.	903	10
10	Azapagic, A.	25	Suh, S.	898	11
11	Benetto, E.	24	Huijbregts, M.A.J.	859	12
12	Dewulf, J.	22	Dones, R.	828	13
13	Christensen, T.H. (18)	21	Doka, G.	822	14
13	Dincer, I.	21	Hischier, R.	785	15
13	Dufour, J.	21	Horvath, A.	784	16
13	Iribarren, D.	21	Bauer, C.	759	17
14	Gasol, C.M.	20	Christensen, T.H.	755	18
15	Cherubini, F.	19	Hauschild, M.Z.	734	19
15	Finnveden, G.	19	Lenzen, M.	732	20

Percebe-se que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre “energy” x “LCA”, apenas 3 deles figuram entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos, assim, melhor atenção deve ser dada a estes 3 autores: Christensen, T.H.; Hellweg, S. e Horvath, A. Mesmo que a posição ocupada por estes autores em termos de número de publicações seja diferente da posição ocupada em termos de número de citações.

## 11ª Análise

Resultou da pesquisa nos últimos 10 anos das palavras “energy” x “GHG” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema e promoveu-se através do software VOSviewer a busca pelos autores mais citados também no tema, o mapa foi orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 180 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 100.073 autores listados, 38 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 20 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras “energy” x “GHG” na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:

### ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR “Energy” x “GHG” - análise 11

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	Kumar, A. (18)	25	Wang, M.	606	1
2	MacLean, H.L. (13)	21	Faaij, A.	353	2
3	Gheewala, S.H. (19)	18	Smith, P.	322	3
4	Brandt, A.R.	15	Huang, G.H.	320	4
4	Keoleian, G.A.	15	Cherubini, F.	299	5
5	Worrell, E.	13	Tilman, D.	295	6
6	Geng, Y.	12	Zhang, X.	293	7
6	Han, J.	12	Hill, J.	284	8
6	Rafiee, S. (12)	12	Zhang, Y.	281	9
7	Freire, F.	11	Lenzen, M.	278	10
8	Cai, H.	10	Heijungs, R.	274	11
8	Huang, G.H. (4)	10	Rafiee, S.	273	12
8	Khoshnevisan, B.	10	MacLean, H.L.	267	13
9	Elgowainy, A.	9	Horvath, A.	258	14
9	Faaij, A. (2) - (16)	9	Kim, S.	250	15
9	Kendall, A.	9	Faaij, A.P.C.	243	16
9	Matthews, H.S.	9	Lal, R.	232	17
9	Patel, M.K.	9	Kumar, A.	228	18
9	Smith, P.	9	Gheewala, S.H.	227	19
9	Yeh, S.	9	Jungbluth, N.	222	20

Percebe-se que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre “energy” x “GHG”, apenas 6 deles figuram entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos, assim, melhor atenção deve ser dada a estes 6 autores: Faaij, A.; Gheewala, S.H.; Huang, G.H.; Kumar, A.; MacLean, H.L.; Rafiee, S. e Smith, P. Mesmo que a posição ocupada por estes autores em termos de número de publicações seja diferente da posição ocupada em termos de número de citações.

## 12ª Análise

Resultou da pesquisa nos últimos 10 anos das palavras “energy” x “cleaner production” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio

ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema e promoveu-se através do software VOSviewer a busca pelos autores mais citados também no tema, o mapa foi orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 20 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 18.779 autores listados, 40 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 20 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras “energy” x “cleaner production” na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:

**ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR “Energy” x “Cleaner Production” - análise 12**

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	Huisingh, D. (2)	10	Klemes, J.J.	97	1
2	Klemeš, J.J. (1) (7)	8	Huisingh, D.	73	2
3	Vandecasteele, C.	6	Van Berkel, R.	63	3
4	Alkaya, E.	5	Zhang, Y.	53	4
4	Demirer, G.N.	5	Wang, Y.	45	5
5	Almeida, C.M.V.B. (12)	4	Varbanov, P.S.	42	6
5	Giannetti, B.F. (14)	4	Klemes, J.	38	7
5	Varbanov, P.S. (6)	4	El-Halwagi, M.M.	37	8
6	Agostinho, F.	3	Heijungs, R.	34	9
6	Block, C.	3	Ulgati, S.	34	10
6	Catarino, J.	3	Liu, Y.	33	11
6	Chareonpanich, M.	3	Almeida, C.M.V.B.	30	12
6	Donphai, W.	3	Duic, N.	29	13
6	Duic, N. (13)	3	Giannetti, B.F.	29	14
6	Fresner, J.	3	Worrell, E.	28	15
6	Gabarrell, X.	3	Zhang, L.	28	16
6	Gheewala, S.H. (19)	3	Zhang, X.	28	17
6	Herat, S.	3	Geng, Y.	27	18
6	Kumar, S.	3	Gheewala, S.H.	27	19
6	Lee, D.J.	3	Staniskis, J.K.	27	20

Percebe-se que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre “energy” x “GHG”, apenas 7 deles figuram entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos, assim, melhor atenção deve ser dada a estes 7 autores: Almeida, C.M.V.B.; Duic, N.; Gheewala, S.H.; Giannetti, B.F.; Huisingh, D.; Klemes, J.J. e Varbanov, P.S. Mesmo que a posição ocupada por estes autores em termos de número de publicações seja diferente da posição ocupada em termos de número de citações.

### 13ª Análise

Resultou da pesquisa nos últimos 10 anos das palavras “LCA” x “GHG” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema e promoveu-se através do software VOSviewer a busca pelos autores mais

citados também no tema, o mapa foi orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 100 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 45.215 autores listados, 57 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 20 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras “LCA” x “GHG” na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:

#### ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR “LCA” x “GHG” - análise 13

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	<b>MacLean, H.L. (19)</b>	22	Wang, M.	360	1
2	Keoleian, G.A.	18	Heijungs, R.	348	2
3	Kumar, A.	17	Horvath, A.	251	3
3	Biswas, W.K.	15	Jungbluth, N.	251	4
4	Kendall, A.	15	Cherubini, F.	246	5
5	Freire, F.	11	Frischknecht, R.	226	6
5	<b>Gheewala, S.H. (15)</b>	11	Huppel, G.	213	7
6	Moreira, M.T.	10	Suh, S.	210	8
6	Patel, M.K.	10	Lenzen, M.	194	9
7	Feijoo, G.	9	Ekvall, T.	192	10
7	<b>Matthews, H.S. (17)</b>	9	Hellweg, S.	190	11
8	Griffin, W.M.	8	Finnveden, G.	185	12
8	Heath, G.A.	8	Bauer, C.	181	13
8	Heinonen, J.	8	Christensen, T.H.	181	14
8	Rieradevall, J.	8	<b>Gheewala, S.H.</b>	181	15
8	Shonnard, D.R.	8	Kim, S.	181	16
9	Brandt, A.R.	7	<b>Matthews, H.S.</b>	176	17
9	Finkbeiner, M.	7	Dones, R.	163	18
9	Gabarrell, X.	7	<b>Maclean, H.L.</b>	161	19
9	Han, J.	7	Dale, B.E.	158	20

Percebe-se que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre “LCA” x “GHG”, apenas 3 deles figuram entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos, assim, melhor atenção deve ser dada a estes 3 autores: Gheewala, S.H.; MacLean, H.L. e Matthews, H.S. Mesmo que a posição ocupada por estes autores em termos de número de publicações seja diferente da posição ocupada em termos de número de citações.

