

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

ISADORA VIGANO LATTMANN

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UM EDIFÍCIO NO CONTEXTO  
DA CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL LEED**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2019

ISADORA VIGANO LATTMANN

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UM EDIFÍCIO NO CONTEXTO  
DA CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL LEED**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, do Departamento Acadêmico de Construção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. André Nagalli

CURITIBA

2019

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

### **AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UM EDIFÍCIO NO CONTEXTO DA CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL LEED**

Por

**ISADORA VIGANO LATTMANN**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido no segundo semestre de 2019 e aprovado pela seguinte banca de avaliação presente:

---

Orientador – André Nagalli, Dr.  
UTFPR

---

Profa. Elisabeth Penner, Dra.  
UTFPR

---

Prof. Alexandre Erbs, MSc.  
IFSC

---

OBS.: O documento assinado encontra-se em posse da coordenação do curso

---

"Mas o homem é parte da natureza e sua guerra contra ela é, inevitavelmente, uma guerra contra si."

(CARSON, Rachel, 1964)

## RESUMO

LATTMANN, Isadora Vigano. **Avaliação do Ciclo de Vida de um Edifício no Contexto da Certificação Ambiental LEED**. 2019. 41. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Garantir o controle das emissões de poluentes causadas pela construção e vida útil de edifícios é um grande passo para reduzir os impactos ambientais decorrentes da construção civil. Neste trabalho foi realizada uma Avaliação de Ciclo de Vida de um edifício real buscando atingir os requisitos do crédito de Redução do Impacto do Ciclo de Vida da Certificação LEED. Foi utilizado o *software* eToolLCD, voltado para a ACV em edificações para realizar a análise. Foi proposto um edifício base com o qual o edifício real foi comparado, a fim de se verificar a redução do potencial de impactos nas sete categorias de impacto analisadas. O edifício base foi adaptado para melhor representar o padrão construtivo de mercado, a fim de demonstrar como as escolhas de materiais e *design* do edifício real contribuem para o impacto ambiental em uma abordagem de ciclo de vida no contexto da certificação LEED. O edifício real apresentou redução do impacto em todas as categorias analisadas, apenas com a substituição de lajes maciças por lajes nervuradas e utilização de aço com alto teor de conteúdo reciclado. Conclui-se que o edifício tem potencial para conquistar pontos na certificação ambiental LEED através da ACV.

**Palavras-chave:** ACV. Sustentabilidade. Impacto ambiental. Certificação Ambiental.

## ABSTRACT

LATTMANN, Isadora Vigano. **Life Cycle Assessment of a Building in the Context of the LEED Environmental Certification**. 2019. 41. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Civil – Federal Technology University - Parana. Curitiba, 2019.

Ensuring the control of pollutant emissions caused by the construction and service life of buildings is an important step to reduce environmental impacts associated with the construction industry. In this study, a Life Cycle Assessment of an actual building was performed, aiming to achieve the requirements for the Life Cycle Impacts Reduction credit of the LEED certification. The *software* eToolLCD, developed for LCA of constructions, was used to perform the analysis. A baseline building was proposed, with which the LCD of the real building was compared, in order to validate the reduction of the potential impact on the analyzed impact categories. The baseline building was adapted to better represent the building market standards, to demonstrate how the materials and *design* choices for the real building contributed to the environmental impact in a life cycle approach in the context of the LEED certification through the LCA. The real building presented impact reduction in all seven analyzed impact categories, just with the use of waffle-slabs instead of solid concrete slabs, and by using steel with a higher recycled content percentage. Therefore, the building has potential to achieve the points of the LCA credit of the LEED certification.

**Keywords:** LCA. Sustainability. Environmental impact. Environmental Certification.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fronteiras do Sistema da ACV .....	13
Figura 2 – Fases do sistema construtivo em uma análise energética do ciclo de vida .....	17
Gráfico 1 - Emissões de GEE em GtCO <sub>2</sub> eq. associadas à produção de materiais (esquerda) e a utilização dos materiais produzidos (direita) .....	12

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantitativo de Elementos Estruturais – Edifício Proposto .....	24
Tabela 2 – Quantitativo de Elementos de Fechamento – Edifício Proposto.....	25
Tabela 3: Quantitativo de Formas de EPS para Laje Nervurada.....	26
Tabela 4 – Quantitativo de Elementos Estruturais – Edifício Proposto .....	27
Tabela 5 – Totais de Impactos potenciais por m <sup>2</sup> de Área Construída .....	29
Tabela 6 – Potencial de Aquecimento Global em kg CO <sub>2</sub> eq. ....	30
Tabela 7 – Potencial de Depleção da Camada de Ozônio em kg CFC-11 eq.....	31
Tabela 8 – Potencial de Acidificação do Solo e Água em kg SO <sub>2</sub> eq.....	32
Tabela 9 – Potencial de Eutrofização em PO <sub>4</sub> --- eq. ....	32
Tabela 10 – Potencial de Criação de Ozônio Fotoquímico em kg etileno .....	33
Tabela 11 – Potencial de Depleção Abiótica – Elementos em kg antimônio.....	34
Tabela 12 – Potencial de Depleção Abiótica – Combustíveis Fósseis em MJ .....	35



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1 OBJETIVOS.....	11
1.1.1 Objetivo Geral.....	11
1.1.2 Objetivos Específicos.....	11
1.2 JUSTIFICATIVA.....	11
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>13</b>
2.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA .....	13
2.1.1 Métodos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida .....	15
2.1.2 ACV na Construção Civil .....	16
2.1.3 Certificação LEED.....	18
2.1.4 ACV na Certificação LEED .....	19
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
3.1 DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO .....	22
3.2 ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	22
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>24</b>
4.1 PARAMETRIZAÇÃO DOS MODELOS .....	24
4.1.1 Edifício Proposto.....	24
4.1.2 Edifício Base.....	26
4.2 RESULTADOS DA ACV .....	28
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>36</b>
<b>ANEXO A - Auto declaração de Conteúdo Reciclado do Fornecedor de Aço</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Controlar as emissões de Gases Efeito Estufa (GEE) está se tornando uma obrigação mundial, visto que os acordos internacionais baseados em créditos de carbono estão cada vez mais consolidados. No Brasil, ainda há muito a ser feito, principalmente devido aos recentes aumentos nos níveis de desmatamento. Considerando as emissões resultantes da Mudança no Uso da Terra, estima-se que o Brasil é o maior emissor de gases efeito estufa entre os membros do G20 (UNEP, 2019).