### 14ª Análise

Resultou da pesquisa nos últimos 10 anos das palavras “LCA” x “cleaner production” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema e promoveu-se através do software VOSviewer a busca pelos autores mais citados também no tema, o mapa foi orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 15 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 6.079 autores listados, 24 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 20 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras “LCA” x “cleaner production” na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:

**ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR “LCA” x “Cleaner Production” - análise 14**

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	Gabarrell, X.	4	Heijungs, R.	46	1
1	Huisinigh, D.	4	<b>Gheewala, S.H.</b>	27	2
1	Liu, X.	4	Hellweg, S.	27	3
2	Ometto, A.R.	3	<b>Duic, N.</b>	25	4
2	Yuan, Z.	3	Feijoo, G.	24	5
3	Antón, A.	2	Huppés, G.	22	6
3	Biswas, W.K.	2	Guinee, J.B.	21	7
3	Brissaud, D.	2	Jolliet, O.	21	8
3	Chemisana, D.	2	Vazquez-Rowe, I.	21	9
3	<b>Duic, N. (4)</b>	2	Vujanovic, M.	21	10
3	<b>Gheewala, S.H. (2)</b>	2	Hauschild, M.Z.	20	11
3	Kahhat, R.	2	Huijbregts, M.A.J.	20	12
3	Khan, F.I.	2	Moreira, M.T.	20	13
3	Klemeš, J.J.	2	Suh, S.	20	14
3	Kulay, L.	2	Azapagic, A.	19	15
3	Lamnatou, C.	2	Finnveden, G.	19	16
3	Lombardi, L.	2	Nie, Z.R.	19	17
3	Lozano, R.	2	Frischknecht, R.	18	18
3	Mikulcic, H.	2	Lenzen, M.	18	19
3	Montero, J.I.	2	Ekvall, T.	17	20

Percebe-se que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre “LCA” x “cleaner production”, apenas 2 deles figuram entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos, assim, melhor atenção deve ser dada a estes 2 autores: Duic, N. e Gheewala, S.H. Mesmo que a posição ocupada por estes autores em termos de número de publicações seja diferente da posição ocupada em termos de número de citações.

### 15ª Análise

Resultou da pesquisa nos últimos 10 anos das palavras “ceramic tiles” x “energy” x “LCA” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema e promoveu-se através do software VOSviewer a busca pelos autores mais citados também no tema, o mapa foi orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 3 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 350 autores listados, 19 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 19 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras “ceramic tiles” x “energy” x “LCA” na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:

**ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR “ceramic tiles” x “energy” x “LCA”  
- análise 15**

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	Asif, M.	1	Timellini, G.	8	1
1	Belussi, L.	1	Palmonari, C.	7	2
1	Benveniste, G.	1	Islam, H.	5	3
1	Bhuiyan, M.A.	1	Bovea, M.D.	4	4
1	Bovea, M.D. (4)	1	Busani, G.	4	5
1	Breedveld, L.	1	Celades, I.	4	6
1	Burgos, A.C.	1	Huppés, G.	4	7
1	Busani, G. (5)	1	Jollands, M.	4	8
1	Casoni, G.	1	Monfort, E.	4	9
1	Celades, I. (6)	1	Notarnicola, B.	4	10
1	Ferrari, A.M.	1	Setunge, S.	4	11
1	Franco, H.G.	1	Tassielli, G.	4	12
1	Fregni, A.	1	de Koning, A.	3	13
1	Fullana, P.	1	Gallardo, A.	3	14
1	Gamberini, R.	1	Gomar, S.	3	15
1	Gazulla, C.	1	Guinee, J.B.	3	16
1	Godes, B.	1	Heijungs, R.	3	17
1	Gomes, V.	1	Nicoletti, G.M.	3	18
1	Haque, N.	1	Serrano, J.	3	19
1	Ibáñez-Forés, V.	1			

Percebe-se que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre “LCA” x “cleaner production”, apenas 3 deles figuram entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos, assim, melhor atenção deve ser dada a estes 3 autores: Bovea, M.D.; Busani, G. e Celades, I. Mesmo que a posição ocupada por estes autores em termos de número de publicações seja diferente da posição ocupada em termos de número de citações.

## 16ª Análise

Resultou da pesquisa nos últimos 10 anos das palavras “energy” x “LCA” x “GHG” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema e promoveu-se através do software VOSviewer a busca pelos autores mais citados também no tema, o mapa foi orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 80 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 34.669 autores listados, 43 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 20 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras “energy” x “LCA” x “GHG” na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:

**ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR “Energy” x “LCA” x “GHG” -  
análise 16**

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	<b>MacLean, H.L. (8)</b>	19	Wang, M.	273	1
2	Kumar, A.	13	Heijungs, R.	218	2
3	Kendall, A.	12	Cherubini, F.	199	3
3	Keoleian, G.A.	12	Jungbluth, N.	176	4
4	Patel, M.K.	10	Frischknecht, R.	157	5
5	<b>Gheewala, S.H. (15)</b>	9	Horvath, A.	152	6
6	Biswas, W.K.	8	Huppel, G.	143	7
6	Moreira, M.T.	8	<b>Maclean, H.L.</b>	142	8
7	Feijoo, G.	7	Aden, A.	135	9
7	Freire, F.	7	Kim, S.	134	10
7	Khanna, V.	7	Bauer, C.	133	11
7	Matthews, H.S.	7	Ekvall, T.	130	12
8	Brandt, A.R.	6	Lenzen, M.	130	13
8	Canter, C.	6	Suh, S.	129	14
8	González-García, S.	6	<b>Gheewala, S.H.</b>	128	15
8	Griffin, W.M.	6	Dones, R.	124	16
8	Heath, G.A.	6	Borjesson, P.	121	17
8	Heinonen, J.	6	Dale, B.E.	119	18
8	Saville, B.A.	6	Hellweg, S.	117	19
8	Shonnard, D.R.	6	Finnveden, G.	116	20

Percebe-se que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre “LCA” x “cleaner production”, apenas 2 deles figuram entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos, assim, melhor atenção deve ser dada a estes 2 autores: Gheewala, S.H. e MacLean, H.L. Mesmo que a posição ocupada por estes autores em termos de número de publicações seja diferente da posição ocupada em termos de número de citações.

### 17ª Análise

Resultou da pesquisa das palavras “energy” x “LCA” x “cleaner production” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema e promoveu-se através do software VOSviewer a busca pelos autores mais citados também no tema, o mapa foi orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 10 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 3.874 autores listados, 23 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 20 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras “energy” x “LCA” x “cleaner production” na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:



**ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR “Energy” x “LCA” x “Cleaner Production” - análise 17**

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	Huisingh, D.	3	Heijungs, R.	30	1
1	Liu, X.	3	<b>Duic, N.</b>	25	2
2	<b>Antón, A. (16)</b>	2	Vujanovic, M.	21	3
2	<b>Duic, N. (2)</b>	2	Hellweg, S.	19	4
2	Gabarrell, X.	2	Gheewala, S.H.	17	5
2	Kahhat, R.	2	Lenzen, M.	17	6
2	<b>Klemeš, J.J. (12)</b>	2	<b>Mikulcic, H.</b>	16	7
2	Kulay, L.	2	Goedkoop, M.	14	8
2	<b>Mikulcic, H. (7)</b>	2	Huijbregts, M.A.J.	14	9
2	Montero, J.I.	2	Guinee, J.B.	13	10
2	Nogueira, A.R.	2	Hauschild, M.Z.	13	11
2	Quispe, I.	2	Jolliet, O.	13	12
2	Torrellas, M.	2	<b>Klimes, J.</b>	12	13
2	Urbaniec, K.	2	Suh, S.	12	14
2	Yuan, Z.	2	Vazquez-Rowe, I.	12	15
2	Zhang, S.	2	<b>Anton, A.</b>	11	16
2	Zhang, Y.	2	Frischknecht, R.	11	17
3	Abkowitz, M.	1	Huppel, G.	11	18
3	Ahmad, W.	1	Rafiee, S.	11	19
3	An, J.	1	Hischier, R.	10	20

Percebe-se que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre “LCA” x “cleaner production”, apenas 4 deles figuram entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos, assim, melhor atenção deve ser dada a estes 4 autores: Anton, A.; Duic, N.; Klimes, J. e Mikulcic, H. Mesmo que a posição ocupada por estes autores em termos de número de publicações seja diferente da posição ocupada em termos de número de citações.