Ao longo da última década as emissões de CO<sub>2</sub> equivalente aumentaram ano após ano, chegando à máxima de 55,3 giga toneladas de CO<sub>2</sub> eq. em 2018. De acordo com o Relatório sobre a Lacuna de Emissões 2019, divulgado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), mesmo que todas as medidas definidas pelo Acordo de Paris fossem implementadas, ainda estaríamos enfrentando um aumento de 3,2°C da temperatura terrestre até 2050 (UNEP, 2019).

A construção civil é conhecidamente um dos setores que mais gera impactos ambientais no Brasil e no mundo, porém ainda se caracteriza por ser um mercado com grande resistência a mudanças de conceito e nas tradições de execução. Apesar disso, a consciência em relação às questões ambientais é cada vez maior, visto que abordagens ecológicas estão ganhando força econômica em produtos e serviços (ORITZ *et al.*, 2009).

Estima-se que construção de edifícios e infraestrutura causou a emissão de 7 GtCO<sub>2</sub> eq. de GEE em 2015, dos quais 4 GtCO<sub>2</sub> eq. são associados aos materiais empregados (UNEP, 2019). O consumo de materiais que necessitam de intensa energia para a produção é inerente às construções. Conforme novas tecnologias construtivas e materiais surgem, é possível reduzir significativamente as emissões de gases nocivos ao meio ambiente relacionadas às atividades construtivas.

Ferramentas de controle de processos, impulsionadas pela valorização de mercado em projetos com conceitos ambientais e pela crescente busca por soluções sustentáveis na construção civil, estão sendo rapidamente consolidadas. É o caso das certificações ambientais, que por serem processos replicáveis e apresentarem resultados mensuráveis, ganharam na última década grande visibilidade (KOEDEL, *et al.*, 2015). As certificações ambientais para a construção representam uma importante maneira de medir os impactos causados pelos edifícios, principalmente

quando estas incorporam análises relacionadas ao ciclo de vida da edificação. Nesse contexto, está inserido o crédito da certificação norte-americana *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), que apresenta a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) como ferramenta de quantificação de impactos para balizar decisões de *design* e materiais utilizados na construção de edifícios.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho visa analisar a abordagem de uma ACV no contexto da certificação ambiental LEED, como ferramenta de *design* sustentável na construção civil, visando à redução do impacto ambiental causado pelo edifício desde a construção até o fim de sua vida útil.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Constituem-se objetivos específicos deste trabalho:

- Realizar a ACV de um edifício nos parâmetros da certificação LEED;
- Avaliar se o edifício atende aos requisitos do crédito de ACV da certificação LEED;
- Avaliar a ACV como ferramenta de *design* sustentável na construção civil;

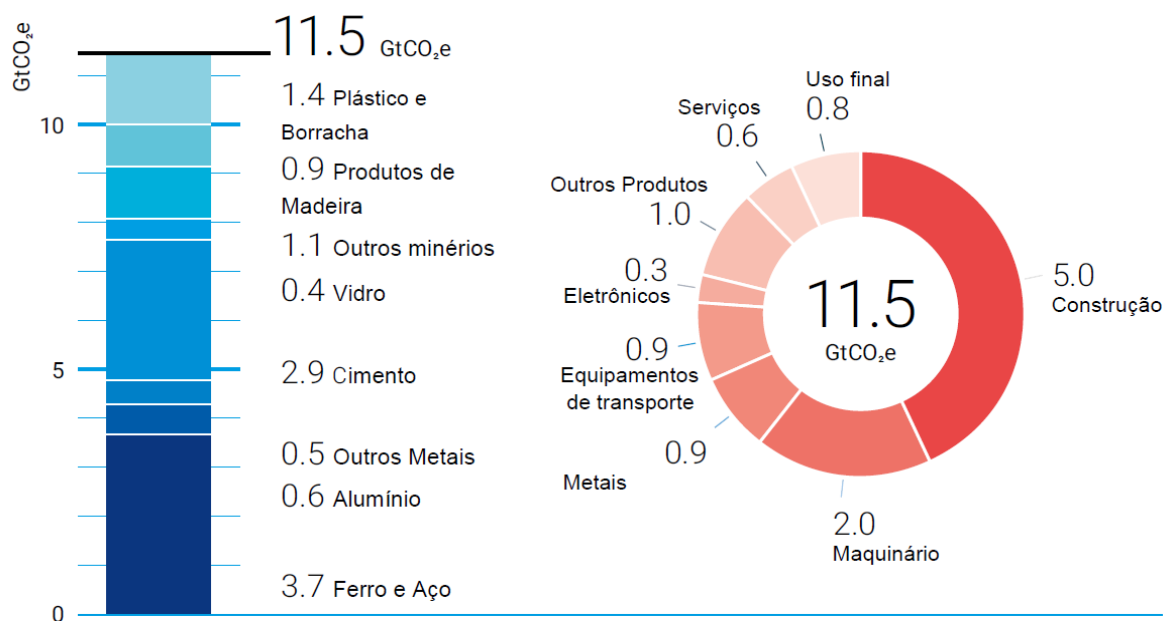
## 1.2 JUSTIFICATIVA

A construção civil, sendo responsável por uma parcela relevante do PIB brasileiro (SOUZA *et al.*, 2015), também contribui significativamente no uso de recursos e materiais (BARBISAN *et al.*, 2012). O uso consciente e manejo correto de recursos são primordiais para alcançarmos um futuro com perspectivas melhores.