## 18ª Análise

Resultou da pesquisa das palavras “energy” x “GHG” x “cleaner production” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema e promoveu-se através do software VOSviewer a busca pelos autores mais citados também no tema, o mapa foi orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 4 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 1.287 autores listados, 19 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 19 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras “energy” x “GHG” x “cleaner production” na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:

**ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR “Energy” x “GHG” x “Cleaner Production” - análise 18**

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	<b>Huisingh, D. (14)</b>	3	Vujanovic, M.	14	1
1	Liu, X.	3	<b>Duic, N.</b>	13	2
2	Antón, A.	2	<b>Mikulcic, H.</b>	11	3
2	<b>Duic, N. (2)</b>	2	Fuss, S.	8	4
2	Gabarrell, X.	2	Obersteiner, M.	8	5
2	Kahhat, R.	2	Remmen, A.	8	6
2	<b>Klemeš, J.J. (8)</b>	2	Szolgayova, J.	8	7
2	Kulay, L.	2	<b>Klimes, J.J.</b>	7	8
2	<b>Mikulcic, H. (3)</b>	2	Worrell, E.	6	9
2	Montero, J.I.	2	Cherubini, F.	5	10
2	Nogueira, A.R.	2	Jungmeier, G.	5	11
2	Quispe, I.	2	Chen, J.	4	12
2	Torrellas, M.	2	Hasanbeigi, A.	4	13
2	Urbaniec, K.	2	<b>Huisingh, D.</b>	4	14
2	Yuan, Z.	2	Price, L.	4	15
2	Zhang, S.	2	Rafiee, S.	4	16
2	Zhang, Y.	2	Saidur, R.	4	17
3	Abkowitz, M.	1	Tilman, D.	4	18
3	Ahmad, W.	1	Varbanov, P.S.	4	19
3	An, J.	1			

Percebe-se que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre “LCA” x “cleaner production”, apenas 4 deles figuram entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos, assim, melhor atenção deve ser dada a estes 4 autores: Duic, N.; Huisingh, D.; Klimes, J.J. e Mikulcic, H. Mesmo que a posição ocupada por estes autores em termos de número de publicações seja diferente da posição ocupada em termos de número de citações.

### 19ª Análise

Resultou da pesquisa das palavras “CO<sub>2</sub> Sequestration” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema e promoveu-se através do software VOSviewer a busca pelos autores mais citados também no tema, o mapa foi orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 130 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 63.384 autores listados, 36 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 20 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras “CO<sub>2</sub> Sequestration” na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:

ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR “CO<sub>2</sub> Sequestration” - análise 19

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	Iglauer, S.	13	Pruess, K.	734	1
2	Xu, T.	12	Bachu, S.	712	2
3	Lebedev, M.	11	Oelkers, E.H.	349	3
4	Barifcani, A.	9	Xu, T.	339	4
4	Li, X.	9	Benson, S.M.	328	5
4	Ranjith, P.G.	9	Hovorka, S.D.	268	6
5	Cama, J.	8	Kharaka, Y.K.	253	7
5	Luquot, L.	8	Rutqvist, J.	237	8
5	Soler, J.M.	8	Gunter, W.D.	231	9
5	Song, Y.	8	Schott, J.	226	10
5	Yang, C.	8	Blunt, M.J.	215	11
6	Juhlin, C.	7	Iglauer, S.	210	12
6	Rutqvist, J.	7	Gislason, S.R.	209	13
6	Sarmadivaleh, M.	7	Holloway, S.	206	14
6	Tian, H.	7	Birkholzer, J.T.	206	15
7	Dai, Z.	6	Spycher, N.	198	16
7	Gilfillan, S.M.V.	6	Li, X.	196	17
7	Hovorka, S.D.	6	Celia, M.A.	195	18
7	Kempka, T.	6	Apps, J.A.	193	19
7	Nakles, D.V.	6	Oldenburg, C.M.	188	20

Percebe-se que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre “CO<sub>2</sub> Sequestration”, apenas 5 deles figuram entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos, assim, melhor atenção deve ser dada a estes 5 autores: Iglauer, S.; Hovorka, S.D.; Li, X; Rutqvist, J. e Xu, T. Mesmo que a posição ocupada por estes autores em termos de número de publicações seja diferente da posição ocupada em termos de número de citações.

## 20<sup>a</sup> Análise

Resultou da pesquisa das palavras “CO<sub>2</sub> Sequestration” x “Energy” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema e promoveu-se através do software VOSviewer a busca pelos autores mais citados também no tema, o mapa foi orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 30 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 21.445 autores listados, 38 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 20 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras “CO<sub>2</sub> Sequestration” x “Energy” na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:

**ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR “CO<sub>2</sub> Sequestration” x “Energy” -  
análise 20**

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	<b>Rochelle, G.T.</b>	6	<b>Rochelle, G.T.</b>	162	1
2	Meckel, T.A.	3	Pruess, K.	104	2
3	Wiley, D.E.	4	Bachu, S.	84	3
4	Chiesa, P.	3	Zhang, Y.	59	4
4	Cohen, S.M.	3	Abanades, J.C.	56	5
4	<b>Faij, A.</b>	3	Oelkers, E.H.	55	6
4	Feng, G.	3	Zevenhoven, R.	53	7
4	Ho, M.T.	3	Schott, J.	52	8
4	Hou, Z.	3	Lackner, K.S.	51	9
4	Koh, D.Y.	3	Svensen, H.F.	51	10
4	Mac Dowell, N.	3	Rubin, E.S.	47	11
4	Romeo, L.M.	3	Jones, C.W.	46	12
4	Webber, M.E.	3	Lee, H.	46	13
4	Xie, H.	3	Feron, P.H.M.	45	14
4	Xu, T.	3	Lasaga, A.C.	43	15
5	Agada, S.	2	<b>Faij, A.</b>	42	16
5	Alves, R.M.B.	2	Holloway, S.	42	17
5	Anantharaman, R.	2	Versteeg, G.F.	42	18
5	Araújo, O.Q.F.	2	Tontiwachwuthikul, P.	39	19
5	Balucan, R.D.	2	Anthony, E.J.	38	20

Percebe-se que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre “CO<sub>2</sub> Sequestration” x “Energy”, apenas 2 deles figuram entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos, assim, melhor atenção deve ser dada a estes 2 autores: Faij, A. e Rochelle, G.T. Mesmo que a posição ocupada por estes autores em termos de número de publicações seja diferente da posição ocupada em termos de número de citações.

## 21<sup>a</sup> Análise

Resultou da pesquisa das palavras “CO<sub>2</sub> Sequestration” x “LCA” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema e promoveu-se através do software VOSviewer a busca pelos autores mais citados também no tema, o mapa foi orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 30 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 21.445 autores listados, 38 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 20 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras “CO<sub>2</sub> Sequestration” x “LCA” na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:

**ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR “CO<sub>2</sub> Sequestration” x “LCA” -  
análise 21**

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	Khoo, H.H.	2	Herzog, H.J.	6	1
2	Tan, R.B.H.	2	Bolland, O.	3	2
3	Durucan, S.	1	Gottlicher, G.	3	3
3	Jung, K.A.	1	Khoo, H.H.	3	4
3	Kim, Y.	1	Lombardi, L.	3	5
3	Korre, A.	1	Tan, R.B.H.	3	6
3	Lim, S.R.	1	Audus, H.	2	7
3	Nie, Z.	1	Chadwick, R.A.	2	8
3	Park, J.M.	1	Durie, R.A.	2	9
			Goedkoop, M.	2	10
			Golomb, D.	2	11
			Heijungs, R.	2	12
			Holloway, S.	2	13
			Huijbregts, M.A.J.	2	14
			Huppes, G.	2	15
			Jung, K.A.	2	16
			Kerr, D.R.	2	17
			Klara, S.M.	2	18
			Lackner, K.S.	2	19
			Lim, S.R.	2	20

Percebe-se que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre “CO<sub>2</sub> Sequestration” x “LCA”, apenas 3 deles figuram entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos, assim, melhor atenção deve ser dada a estes 3 autores: Jung, K.A., Lim, S.R. e Tan, R.B.H. Mesmo que a posição ocupada por estes autores em termos de número de publicações seja diferente da posição ocupada em termos de número de citações.

## 22<sup>a</sup> Análise

Resultou da pesquisa das palavras “CO<sub>2</sub> Sequestration” x “GHG” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema e promoveu-se através do software VOSviewer a busca pelos autores mais citados também no tema, o mapa foi orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 10 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 5.884 autores listados, 28 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 20 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras “CO<sub>2</sub> Sequestration” x “GHG” na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:

**ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR “CO<sub>2</sub> Sequestration” x “GHG” -  
análise 22**

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	Allard, V.	2	Smith, P.	36	1
1	Ayash, S.C.	2	Ciais, P.	34	2
1	Azzolina, N.A.	2	Bachu, S.	16	3
1	Ceschia, E.	2	Lal, r.	14	4
1	Chatzis, I.	2	Sanchez-Monedero, M.A.	14	5
1	Civan, F.	2	Black, T.A.	13	6
1	Croiset, E.	2	Huang, G.H.	13	7
1	Daneshfar, J.	2	Janssens, I.A.	13	8
1	Douglas, P.L.	2	Li, Y.	13	9
1	Gorecki, C.D.	2	Luyssaert, S.	13	10
1	Hughes, R.G.	2	Whalen, J.K.	13	11
1	Jafari, A.	2	Aubinet, M.	12	12
1	Martin, C.	2	Paustian, K.	12	13
1	Peck, W.D.	2	Roig, a.	12	14
1	Perkins, E.	2	<b>Soussana, J.F.</b>	12	15
1	Shafeen, A.	2	Wang, Y.	12	16
1	Smukler, S.M.	2	Gunter, W.D.	11	17
1	<b>Soussana, J.F.</b>	2	Nesic, Z.	11	18
2	Abril, G.	1	Raison, R.J.	11	19
2	Adalgeirsdottir, K.	1	Six, J.	11	20

Percebe-se que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre “CO<sub>2</sub> Sequestration” x “GHG”, apenas 1 deles figura entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos, assim, melhor atenção deve ser dada a estes autor: Soussana, J.F.

### 23<sup>a</sup> Análise

Resultou da pesquisa das palavras “CO<sub>2</sub> Sequestration” x “Cleaner Production” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema e promoveu-se através do software VOSviewer a busca pelos autores mais citados também no tema, o mapa foi orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 2 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 470 autores listados, 56 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 20 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras “CO<sub>2</sub> Sequestration” x “Cleaner Production” na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:

**ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR “CO<sub>2</sub> Sequestration” x “Cleaner Production” - análise 23**

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	Anantharaman, R.	1	Li, Q.	11	1
1	Benderev, A.	1	Poon, C.S.	11	2
1	Bonoli, M.	1	Tsang, D.C.W.	10	3
1	Bukolska, D.	1	Wang, L.	7	4
1	Caputo, A.	1	Chen, S.S.	4	5
1	Eshiet, K.I.I.	1	Liu, G.	4	6
1	Francioso, O.	1	Wei, Y.N.	4	7
1	Gorka, T.	1	Zhang, X.	4	8
1	Green, M.	1	Aines, R.D.	3	9
1	Hetland, J.	1	Al-Tabbaa, A.	3	10
1	Hristov, N.	1	Bourcier, W.L.	3	11
1	Katsimpardi, I.	1	Ghosh, S.	3	12
1	Kempka, T.	1	Huisingh, D.	3	13
1	Kortenski, J.	1	Webley, P.A.	3	14
1	Koukouzas, N.	1	Wolery, T.J.	3	15
1	Li, Q.	1	Wolfe, T.	3	16
1	Liu, G.	1	Angenent, L.T.	2	17
1	Nakaten, N.	1	Appels, L.	2	18
1	Palenzona, D.	1	Azzam, R.	2	19
1	Wei, Y.N.	1	Banks, C.J.	2	20

Percebe-se que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre “CO<sub>2</sub> Sequestration” x “Cleaner Production”, apenas 3 deles figuram entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos, assim, melhor atenção deve ser dada a estes 3 autores: Li, Q., Liu, G. e Wei, Y.N. Mesmo que a posição ocupada por estes autores em termos de número de publicações seja diferente da posição ocupada em termos de número de citações.

## 24<sup>a</sup> Análise

Resultou da pesquisa das palavras “CO<sub>2</sub> Sequestration” x “Energy” x “LCA” na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema e promoveu-se através do software VOSviewer a busca pelos autores mais citados também no tema, o mapa foi orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 2 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 225 autores listados, 14 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 14 autores que aparecem nos artigos encontrados com as palavras “CO<sub>2</sub> Sequestration” x “Energy” x “LCA” na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:

**ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR "CO<sub>2</sub> Sequestration" x "Energy" x "LCA" - análise 24**

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	Durucan, S.	1	Lombardi, L.	3	1
1	Jung, K.A.	1	Bolland, O.	2	2
1	Khoo, H.H.	1	Goedkoop, M.	2	3
1	Kim, Y.	1	Gottlicher, G.	2	4
1	Korre, A.	1	Heijungs, R.	2	5
1	Lim, S.R.	1	Huijbregts, M.A.J.	2	6
1	Nie, Z.	1	Huppes, G.	2	7
1	Park, J.M.	1	Jung, K.A.	2	8
1	Tan, R.B.H.	1	Lackner, K.S.	2	9
			Lim, S.R.	2	10
			O'connor, W.K.	2	11
			Santos, C.N.S.	2	12
			Van zelm, R.	2	13
			Yoshikuni, Y.	2	14

Percebe-se que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre "CO<sub>2</sub> Sequestration" x "Energy" x "LCA", nenhum deles figura entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos, indicando que os autores antigos continuam sendo referência para os novos trabalhos publicados.

### 25<sup>a</sup> Análise

Resultou da pesquisa das palavras "CO<sub>2</sub> Sequestration" x "Energy" x "Cleaner Production" na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema e promoveu-se através do software VOSviewer a busca pelos autores mais citados também no tema, o mapa foi orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 2 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 295 autores listados, 36 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 20 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras "CO<sub>2</sub> Sequestration" x "Energy" x "Cleaner Production" na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:



**ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR "CO<sub>2</sub> Sequestration" x "Energy" x  
"Cleaner Production" - análise 25**

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	Benderev, A.	1	Li, Q.	11	1
1	Bonoli, M.	1	Liu, G.	4	2
1	Bukolska, D.	1	Wei, Y.N.	4	3
1	Caputo, A.	1	Zhang, X.	4	4
1	Eshiet, K.I.I.	1	Aines, r.d.	3	5
1	Francioso, O.	1	Bourcier, W.L.	3	6
1	Gorka, T.	1	Ghosh, S.	3	7
1	Green, M.	1	Huisingh, D.	3	8
1	Hetland, J.	1	Wolery, T.J.	3	9
1	Hristov, N.	1	Wolfe, T.	3	10
1	Katsimpardi, I.	1	Angenent, L.T.	2	11
1	Kempka, T.	1	Appels, L.	2	12
1	Kortenski, J.	1	Azzam, R.	2	13
1	Koukouzas, N.	1	Banks, C.J.	2	14
1	Li, Q.	1	Bojadgieva, K.	2	15
1	Liu, G.	1	Burton, E.A.	2	16
1	Nakaten, N.	1	Buscheck, T.A.	2	17
1	Palenzona, D.	1	Cheshire, M.	2	18
1	Rodriguez-Estrada, M.T.	1	Court, B.	2	19
			Degreve, J.	2	20

Percebe-se que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre "CO<sub>2</sub> Sequestration" x "Energy" x "Cleaner Production", apenas 2 deles figuram entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos, assim, melhor atenção deve ser dada a estes 2 autores: Li, Q., Liu e G. Mesmo que a posição ocupada por estes autores em termos de número de publicações seja diferente da posição ocupada em termos de número de citações.

## 26<sup>a</sup> Análise

Resultou da pesquisa das palavras "CO<sub>2</sub> Sequestration" x "Energy" x "GHG" na base Scopus, nas áreas de pesquisa: engenharias, energia, meio ambiente e materiais. Desta pesquisa extraiu-se diretamente os 20 autores que mais publicaram no tema e promoveu-se através do software VOSviewer a busca pelos autores mais citados também no tema, o mapa foi orientado para os autores, incluindo co-citação, somente autores com no mínimo 5 citações/co-citações. Devido ao número de dados encontrados, optou-se por este número de citações e, dos 2.707 autores listados, 24 itens possuem a abrangência estipulada.