Atitudes cada vez mais drásticas, de todas as nações, são necessárias para combater as mudanças climáticas decorrentes do aumento das emissões de GEE. O primeiro passo é quantificar as emissões nos setores econômicos e redefinir os

meios de produção para atingir os níveis de emissões consolidados através de acordos internacionais. Os materiais empregados na construção civil são responsáveis por grande parte das emissões de produtos fabricados mundialmente (UNEP, 2019), como é mostrado no Gráfico 1.

**Gráfico 1 - Emissões de GEE em GtCO<sub>2</sub> eq. associadas à produção de materiais (esquerda) e a utilização dos materiais produzidos (direita)**



Fonte: *Emissions Gap Report 2019* (UNEP, 2019). Traduzido pela Autora.

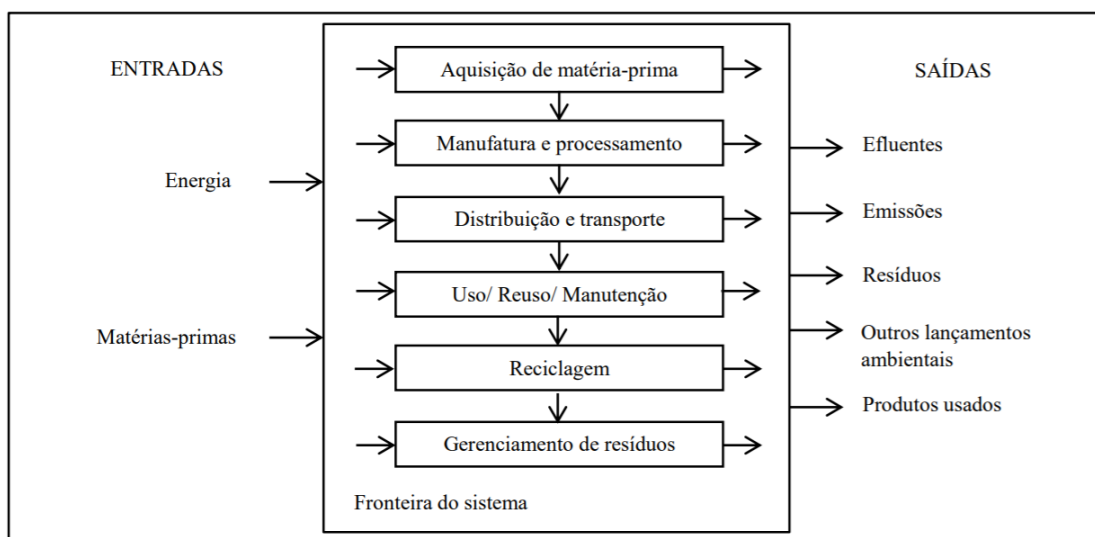
Faz-se então necessário utilizar de novas tecnologias e ferramentas, como a Análise de Ciclo de Vida, que permitem a quantificação e qualificação dos impactos causados por produtos, aplicados à construção.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A ACV é um método científico normatizado que mensura o impacto ambiental de um produto ou serviço em todas as suas fases de vida. O impacto pode ser demonstrado através de diversos indicadores, tais como: uso de energia ou água, emissão de dióxido de carbono ou outros gases nocivos, acidificação de recursos hídricos, emissão de radiação, entre outros. Isso permite que produtos diferentes possam ser comparados quanto aos seus impactos em diferentes abordagens (THE LCA CENTRE).

**Figura 1 – Fronteiras do Sistema da ACV**



**Fonte: Florindo et al., 2015**

Os primeiros estudos de ACV datam do final da década de 60 e início da década de 70. Apesar disso, foi somente entre 1990 e os anos 2000 que a ferramenta passou pelo processo de normatização, até estar desenvolvida como hoje é aplicada, através das organizações ISO e SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) nos Estados Unidos. A primeira década do século 21 foi de intensa produção científica e crescimento das metodologias em ACV, decorrente da crescente demanda de mercado (GUINÉE, 2012).

De acordo com a ISO 14044: *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines* (adaptada no Brasil pela ABNT NBR

ISO 14044: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações) uma ACV é composta de 4 etapas principais, são elas:

- **Objetivos e Definição do Escopo:** Uma ACV modela o ciclo de vida de um produto, serviço ou sistema, isso implica em simplificar uma realidade muito complexa e, como em toda simplificação, existem distorções da realidade. Dessa forma, definir um objetivo e um escopo que não interfiram nos resultados virtuais em grande escala é de suma importância. Neles são descritas as escolhas de simplificação, os motivos pelo qual está sendo realizada a análise em questão, a definição precisa do produto e seu ciclo de vida e uma descrição dos limites do sistema.

- **Análise do Inventário de Extrações e Emissões:** Nessa etapa são definidas as entradas e saídas ambientais associadas com um produto ou serviço, tais como uso de matéria prima e energia, emissão de poluentes e fluxo de resíduos.

- **Análise do Impacto:** São feitas as conclusões que permitem tomar decisões quanto ao objeto de análise. Classificação dos impactos ambientais, de acordo com o que é mais relevante para o escopo definido, e a tradução desses impactos em termos de problemas ambientais tais como aquecimento global ou saúde pública.

- **Interpretação:** É nesta etapa que são feitas as verificações previstas em norma, para garantir que as conclusões feitas a partir da ACV estão de acordo com os dados e procedimentos utilizados. Isso permite que os resultados e decisões possam ser compartilhados e comparados com outras análises.

Toda a análise é feita utilizando *softwares* específicos, voltados para o produto ou serviço em análise, e seguindo as orientações da ISO 14044. A ISO 14040:2006 ainda separa o impacto ambiental em três categorias: Danos ao meio ambiente, danos à saúde humana e Consumo de recursos.