Os 20 autores que mais aparecem nos artigos encontrados com as palavras "CO<sub>2</sub> Sequestration" x "Energy" x "GHG" na base Scopus, bem como aqueles mais citados em publicações sobre o tema são:

**ANÁLISE DOS AUTORES QUE RESULTARAM DA BUSCA POR "CO<sub>2</sub> Sequestration" x "Energy" x "GHG" - análise 26**

Posição	Autores que mais publicaram	nº de artigos publicados	Autores mais citados	nº de citações	Posição
1	Chatzis, I.	2	Bachu, S.	12	1
1	Croiset, E.	2	Hulsbergen, k. J.	10	2
1	Douglas, P.L.	2	Gunter, W.D.	9	3
1	Shafeen, A.	2	Masui, T.	8	4
1	Alam, A.	1	Rubin, E.S.	8	5
1	Alves, R.M.B.	1	Benson, S.M.	7	6
1	Antolin, M.C.R.	1	Li, Y.	7	7
1	Antonov, S.V.	1	Rafiee, S.	7	8
1	Arail, S.	1	Jungbluth, N.	6	9
1	Araújo, O.Q.F.	1	Six, J.	6	10
1	Ayash, S.C.	1	Takriff, M.S.	6	11
1	Azzolina, N.A.	1	White, D.J.	6	12
1	Bakulin, D.A.	1	Yaakob, Z.	6	13
1	Birat, J.P.	1	Brown, N.R.	5	14
1	Bird, D.N.	1	Davis, T.	5	15
1	Bonoli, M.	1	Iijima, M.	5	16
1	Broek, S.	1	Kainuma, M.	5	17
1	Brown, N.R.	1	Koide, H.	5	18
1	Byrer, C.W.	1	Rao, A.B.	5	19
1	Caputo, A.	1	Smith, P.	5	20

Percebe-se que dos 20 autores que mais publicaram artigos nos últimos 10 anos sobre "CO<sub>2</sub> Sequestration" x "Energy" x "GHG", nenhum deles figura entre os 20 autores mais citados em trabalhos sobre o tema nos últimos 10 anos, indicando que os autores antigos continuam sendo referência para os novos trabalhos publicados.

Veja-se também o agrupamento das citações destes autores em vários tipos de análise, bem como a sua posição dentro de cada tipo de análise, o número de citações e a força de ligação com outros autores.

Autor	nº de análises em que aparece	Análise	Posição	nº de citações	Força da Ligação
Heijungs, R.	11	LCA	1	3.992	89.791
		GHG	1	1.315	21.050
		Energy x LCA	1	2.080	27.986
		LCA x Cleaner Production	1	46	404
		Energy x LCA x Cleaner Production	1	30	275
		LCA x GHG	2	348	5.010
		Energy x LCA x GHG	2	218	2.403
		Ceramic Tiles x LCA	7	7	66
		Energy x Cleaner Production	9	34	64
		Energy x GHG	11	274	2.337
		Ceramic Tiles x Energy x LCA	17	3	41
Huppés, G.	9	Energy x LCA	3	1.334	18.219
		LCA	4	2.259	49.876
		GHG	6	682	11.007
		LCA x Cleaner Production	6	22	206
		LCA x GHG	7	213	3.542
		Ceramic Tiles x Energy x LCA	7	4	57
		Energy x LCA x GHG	7	143	2.001
		Ceramic Tiles x LCA	8	7	75
		Energy x LCA x Cleaner Production	18	11	123
Frischknecht, R.	7	Energy x LCA	2	1.526	19.374
		LCA	3	2.260	46.939
		GHG	5	734	10.281
		Energy x LCA x GHG	5	157	1.679
		LCA x GHG	6	226	3.092
		Energy x LCA x Cleaner Production	17	11	97
		LCA x Cleaner Production	18	18	147
Hellweg, S.	7	LCA	2	2.426	59.003
		LCA x Cleaner Production	3	27	263
		GHG	4	760	12.542
		Energy x LCA x Cleaner Production	4	19	172
		Energy x LCA	5	1.226	17.990
		LCA x GHG	11	190	2.895
		Energy x LCA x GHG	19	117	1.372
Lenzen, M.	7	Energy x LCA x Cleaner Production	6	17	265
		GHG	7	673	9.524
		LCA x GHG	9	194	2.224
		Energy x GHG	10	278	1.642
		Energy x LCA x GHG	13	130	1.270
		LCA x Cleaner Production	19	18	238
		Energy x LCA	20	732	7.727

<b>Autor</b>	<b>nº de análises em que aparece</b>	<b>Análise</b>	<b>Posição</b>	<b>nº de citações</b>	<b>Força da Ligação</b>
<b>Suh, s.</b>	<b>7</b>	<b>GHG</b>	<b>8</b>	<b>657</b>	<b>12.083</b>
		<b>LCA x GHG</b>	<b>8</b>	<b>210</b>	<b>3.002</b>
		<b>LCA</b>	<b>11</b>	<b>1.795</b>	<b>40.814</b>
		<b>Energy x LCA</b>	<b>11</b>	<b>898</b>	<b>13.165</b>
		<b>LCA x Cleaner Production</b>	<b>14</b>	<b>20</b>	<b>222</b>
		<b>Energy x LCA x GHG</b>	<b>14</b>	<b>129</b>	<b>1.532</b>
		<b>Energy x LCA x Cleaner Production</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>173</b>
<b>Ekvall, t.</b>	<b>6</b>	<b>Energy x LCA</b>	<b>7</b>	<b>1.124</b>	<b>15.484</b>
		<b>LCA</b>	<b>9</b>	<b>1.837</b>	<b>39.306</b>
		<b>LCA x GHG</b>	<b>10</b>	<b>192</b>	<b>2.839</b>
		<b>Energy x LCA x GHG</b>	<b>12</b>	<b>130</b>	<b>1.492</b>
		<b>GHG</b>	<b>15</b>	<b>556</b>	<b>8.759</b>
		<b>LCA x Cleaner Production</b>	<b>20</b>	<b>17</b>	<b>165</b>
<b>Finnveden, g.</b>	<b>6</b>	<b>Energy x LCA</b>	<b>4</b>	<b>1.249</b>	<b>16.327</b>
		<b>LCA</b>	<b>6</b>	<b>2.060</b>	<b>43.330</b>
		<b>LCA x GHG</b>	<b>12</b>	<b>185</b>	<b>2.791</b>
		<b>LCA x Cleaner Production</b>	<b>16</b>	<b>19</b>	<b>149</b>
		<b>GHG</b>	<b>18</b>	<b>540</b>	<b>8.323</b>
		<b>Energy x LCA x GHG</b>	<b>20</b>	<b>116</b>	<b>1.344</b>
<b>Gheewala, s.h.</b>	<b>6</b>	<b>LCA x Cleaner Production</b>	<b>2</b>	<b>27</b>	<b>60</b>
		<b>Energy x LCA x Cleaner Production</b>	<b>5</b>	<b>17</b>	<b>42</b>
		<b>LCA x GHG</b>	<b>15</b>	<b>181</b>	<b>1.634</b>
		<b>Energy x LCA x GHG</b>	<b>15</b>	<b>128</b>	<b>1.017</b>
		<b>Energy x GHG</b>	<b>19</b>	<b>227</b>	<b>1.210</b>
		<b>Energy x Cleaner Production</b>	<b>19</b>	<b>27</b>	<b>119</b>
<b>Guinee, j.b.</b>	<b>6</b>	<b>LCA x Cleaner Production</b>	<b>7</b>	<b>21</b>	<b>195</b>
		<b>Energy x LCA</b>	<b>8</b>	<b>995</b>	<b>13.122</b>
		<b>Energy x LCA x Cleaner Production</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>124</b>
		<b>LCA</b>	<b>12</b>	<b>1.773</b>	<b>39.144</b>
		<b>Ceramic Tiles x Energy x LCA</b>	<b>16</b>	<b>3</b>	<b>25</b>
		<b>Ceramic Tiles x LCA</b>	<b>18</b>	<b>6</b>	<b>39</b>
<b>Horvath, a.</b>	<b>6</b>	<b>LCA x GHG</b>	<b>3</b>	<b>251</b>	<b>1.844</b>
		<b>Energy x LCA x GHG</b>	<b>6</b>	<b>152</b>	<b>1.036</b>
		<b>GHG</b>	<b>12</b>	<b>595</b>	<b>4.631</b>
		<b>Energy x GHG</b>	<b>14</b>	<b>258</b>	<b>1.212</b>
		<b>Energy x LCA</b>	<b>16</b>	<b>784</b>	<b>5.553</b>
		<b>LCA</b>	<b>19</b>	<b>1.278</b>	<b>15.115</b>
<b>Jungbluth, n.</b>	<b>6</b>	<b>LCA x GHG</b>	<b>4</b>	<b>251</b>	<b>3.268</b>
		<b>Energy x LCA x GHG</b>	<b>4</b>	<b>176</b>	<b>1.784</b>
		<b>Energy x LCA</b>	<b>6</b>	<b>1.167</b>	<b>14.829</b>
		<b>GHG</b>	<b>10</b>	<b>643</b>	<b>9.145</b>
		<b>LCA</b>	<b>13</b>	<b>1.735</b>	<b>34.325</b>
		<b>Energy x GHG</b>	<b>20</b>	<b>222</b>	<b>1.231</b>
<b>Cherubini, f.</b>	<b>5</b>	<b>Energy x LCA x GHG</b>	<b>3</b>	<b>199</b>	<b>2.282</b>
		<b>Energy x GHG</b>	<b>5</b>	<b>299</b>	<b>2.249</b>
		<b>LCA x GHG</b>	<b>5</b>	<b>246</b>	<b>3.374</b>
		<b>Energy x GHG x Cleaner Production</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>17</b>
		<b>GHG</b>	<b>20</b>	<b>499</b>	<b>5.914</b>

<b>Autor</b>	<b>nº de análises em que aparece</b>	<b>Análise</b>	<b>Posição</b>	<b>nº de citações</b>	<b>Força da Ligação</b>
Hauschild, m.z.	5	LCA	8	1.866	46.672
		GHG	11	607	10.204
		LCA x Cleaner Production	11	20	212
		Energy x LCA x Cleaner Production	11	13	131
		Energy x LCA	19	734	11.399
Huijbregts, m.a.j.	5	LCA	7	2.038	53.526
		Energy x LCA x Cleaner Production	9	14	136
		Energy x LCA	12	859	12.863
		LCA x Cleaner Production	12	20	180
		GHG	16	549	8.659
Jolliet, o.	5	LCA	5	2.233	57.128
		LCA x Cleaner Production	8	21	214
		GHG	9	649	10.002
		Energy x LCA	10	903	12.331
		Energy x LCA x Cleaner Production	12	13	164
Celades, i.	4	Ceramic Tiles x Energy x LCA	6	4	50
		Ceramic Tiles x LCA	15	6	78
		Ceramic Tiles	17	61	1.515
		Ceramic Tiles x Energy	18	13	310
Christensen, t.h.	4	GHG	13	576	5.111
		LCA x GHG	14	181	1.587
		LCA	16	1.328	21.718
		Energy x LCA	18	755	7.499
Duic, n.	4	Energy x LCA x Cleaner Production	2	25	517
		Energy x GHG x Cleaner Production	2	13	633
		LCA x Cleaner Production	4	25	456
		Energy x Cleaner Production	13	29	695
Hischier, r.	4	Energy x LCA	15	785	11.028
		LCA	17	1.317	26.600
		Ceramic Tiles x LCA	19	6	99
		Energy x LCA x Cleaner Production	20	10	77
Monfort, e.	4	Ceramic Tiles x Energy	1	48	882
		Ceramic Tiles	2	139	2.782
		Ceramic Tiles x Energy x LCA	9	4	50
		Ceramic Tiles x LCA	10	7	77
Wang, m.	4	Energy x GHG	1	606	4.244
		LCA x GHG	1	360	3.315
		Energy x LCA x GHG	1	273	2.122
		GHG	3	821	5.227
Zhang, y.	4	Cleaner Production	4	113	1.499
		Energy x Cleaner Production	4	53	416
		Energy x GHG	9	281	1.529
		GHG	14	557	4.258
Bauer, c.	3	Energy x LCA x GHG	11	133	1.458
		LCA x GHG	13	181	2.571
		Energy x LCA	17	759	10.908

<b>Autor</b>	<b>nº de análises em que aparece</b>	<b>Análise</b>	<b>Posição</b>	<b>nº de citações</b>	<b>Força da Ligação</b>
Dones, r.	3	Energy x LCA	13	828	11.609
		Energy x LCA x GHG	16	124	1.434
		LCA x GHG	18	163	2.392
Feijoo, g.	3	LCA x Cleaner Production	5	24	300
		LCA	18	1.306	29.724
		GHG	19	516	8.233
Goedkoop, m.	3	Energy x LCA x Cleaner Production	8	14	104
		Energy x LCA	9	959	10.984
		LCA	10	1.797	36.923
Huisingh, d.	3	Cleaner Production	1	177	2.590
		Energy x Cleaner Production	2	73	1.173
		Energy x GHG x Cleaner Production	14	4	240
Kim, s.	3	Energy x LCA x GHG	10	134	1.788
		Energy x GHG	15	250	2.295
		LCA x GHG	16	181	2.632
Klemes, j.j.	3	Energy x Cleaner Production	1	97	1.579
		Cleaner Production	2	133	2.249
		Energy x GHG x Cleaner Production	8	7	399
Maclean, h.l.	3	Energy x LCA x GHG	8	142	1.512
		Energy x GHG	13	267	2.078
		LCA x GHG	19	161	2.008
Rafiee, s.	3	Energy x GHG	12	273	519
		Energy x GHG x Cleaner Production	16	4	0
		Energy x LCA x Cleaner Production	19	11	55
Timellini, g.	3	Ceramic Tiles x Energy x LCA	1	8	132
		Ceramic Tiles x LCA	2	10	136
		Ceramic Tiles x Energy	6	18	119
Vujanovic, m.	3	Energy x GHG x Cleaner Production	1	14	700
		Energy x LCA x Cleaner Production	3	21	511
		LCA x Cleaner Production	10	21	448
Zhang, x.	3	Energy x GHG	7	293	1.389
		Energy x Cleaner Production	17	28	278
		Cleaner Production	18	57	635
Almeida, c.m.v.b.	2	Energy x Cleaner Production	12	30	701
		Cleaner Production	14	63	1.086
Amoros, j.l.	2	Ceramic Tiles	8	96	1.314
		Ceramic Tiles x Energy	15	14	186
Azapagic, a.	2	Ceramic Tiles x LCA	5	7	79
		LCA x Cleaner Production	15	19	117
Barbieri, l.	2	Ceramic Tiles	15	64	1.251
		Ceramic Tiles x Energy	20	12	107
Bondioli, f.	2	Ceramic Tiles x LCA	6	7	103
		Ceramic Tiles	20	59	971
Bovea, m.d.	2	Ceramic Tiles x LCA	1	15	174
		Ceramic Tiles x Energy x LCA	4	4	52

<b>Autor</b>	<b>nº de análises em que aparece</b>	<b>Análise</b>	<b>Posição</b>	<b>nº de citações</b>	<b>Força da Ligação</b>
Busani, g.	2	Ceramic Tiles x Energy x LCA	5	4	80
		Ceramic Tiles x LCA	14	6	97
Dale, b.e.	2	Energy x LCA x GHG	18	119	1.650
		LCA x GHG	20	158	2.375
Doka, g.	2	Energy x LCA	14	822	11.724
		LCA	20	1.247	27.461
Gallardo, a.	2	Ceramic Tiles x Energy x LCA	14	3	48
		Ceramic Tiles x LCA	17	6	88
Garcia-ten, j.	2	Ceramic Tiles	7	97	2.291
		Ceramic Tiles x Energy	11	16	279
Geng, y.	2	Cleaner Production	8	99	1.804
		Energy x Cleaner Production	18	27	198
Giannetti, b.f.	2	Cleaner Production	10	73	1.236
		Energy x Cleaner Production	14	29	688
Islam, h.	2	Ceramic Tiles x Energy x LCA	3	5	40
		Ceramic Tiles x LCA	9	7	63
Jollands, m.	2	Ceramic Tiles x Energy x LCA	8	4	36
		Ceramic Tiles x LCA	20	5	53
Klemes, j.	2	Energy x Cleaner Production	7	38	411
		Energy x LCA x Cleaner Production	13	12	26
Lal, r.	2	GHG	17	542	4.299
		Energy x GHG	17	232	1.462
Liu, y.	2	Cleaner Production	6	103	1.254
		Energy x Cleaner Production	11	33	175
Mikulcic, h.	2	Energy x GHG x Cleaner Production	3	11	583
		Energy x LCA x Cleaner Production	7	16	435
Notarnicola, b.	2	Ceramic Tiles x Energy x LCA	10	4	50
		Ceramic Tiles x LCA	11	7	92
Palmonari, c.	2	Ceramic Tiles x Energy x LCA	2	7	122
		Ceramic Tiles x LCA	4	8	122
Sanchez, e.	2	Ceramic Tiles	3	117	2.499
		Ceramic Tiles x Energy	3	22	89
Smith, p.	2	GHG	2	837	6.392
		Energy x GHG	3	322	1.380
Tassielli, g.	2	Ceramic Tiles x Energy x LCA	12	4	50
		Ceramic Tiles x LCA	13	7	92
Tilman, d.	2	Energy x GHG	6	295	2.767
		Energy x GHG x Cleaner Production	18	4	0
Van berkel, r.	2	Cleaner Production	3	115	595
		Energy x Cleaner Production	3	63	113
Varbanov, p.s.	2	Energy x Cleaner Production	6	42	987
		Energy x GHG x Cleaner Production	19	4	240
Vazquez-rowe, i.	2	LCA x Cleaner Production	9	21	293
		Energy x LCA x Cleaner Production	15	12	61
Wang, y.	2	Energy x Cleaner Production	5	45	255
		Cleaner Production	7	103	1.205