Assim como em qualquer modelo complexo, premissas e um grau de incertezas são inerentes à uma ACV, e seria um equívoco esperar que a ACV fosse uma ferramenta perfeita para estimar potenciais impactos ambientais e comparar performances relativas de alternativas. É importante frisar que não existe maneira de avaliar com absoluta certeza os impactos ambientais no ciclo de vida de uma cadeia de valor altamente complexa e ampla. Essa incerteza está ligada diretamente ao dimensionamento dos fluxos em uma unidade funcional, à dificuldade de prever as condições futuras, como no fim da vida útil do objeto de estudo, e a inviabilidade de

termos todas as possíveis frações dos dados de entrada com o mesmo nível de qualidade ao longo de toda a cadeia de valor. Apesar disso, os resultados de uma análise bem feita raramente apontam para a direção errada, e uma decisão baseada em resultados de uma ACV é certamente preferível à uma decisão arbitrária (O'CONNOR *et al.*, 2012).

ACV é uma excelente ferramenta para estimar e avaliar performance entre diversas opções. Não é sobre determinar se um produto é considerado ecológico ou não, mas sim quantificar impactos e definir como, e onde, podemos melhorar (O'CONNOR *et al.*, 2012).

No Brasil, o Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro) estabeleceu o Programa Brasileiro de Avaliação de Ciclo de Vida (PBACV). A primeira resolução do programa tem como objetivo “aplicar no país um sistema reconhecido em âmbito internacional, capaz de organizar, armazenar e disseminar informações padronizadas sobre Inventários do Ciclo de Vida (ICV) da produção industrial brasileira” (CONMETRO, 2010).

Uma ACV de qualidade requer um inventário de dados de qualidade, e esta é a maior dificuldade encontrada para as análises, principalmente no âmbito nacional. Segundo estudo realizado por Braga *et al.* (2016), apenas 29% dos entrevistados, que conduziram algum estudo em ACV, doariam seus dados para o banco, porém, mais da metade também afirmou que, caso fossem adotadas medidas de confidencialidade, poderiam ceder os inventários. O estudo ainda aponta que para 90% deles a maior fraqueza do cenário nacional é a falta de dados.

### 2.1.1 Métodos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida

Existem diversos métodos para avaliar os impactos do ciclo de vida. Reich-Weiser *et al.* (2010) classificou as metodologias de ACV em três categorias: ACV de processo, ACV de entrada e saída e ACV híbrida. A ACV de processos é a mais comumente utilizada em estudos de caso, em que processos incluídos na manufatura de um produto são estudados. A de entrada e saída utiliza dados da indústria em conjunto com Tabelas econômicas para uma análise em termos de “impactos por dólar vendido” pelo produto ou processo analisado. Por fim, a ACV de

tipo híbrido utiliza as duas metodologias para lapidar os dados em favor de uma análise mais realista.

Para todas as metodologias, os resultados obtidos na análise de impacto devem ser agregados em um resultado de indicador. A normalização, agrupamento, atribuição de pesos e outras análises qualitativas das avaliações do ciclo de vida dos impactos (ACVI) são opcionais. Para as ACVI existem basicamente dois métodos: orientados ao problema (*midpoint*) e orientados aos danos (*endpoint*) (ORITZ *et al.*, 2009).

Conforme descreve Ortiz *et al.* (2009), as abordagens de *midpoint* envolvem os impactos ambientais associados às mudanças climáticas, acidificação, eutrofização, potencial criação de ozônio fotoquímico e toxicidade humana, e os impactos podem ser avaliados utilizando os métodos CML (2001), EDIP 97 & EDIP 2003 e o IMPACT 2002+. As abordagens de *endpoint* classificam os fluxos em diversos temas ambientais, modelando os danos que cada um deles causam aos seres humanos, meio ambiente e recursos. Para essas abordagens são utilizados os métodos Ecoindicator 99 e IMPACT 2002+.

### 2.1.2 ACV na Construção Civil

Construir de maneira sustentável não se limita somente a utilizar materiais considerados verdes ou fontes de energia renovável na ocupação. É necessário avaliar também os impactos incorporados fisicamente em uma edificação durante sua vida útil.

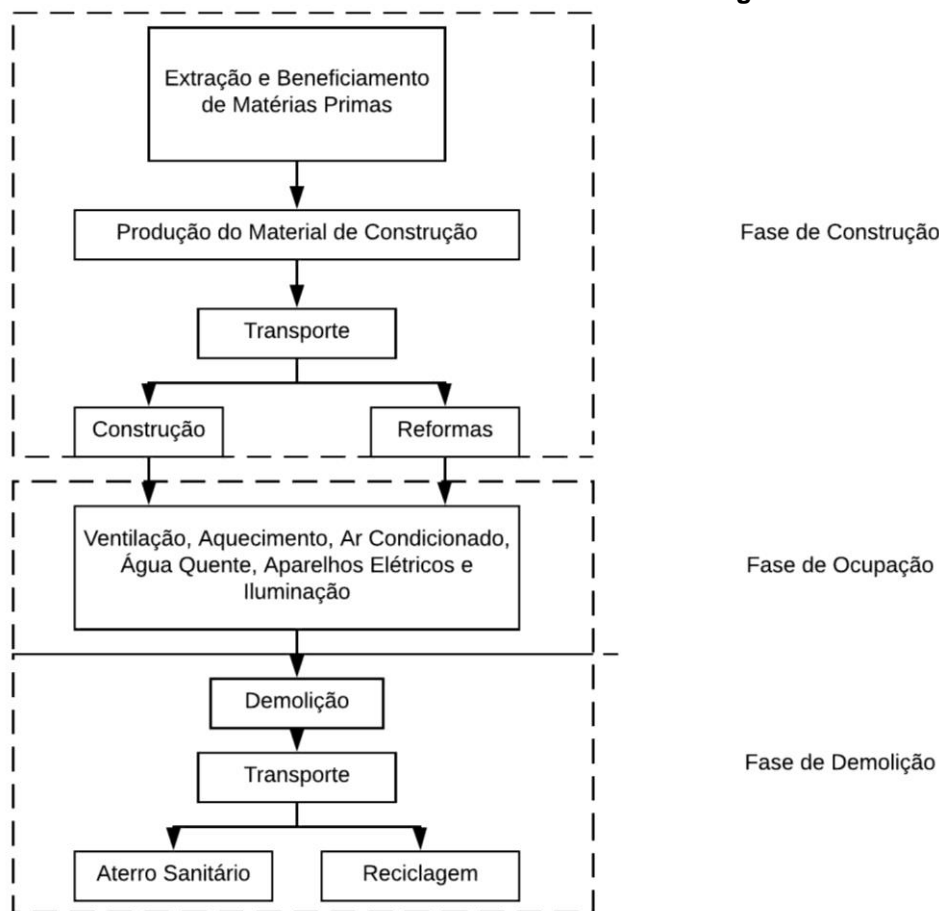
Em uma abordagem energética, as construções demandam recursos desde a construção até a demolição. Estima-se que os impactos ambientais associados a um edifício ocorrem predominantemente na fase de ocupação, representando até 80% do uso de energia em comparação a 20% ligados diretamente aos impactos energéticos incorporados na construção (RAMESH *et al.*, 2010). Apesar disso, não podemos deixar de analisar as técnicas e tecnologias construtivas em busca de soluções mais sustentáveis.