Autor	nº de análises em que aparece	Análise	Posição	nº de citações	Força da Ligação
Worrell, e.	2	Energy x GHG x Cleaner Production	9	6	148
		Energy x Cleaner Production	15	28	301
Zhang, l.	2	Energy x Cleaner Production	16	28	256
		Cleaner Production	17	58	1.023
Aden, a.	1	Energy x LCA x GHG	9	135	1.827
Akbari, h.	1	Ceramic Tiles x Energy	5	19	131
Alastuey, a.	1	Ceramic Tiles	16	61	1.549
Amritphale, s.s.	1	Ceramic Tiles x Energy	4	20	210
Anton, a.	1	Energy x LCA x Cleaner Production	16	11	93
Bonilla, s.h.	1	Cleaner Production	15	62	1.057
Borjesson, p.	1	Energy x LCA x GHG	17	121	1.073
Chandra, n.	1	Ceramic Tiles x Energy	9	16	200
Chen, j.	1	Energy x GHG x Cleaner Production	12	4	103
Commission, e.	1	Ceramic Tiles x LCA	16	6	84
Das, s.k.	1	Ceramic Tiles x Energy	19	13	51
De britto, j.	1	Ceramic Tiles	13	71	96
De koning, a.	1	Ceramic Tiles x Energy x LCA	13	3	41
Dondi, m.	1	Ceramic Tiles	1	187	4.206
El-halwagi, m.m.	1	Energy x Cleaner Production	8	37	841
Escardino, a.	1	Ceramic Tiles x Energy	10	16	179
Esposito, l.	1	Ceramic Tiles	10	88	2.350
Faaij, a.	1	Energy x GHG	2	353	2.414
Faaij, a.p.c.	1	Energy x GHG	16	243	1.987
Ferrari, a.m.	1	Ceramic Tiles x LCA	3	8	114
Friedler, f.	1	Cleaner Production	12	66	2.299
Fuss, s.	1	Energy x GHG x Cleaner Production	4	8	136
Gomar, s.	1	Ceramic Tiles x Energy x LCA	15	3	30
Govindan, k.	1	Cleaner Production	13	65	1.277
Guarini, g.	1	Ceramic Tiles	5	102	2.921
Hasanbeigi, a.	1	Energy x GHG x Cleaner Production	13	4	240
Hauschild, m.	1	LCA	15	1.338	30.028
Hill, j.	1	Energy x GHG	8	284	2.699
Huang, g.h.	1	Energy x GHG	4	320	311
Jungmeier, g.	1	Energy x GHG x Cleaner Production	11	5	17
Kumar, a.	1	Energy x GHG	18	228	973
Labrincha, j.a.	1	Ceramic Tiles	19	60	817
Lawrence, j.	1	Ceramic Tiles x Energy	12	15	120
Li, j.	1	Cleaner Production	19	56	602
Li, l.	1	Ceramic Tiles x Energy	7	17	134
Li, x.	1	Cleaner Production	16	62	729
Li, y.	1	Cleaner Production	20	55	752
Mallol, g.	1	Ceramic Tiles x Energy	13	15	243
Manfredini, t.	1	Ceramic Tiles	11	85	2.026
Margni, m.	1	LCA	14	1.545	40.571
Matthews, h.s.	1	LCA x GHG	17	176	1.569
Mezquita, a.	1	Ceramic Tiles x Energy	2	23	546
Moreira, m.t.	1	LCA x Cleaner Production	13	20	290
Moreno, a.	1	Ceramic Tiles x Energy	16	14	82



Autor	nº de análises em que aparece	Análise	Posição	nº de citações	Força da Ligação
Nicoletti, g.m.	1	Ceramic Tiles x Energy x LCA	18	3	48
Nie, z.r.	1	LCA x Cleaner Production	17	19	27
Obersteiner, m.	1	Energy x GHG x Cleaner Production	5	8	136
Pini, m.	1	Ceramic Tiles x LCA	12	7	105
Price, l.	1	Energy x GHG x Cleaner Production	15	4	140
Querol, x.	1	Ceramic Tiles	12	76	1.832
Raimondo, m.	1	Ceramic Tiles	4	106	2.971
Remmen, a.	1	Energy x GHG x Cleaner Production	6	8	0
Rincon, j.m.	1	Ceramic Tiles	14	70	1.026
Romero, m.	1	Ceramic Tiles	6	98	2.270
Saidur, r.	1	Energy x GHG x Cleaner Production	17	4	192
Santamouris, m.	1	Ceramic Tiles x Energy	14	15	127
Sarkis, j.	1	Cleaner Production	5	108	1.707
Serrano, j.	1	Ceramic Tiles x Energy x LCA	19	3	48
Setunge, s.	1	Ceramic Tiles x Energy x LCA	11	4	36
Siligardi, c.	1	Ceramic Tiles x Energy	17	14	82
Staniskis, j.k.	1	Energy x Cleaner Production	20	27	148
Szolgayova, j.	1	Energy x GHG x Cleaner Production	7	8	136
Tucci, a.	1	Ceramic Tiles	9	91	2.400
Ulgiati, s.	1	Energy x Cleaner Production	10	34	927
Vaquer, e.	1	Ceramic Tiles x Energy	8	17	423
Wang, j.	1	Cleaner Production	11	68	838
Zanelli, c.	1	Ceramic Tiles	18	61	1.866
Zhu, q.	1	Cleaner Production	9	81	1.421

Em uma segunda forma de promover a análise bibliométrica, ainda na base Scopus, extraiu-se dos artigos selecionados conforme explicitado no início (artigos que contemplem as palavras chaves envolvidas no tema do trabalho de forma individual e também de forma agrupada duas a duas e três a três), os periódicos nos quais os mesmos foram publicados. Estes periódicos foram classificados seguindo a classificação da plataforma Scopus e ainda pelo seu fator de impacto (JCR) da plataforma Scopus.

Periódico	Classificação do Periódico	Fator de Impacto do Periódico (JCR)	Termos de Pesquisa	nº de artigos
ACS Applied Materials And Interfaces	A1 – Engenharias III	5,410	Energy	3.258
Agricultural and Biological Sciences	B2 – Engenharias III	não encontrado	LCA - Life Cycle Assessment	99
Agriculture Ecosystems And Environment	não encontrado na plataforma Scopus	4,099	GHG - Greenhouse Gases	119
Applied Energy	A1 – Engenharias III	7,182	Cleaner Production	14
			Energy	5.329
			GHG - Greenhouse Gases	185
			LCA - Life Cycle Assessment	185

Periódico	Classificação do Periódico	Fator de Impacto do Periódico (JCR)	Termos de Pesquisa	nº de artigos
Applied Surface Science	A2 – Engenharias III	3,387	Energy	4.987
Applied Thermal Engineering	A1 – Engenharias III	3,356	Energy	2.815
Atmospheric Environment	A1 – Engenharias III	3,629	GHG - Greenhouse Gases	56
Biomass And Bioenergy	A2 – Engenharias III	3,219	GHG - Greenhouse Gases	133
			LCA - Life Cycle Assessment	218
Bioresource Technology	A1 – Engenharias III	5,651	Cleaner Production	11
			Energy	2.840
Boletin De La Sociedad Espanola De Ceramica Y Vidrio	B2 – Engenharias III	0,560	Ceramic Tiles	43
Business Strategy And The Environment	não encontrado na plataforma Sucupira	não encontrado	Cleaner Production	4
Business, Management and Accounting	não encontrado na plataforma Sucupira	não encontrado	LCA - Life Cycle Assessment	135
Ceramica	não encontrado na plataforma Sucupira	não encontrado	Ceramic Tiles	33
Ceramics International	A1 – Engenharias III	2,986	Ceramic Tiles	41
CFI Ceramic Forum International	B2 – interdisciplinar	não encontrado	Ceramic Tiles	34
Chemical Engineering	B1 – Biodiversidade	6,216	LCA - Life Cycle Assessment	101
Chemistry	B1 – Engenharias III	não encontrado	LCA - Life Cycle Assessment	139
Chung Kuo Tsao Chih China Pulp And Paper	não encontrado na plataforma Sucupira	não encontrado	Cleaner Production	14
CIM Magazine	não encontrado na plataforma Sucupira	não encontrado	Cleaner Production	4
Clean Soil Air Water	não encontrado na plataforma Sucupira	1,560	Cleaner Production	4
Clean Technologies And Environmental Policy	B3 – Engenharias III	3,331	Cleaner Production	15
Climate Policy	A2 – Engenharias III	não encontrado	GHG - Greenhouse Gases	74
Climatic Change	A1 – Engenharias III	3,496	GHG - Greenhouse Gases	92
Construction And Building Materials	A1 – Engenharias III	3,169	Ceramic Tiles	18
Economics, Econometrics and Finance	não encontrado na plataforma Sucupira	não encontrado	LCA - Life Cycle Assessment	114
Energy	A1 – Engenharias III	4,520	Cleaner Production	9
			Energy	5.957
			GHG - Greenhouse Gases	177
			LCA - Life Cycle Assessment	562
Energy And Buildings	A1 – Engenharias III	4,067	Ceramic Tiles	6
			Energy	3.978
Energy Conversion And Management	A1 – Engenharias III	5,589	Energy	3.163
Energy Policy	A2 – Engenharias III	4,140	Energy	6.087
			GHG - Greenhouse Gases	367
Engineering	C – Engenharias III	não encontrado	LCA - Life Cycle Assessment	532
Environmental And Resource Economics	não encontrado na plataforma Sucupira	1,582	Cleaner Production	6

Periódico	Classificação do Periódico	Fator de Impacto do Periódico (JCR)	Termos de Pesquisa	nº de artigos
Environmental Research Letters	A1 – interdisciplinar	5,080	GHG - Greenhouse Gases	82
Environmental Science	B3 - interdisciplinar (American Journal)	2,937	LCA - Life Cycle Assessment	1.195
Environmental Science And Pollution Research	B1 – Engenharias III	2,741	Cleaner Production	5
Environmental Science And Technology	A1 – Engenharias III	4,430	GHG - Greenhouse Gases	201
			LCA - Life Cycle Assessment	252
Gcb Bioenergy	B1 – interdisciplinar	não encontrado	GHG - Greenhouse Gases	68
Gestao e Producao	não encontrado na plataforma Sucupira	não encontrado	Cleaner Production	6
Glass And Ceramics English Translation Of Steklo I Keramika	não encontrado na plataforma Sucupira	não encontrado	Ceramic Tiles	10
Global Change Biology	A1 – Engenharias III	10,140	GHG - Greenhouse Gases	53
Industrie Ceramique Et Verriere	não encontrado na plataforma Sucupira	não encontrado	Ceramic Tiles	10
Informes De La Construccion	não encontrado na plataforma Sucupira	0,227	Ceramic Tiles	6
Interceram International Ceramic Review	não encontrado na plataforma Sucupira	não encontrado	Ceramic Tiles	31
International Journal Of Applied Ceramic Technology	A2 – Engenharias III	1,048	Ceramic Tiles	10
International Journal Of Hydrogen Energy	B1 – Engenharias III	3,582	Energy	13.616
International Journal Of Life Cycle Assessment	A2 – Engenharias III	3,710	Cleaner Production	10
			GHG - Greenhouse Gases	92
			LCA - Life Cycle Assessment	730
Journal Of Alloys And Compounds	A2 – Engenharias III	3,133	Energy	6.512
Journal Of AOAC International	B1 - engenharias I	não encontrado	Ceramic Tiles	10
Journal Of Ceramic Processing Research	B1 - engenharias II	não encontrado	Ceramic Tiles	8
Journal Of Cleaner Production	A1 – Engenharias III	5,715	Ceramic Tiles	17
			Cleaner Production	391
			GHG - Greenhouse Gases	326
			LCA - Life Cycle Assessment	1.101
Journal Of Environmental Management	A2 – Engenharias III	4,010	Ceramic Tiles	6
			Cleaner Production	9
			GHG - Greenhouse Gases	55
Journal Of Hazardous Materials	A1 – Engenharias III	6,065	Ceramic Tiles	6
Journal Of Industrial Ecology	B5 – Interdisciplinar	3,060	Cleaner Production	12
			GHG - Greenhouse Gases	86
			LCA - Life Cycle Assessment	202
Journal Of Materials Chemistry A	A1 - engenharias II	8,867	Energy	2.897
Journal Of Physical Chemistry B	A2 - engenharias II	4,536	Energy	4.593
Journal Of Physical Chemistry C	A1 – Engenharias III	4,460	Energy	9.902

<b>Periódico</b>	<b>Classificação do Periódico</b>	<b>Fator de Impacto do Periódico (JCR)</b>	<b>Termos de Pesquisa</b>	<b>nº de artigos</b>
Journal Of Physics Condensed Matter	não encontrado na plataforma Sucupira	1,830	Energy	3.504
Journal Of Power Sources	A1 – Engenharias III	6,395	Energy	3.564
Journal Of The European Ceramic Society	A1 – Engenharias III	3,411	Ceramic Tiles	28
Journal Of The Korean Ceramic Society	não encontrado na plataforma Sucupira	não encontrado	Ceramic Tiles	6
Materials And Design	C – Engenharias III	4,364	Ceramic Tiles	7
Materials Letters	A2 – Engenharias III	2,572	Energy	2.567
Materials Science	B2 – Engenharias III	não encontrado	LCA - Life Cycle Assessment	151
Mitigation And Adaptation Strategies For Global Change	A2 – interdisciplinar	3,085	GHG - Greenhouse Gases	55
Nippon Seramikkusu Kyokai Gakujutsu Ronbunshi Journal Of The Ceramic Society Of Japan	não encontrado na plataforma Sucupira	não encontrado	Ceramic Tiles	7
Physica B Condensed Matter	B1 – Engenharias III	1,386	Energy	2.699
Physical Review B Condensed Matter And Materials Physics	A1 – Engenharias III	3,600	Energy	13.151
Producao	não encontrado na plataforma Sucupira	não encontrado	Cleaner Production	7
Renewable And Sustainable Energy Reviews	A1 – Engenharias III	8,050	GHG - Greenhouse Gases	94
Renewable Energy	A2 – Engenharias III	4,357	Cleaner Production	8
			Energy	3.893
			GHG - Greenhouse Gases	71
Resources Conservation And Recycling	não encontrado na plataforma Sucupira	3,313	Cleaner Production	16
			LCA - Life Cycle Assessment	176
Science Of The Total Environment	A1 – Engenharias III	4,900	GHG - Greenhouse Gases	111
			LCA - Life Cycle Assessment	152
Shengtai Xuebao Acta Ecologica Sinica	não encontrado na plataforma Sucupira	não encontrado	Cleaner Production	7
Social Sciences	B3 – Engenharias III	não encontrado	LCA - Life Cycle Assessment	157
Sustainability Switzerland	não encontrado na plataforma Sucupira	não encontrado	Cleaner Production	7
			LCA - Life Cycle Assessment	102
Waste Management	A1 – Engenharias III	4,030	LCA - Life Cycle Assessment	146