A energia incorporada é aquela utilizada durante o processo construtivo, associada aos materiais e suas origens, aos serviços executados e também em



manutenções realizadas conforme o uso durante a fase de ocupação, até a demolição, como é mostrado na figura 2:

**Figura 2 – Fases do sistema construtivo em uma análise energética do ciclo de vida**



**Fonte: Ramesh et. al. (2010). Adaptado pela autora.**

Como a análise através da ACV permite identificar diversas categorias de impactos individualmente, é possível com ela realizar simulações afim de comparar estratégias a serem implementadas na edificação, não somente no que tange os materiais a serem utilizados.

Por exemplo, um estudo feito por John *et al.* (2010) comparou a modelagem de um edifício de apartamentos em duas composições arquitetônicas: vertical e horizontal. Para o estudo, foram analisadas 9 categorias de impacto: consumo de recursos, consumo de terra, potencial de efeito estufa, potencial de degradação da camada de ozônio, toxicidade humana, toxicidade ambiental, potencial de oxidação fotoquímica, potencial de acidificação e potencial de eutrofização.

Para a análise foram adotados os mesmos materiais e sistemas construtivos semelhantes, variando apenas a composição arquitetônica em uma construção mais baixa (distribuição horizontal) e outra mais alta (distribuição vertical). Nesse cenário, foi possível observar que a edificação mais baixa impactou 10,5% a mais em sua construção do que o edifício vertical.

### 2.1.3 Certificação LEED

A Certificação LEED, ou *Leadership in Energy and Environmental Design* (Liderança em Energia e *Design* Sustentável), é atualmente a mais popular certificação ambiental no ramo da construção civil a nível mundial. O selo possui 96.275 projetos registrados e certificados até 2019, distribuídos em mais de 167 países e territórios. O Brasil é o quinto colocado no ranking dos países com maior número de certificações LEED, com 531 projetos aprovados, somando mais de 16 milhões de metros quadrados construídos dentro dos padrões do selo em território nacional. (STANLEY, 2019)

A primeira versão foi criada em 1998 pela organização sem fins lucrativos norte americana *United States Green Building Council* (USGBC). Desde então, a certificação passa por constantes revisões, a fim de adequar-se ao mercado e também avaliar seus resultados, aprimorando-se de acordo com as necessidades ambientais que vão se desenvolvendo e sendo identificadas ao longo dos anos (RICHARDS, 2012). Em dezembro de 2018 a versão 4.1 foi lançada.

A certificação consiste em um sistema de pontuação, dividido por categorias, que indicam o nível do certificado obtido pelo projeto. Os níveis possíveis são: Certificado (40 a 49 pontos), Prata (50 a 59 pontos), Ouro (60 a 79 pontos) e Platina (acima de 80 pontos).

O sistema de pontuação é dividido por categorias, que abordam temáticas pertinentes aos principais desafios de se construir com consciência ambiental em um sistema de créditos. São elas:

- **Localização e Transporte:** relaciona-se com a escolha da localização do terreno onde será construído o projeto, encorajando localidades que possuam infraestrutura básica, acesso a meios de transporte públicos e alternativos, proximidade a recursos comunitários.

- Terrenos Sustentáveis: créditos que influenciam as decisões sobre o manejo do terreno, visando a influência com o ecossistema local, tais como restaurar habitats, preservação da biodiversidade, minimização de efeitos de ilha de calor, gerenciamento de águas pluviais, restauração de solos, entre outros.
- Eficiência no uso da Água: créditos que abordam o uso racional da água potável, tanto interna quanto externamente, fazendo uso de sistemas de medição setorizada, metais e louças eficientes, sistemas de irrigação otimizados e uso de fontes alternativas.
- Energia e Atmosfera: créditos que priorizam uma perspectiva holística quanto ao uso de energia, com estratégias de projeto com eficiência energética e uso de fontes de energia renovável.
- Materiais e Recursos: foca em minimizar a energia implícita e outros impactos associados à extração, processamento, transporte, manutenção e descarte de materiais de construção.
- Qualidade do Ambiente Interna: bonifica estratégias utilizadas que visam o conforto do usuário em relação à edificação, como conforto acústico, térmico, visual e a qualidade do ar interno.

#### 2.1.4 ACV na Certificação LEED

A partir da versão 4 do selo, o LEED passou a abordar a Avaliação de Ciclo de Vida dentro da categoria de Materiais e Recursos, em dois créditos diferentes.

O primeiro deles chama-se *Building Life-Cycle Impact Reduction* (Redução do Impacto do Ciclo de Vida da Edificação, em tradução livre) e requer que o projeto seja pensado para que os impactos ao longo da vida útil do edifício sejam minimizados, através de estratégias de *design* e escolha de materiais. A pontuação é conquistada quando os níveis de redução nas categorias de impacto analisadas chegam à redução estipulada pelo crédito.

O segundo crédito que aborda ACV diretamente é o *Building Product Disclosure and Optimization – Environmental Product Declarations* (Divulgação e Otimização de Materiais de Construção – Declarações Ambientais de Produto, em tradução livre), que incentiva a utilização de materiais que possuem informações

disponíveis e publicadas sobre seu ciclo de vida, em forma de Declarações Ambientais de Produto que seguirem a normativa da ISO 14025 - Rótulos e declarações ambientais - Declarações ambientais de Tipo III - Princípios e procedimentos.

O crédito Redução do Impacto do Ciclo de Vida da Edificação da versão 4.1 do LEED foi o foco da ACV realizada nesse estudo. Para o projeto conquistar um ponto, é necessário apenas realizar uma ACV e apresentá-la sem necessariamente apontar mudanças e estratégias que visam a redução dos impactos avaliados. Para dois pontos, o projeto precisa comprovar a redução do impacto em no mínimo 5% para pelo menos três das categorias de impacto analisadas, sem que nenhuma apresente aumento de mais de 5% e uma obrigatoriamente sendo a de Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potencial – GWP*). Os requerimentos para a pontuação máxima são os mesmos, mas a redução mínima exigida passa a ser 10%.

A redução é comprovada através da comparação da ACV do projeto proposto com a ACV de um projeto base. O projeto base precisa ter a mesma função do projeto proposto, mesma orientação e posição geográfica, área construída similar, desempenho energético similar e usar as mesmas bases de dados e *software* para a realização das análises.

As categorias de impacto que obrigatoriamente devem ser avaliadas são:

- Potencial de Aquecimento Global (GWP): mensura as emissões dos diversos gases contribuintes para o efeito estufa, em kg CO<sub>2</sub> equivalente;
- Potencial de Depleção da Camada de Ozônio (ODP): mensura a emissão de gases nocivos à camada de ozônio, em kg CFC-11 equivalente;
- Potencial de Acidificação do Solo e Água (AP): mede a contribuição do material para causar acidificação, através da contabilização de emissões de dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio, em kg SO<sub>2</sub> equivalente;
- Potencial de Eutrofização (EP): relacionado às emissões de material rico em elementos com fósforo e nitrogênio em ambientes aquáticos, em kg PO<sub>4</sub>–equivalente;

- Potencial de Criação de Ozônio Fotoquímico (POCP): mede a contribuição da substância relacionada ao etileno para a formação de ozônio fotoquímico;
- Potencial de Depleção Abiótica – Elementos: mensura a contribuição para o esgotamento de recursos não renováveis em kg de antimônio;
- Potencial de Depleção Abiótica – Combustíveis Fósseis: mensura a contribuição para o esgotamento das reservas de combustíveis fósseis em MJ.

Existem alguns problemas em relação a abordagem do LEED no que diz respeito à ferramenta de ACV. Primeiramente, ambos os não exploram todo o potencial da ACV. A causa disso é explicada pelo próprio USGBC: o LEED precisava introduzir o tema Análise de Ciclo de Vida, ainda pouco explorado comercialmente, para incentivar o mercado e os profissionais envolvidos na elaboração do projeto a utilizarem a ferramenta, sem prejudicar os projetos buscando a certificação. (O'CONNOR, 2014)

Também na questão indireta de uso de materiais, como exemplifica Trusty (2012), o LEED incentiva com ênfase a utilização de materiais reciclados, presumindo que estes são automaticamente menos prejudiciais ao meio ambiente. Contudo, não leva em consideração se o processo de reciclagem de tal material tem um maior custo energético e efeitos ainda mais nocivos do que a produção de um novo material de fontes virgens de matéria prima.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

O projeto que serviu de base para a realização do presente estudo é um edifício comercial de escritórios, localizado na cidade de Joinville, estado de Santa Catarina. Possui 9 pavimentos, sendo que 6 são pavimentos-tipo, um térreo e mezanino dedicados a um cartório e um subsolo para estacionamento. A construção do edifício foi realizada entre os anos de 2016 a 2019 e contou com consultoria ambiental durante todas as fases de projeto e obra. O projeto atualmente está em fase de documentação para a certificação LEED e por este motivo somente as informações relevantes ao estudo de ACV serão divulgadas neste trabalho.

Como soluções ambientalmente preferíveis, foram utilizadas Lajes Nervuradas com preenchimento de EPS, o que reduz o peso próprio da estrutura e, conseqüentemente, reduz o consumo de materiais com potencial danoso ao meio ambiente, como é o caso do cimento. O projeto também priorizou a utilização de aços com alto teor de conteúdo reciclado, comprovado por documento fornecido pelo fabricante (ANEXO A).

O estudo de ACV realizado pretende quantificar os impactos causados pelos materiais empregados na estrutura e fechamento do edifício e, através da comparação com um edifício de base, avaliar se as soluções realmente trouxeram benefícios ambientais para a construção e atendem aos requisitos do crédito de Avaliação de Ciclo de vida da certificação LEED v4.1.

#### 3.2 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

A pesquisa trata da aplicabilidade da ferramenta ACV na consignação do crédito “Redução do Impacto do Ciclo de Vida da Edificação” da certificação LEED versão v4.1. Como estratégia de pesquisa, foi utilizado o *software* eToolLCD para conduzir uma análise de ciclo de vida em um edifício comercial real, para toda a estrutura e fechamento, conforme escopo do LEED. O *software* é voltado para ACV na construção civil, e engloba a abordagem de Análise de Edifício Inteiro, em conformidade com as normas da série ISO 14040 e EN 15978.

É importante ressaltar que existem algumas limitações quanto à utilização do *software*. Primeiramente, a base de dados de produtos com informações sobre seu Ciclo de Vida voltados para a construção civil está em constante desenvolvimento e, para a realidade brasileira, a disponibilização dos dados e conduções de ACV para produtos é um pouco escassa. Portanto, a análise é feita utilizando uma base de dados internacional, na qual os produtos são inseridos de modo voluntário pelos usuários do *software* e validados pelos desenvolvedores, para que possam ser utilizados como referência.

Em segundo lugar, o *software* utiliza “modelos” de materiais nas análises, o que significa que algumas adaptações são necessárias para adequar o projeto. É possível criar modelos próprios, com informações reais sobre os produtos que de fato estão sendo utilizados, mas estes também ficam sujeitos à validação por terceira parte. Por não haver tempo hábil e informações precisas o suficiente para a criação de novos modelos, optou-se por utilizar os já existentes na base de dados do *software*.

O *software* eToolLCD utiliza dados quantitativos do projeto para realizar a análise. Os dados foram extraídos manualmente, através da análise dos projetos estruturais, orçamento e outros documentos cedidos para o estudo. Como o escopo do crédito do LEED para a ACV engloba somente a estrutura e fechamento do edifício, os dados foram separados em três categorias para facilitar a visualização e inserção no *software*. São elas: Elementos Estruturais, Elementos de Enchimento e Elementos de Fechamento.

Os Elementos Estruturais englobam as fundações, pilares, vigas, lajes, escadas e as formas utilizadas na confecção desses elementos. Os Elementos de Enchimento são as placas de EPS utilizadas como enchimento das lajes nervuradas. Por fim, os Elementos de Fechamento são todos os que compõem as paredes externas, desde os blocos de vedação até pintura e esquadrias.

Segundo os requerimentos do LEED para o crédito de ACV, faz-se necessário ainda desenvolver um edifício de base, com o qual os impactos do projeto proposto serão comparados e a redução nas categorias de impacto validadas. Para a elaboração do projeto base, foi utilizado o mesmo projeto proposto com pequenas modificações para adequá-lo ao padrão construtivo de mercado. O projeto real, que foi executado, será chamado de Proposto, enquanto o projeto fictício com o qual este foi comparado está sendo chamado de Base.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 PARAMETRIZAÇÃO DOS MODELOS

#### 4.1.1 Edifício Proposto

O resumo dos quantitativos de Elementos Estruturais que foi inserido no eTool é apresentado na Tabela 1:

**Tabela 1 – Quantitativo de Elementos Estruturais – Edifício Proposto**  
(continua)

Pavimento	Elemento	Aço (kg)	Concreto (m <sup>3</sup> )	Formas (m <sup>2</sup> )
Cobertura caixa d'água	Vigas	720,5	9,9	112,6
	Pilares	660,3	5,5	65,1
	Lajes	599,5	9,7	88,7
Caixa d'água	Vigas	1.259,4	12,9	132,5
	Pilares	564,6	5,0	58,7
	Lajes	347,2	7,4	56,3
	Escadas	123,3	2,2	22,2
Ático	Vigas	4.158,9	45,3	340,4
	Pilares	1.665,3	14,7	134,6
	Lajes	9.838,1	53,4	453,7
	Escadas	124,6	2,2	22,4
Sexto Pavimento (Tipo)	Vigas	4.126,4	45,6	339,1
	Pilares	1.620,9	14,4	131,6
	Lajes	7.079,6	55,8	454,9
	Escadas	94,5	2,1	21,4
Quinto Pavimento (Tipo)	Vigas	4.152,6	45,6	339,1
	Pilares	1.596,1	14,4	131,6
	Lajes	7.041,7	55,8	454,9
	Escadas	94,5	2,1	21,4
Quarto Pavimento (Tipo)	Vigas	4.368,0	45,6	339,1
	Pilares	1.759,8	14,4	131,6
	Lajes	7.085,4	55,8	454,9
	Escadas	94,5	2,1	21,4



		<b>(conclusão)</b>		
Terceiro Pavimento (Tipo)	Vigas	4.535,3	45,6	339,1
	Pilares	2.136,2	14,4	131,6
	Lajes	7.055,5	55,8	454,9
	Escadas	94,5	2,1	21,4
Segundo Pavimento (Tipo)	Vigas	4.560,0	45,6	339,3
	Pilares	2.549,3	14,0	125,7
	Lajes	7.190,4	51,0	455,0
	Escadas	93,1	2,1	20,9
Mezanino	Vigas	5.249,5	53,6	449,7
	Pilares	3.158,2	16,5	159,7
	Lajes	4.817,4	44,8	383,4
	Escadas	447,6	3,2	29,9
Primeiro	Vigas	6.987,3	79,8	661,9
	Pilares	5.920,0	27,6	274,0
	Lajes	9.914,2	99,6	814,5
	Escadas	132,9	1,7	16,9
Térreo	Vigas	10.305,3	114,6	872,1
	Pilares	5.377,5	21,7	249,3
	Lajes	8.257,0	95,3	826,7
	Escadas	244,3	1,5	13,4
Subsolo	Vigas	6.869,2	57,0	624,4
	Pilares	3.465,8	15,0	142,6
	Lajes	21.518,5	158,5	1.052,1
	Fundações	7.331,2	97,6	272,5

**Fonte: Autoria Própria**

O resumo dos quantitativos de Elementos de Fechamento que foi inserido no eTool é apresentado na Tabela 2:

**Tabela 2 – Quantitativo de Elementos de Fechamento – Edifício Proposto  
(continua)**

<b>Material</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>
Bloco de Concreto Celular Autoclavado (BCCA)	m <sup>2</sup>	3115
Argamassa de Regularização de Paredes Externas	m <sup>2</sup>	3115
Argamassa de Regularização de Paredes Internas	m <sup>2</sup>	3115
Pintura Acrílica de Paredes Externas	m <sup>2</sup>	3164,5

		<b>(conclusão)</b>
Envidraçamento Estrutural em Alumínio	m <sup>2</sup>	1754,03

**Fonte: Autoria Própria**

O resumo dos quantitativos de Formas de EPS utilizadas é apresentado na Tabela 3:

**Tabela 3: Quantitativo de Formas de EPS para Laje Nervurada**

Pavimento	Material	Dimensões (cm)			Quantidade utilizada (unidades)
		Altura	Largura	Comprimento	
Ático	Painel de EPS	16	30	30	2130
	Painel de EPS	16	35	35	170
Sexto (Tipo)	Painel de EPS	16	40	40	1368
Quinto (Tipo)	Painel de EPS	16	40	40	1368
Quarto (Tipo)	Painel de EPS	16	40	40	1368
Terceiro (Tipo)	Painel de EPS	16	40	40	1368
Segundo (Tipo)	Painel de EPS	16	35	35	1381
Mezanino	Painel de EPS	16	35	35	828
	Painel de EPS	21	35	35	428
Primeiro	Painel de EPS	16	35	35	2541
	Painel de EPS	21	35	35	786
Térreo	Painel de EPS	16	40	40	2368

**Fonte: Autoria Própria**

#### 4.1.2 Edifício Base

As modificações feitas em relação ao edifício proposto foram no consumo de aço e concreto das lajes e na utilização de aço com alto teor de conteúdo reciclado. Automaticamente, ao optar-se pelas lajes maciças, exclui-se por completo o uso dos blocos de EPS para enchimento. Por simplicidade, não foram considerados os

aumentos das seções das vigas e pilares em decorrência da substituição das lajes nervuradas por lajes maciças, o que seria necessário devido ao aumento do peso próprio da estrutura no caso das lajes maciças.

Segundo estudo realizado por Dall’Agnol (2018, p. 80) o consumo de concreto para lajes maciças de dimensão similar às do projeto (7m x 7m) é 17,65% maior do que em lajes nervuradas com preenchimento em EPS, e o de aço 13,47% maior. As quantidades para estes itens nas lajes de todos os pavimentos foram simplesmente aumentadas na proporção descrita e estão apresentadas na Tabela 4. Os quantitativos referentes aos elementos de fechamento apresentados na Tabela 3 não sofreram alteração para a elaboração do edifício Base.

**Tabela 4 – Quantitativo de Elementos Estruturais – Edifício Proposto  
(continua)**

Pavimento	Elemento	Aço (kg)	Concreto (m³)	Formas
Cobertura Caixa	Vigas	720,5	9,9	112,6
	Pilares	660,3	5,5	65,1
	Lajes	599,5	9,7	88,7
Caixa d'água	Vigas	1.259,4	12,9	132,5
	Pilares	564,6	5,0	58,7
	Lajes	394,0	8,7	56,3
	Escadas	123,3	2,2	22,2
Ático	Vigas	4.158,9	45,3	340,4
	Pilares	1.665,3	14,7	134,6
	Lajes	11.163,3	62,8	453,7
	Escadas	124,6	2,2	22,4
Sexto Pavimento (Tipo)	Vigas	4.126,4	45,6	339,1
	Pilares	1.620,9	14,4	131,6
	Lajes	8.033,2	65,6	454,9
	Escadas	94,5	2,1	21,4
Quinto Pavimento (Tipo)	Vigas	4.152,6	45,6	339,1
	Pilares	1.596,1	14,4	131,6
	Lajes	7.990,2	65,6	454,9
	Escadas	94,5	2,1	21,4

<b>(conclusão)</b>				
Quarto Pavimento (Tipo)	Vigas	4.368,0	45,6	339,1
	Pilares	1.759,8	14,4	131,6
	Lajes	8.039,8	65,6	454,9
	Escadas	94,5	2,1	21,4
Terceiro Pavimento (Tipo)	Vigas	4.535,3	45,6	339,1
	Pilares	2.136,2	14,4	131,6
	Lajes	8.005,9	65,6	454,9
	Escadas	94,5	2,1	21,4
Segundo Pavimento (Tipo)	Vigas	4.560,0	45,6	339,3
	Pilares	2.549,3	14,0	125,7
	Lajes	8.158,9	60,0	455,0
	Escadas	93,1	2,1	20,9
Mezanino	Vigas	5.249,5	53,6	449,7
	Pilares	3.158,2	16,5	159,7
	Lajes	5.466,3	52,7	383,4
	Escadas	447,6	3,2	29,9
Primeiro	Vigas	6.987,3	79,8	661,9
	Pilares	5.920,0	27,6	274,0
	Lajes	11.249,6	117,2	814,5
	Escadas	132,9	1,7	16,9
Terreo	Vigas	10.305,3	114,6	872,1
	Pilares	5.377,5	21,7	249,3
	Lajes	8.257,0	95,3	826,7
	Escadas	244,3	1,5	13,4
Subsolo	Vigas	6.869,2	57,0	624,4
	Pilares	3.465,8	15,0	142,6
	Lajes	21.518,5	158,5	1.052,1
	Fundações	7.331,2	97,6	272,5

**Fonte: Autoria Própria**

## 4.2 RESULTADOS DA ACV

Os resultados da avaliação tanto para o edifício Base quanto para o Proposto são apresentados na Tabela 5:

**Tabela 5 – Totais de Impactos potenciais por m<sup>2</sup> de Área Construída**

Categoria de Impacto	Unidade/m <sup>2</sup> de área construída	Base	Proposto	Redução
Potencial de Aquecimento Global	kg CO2 eq.	500,6	470,3	6,05%
Potencial de Depleção da Camada de Ozônio	kg CFC-11 eq	7,27E-05	7,13E-05	1,93%
Potencial de Acidificação de Solos e Água	kg SO2 eq.	2,8793	2,7459	4,63%
Potencial de Eutrofização	kg PO4--- eq.	0,680	0,641	5,68%
Potencial de criação de Ozônio Fotoquímico	kg etileno	0,154	0,141	8,44%
Potencial de Depleção Abiótica - Elementos	kg antimônio	0,0153	0,0147	3,92%
Potencial de Depleção Abiótica - Combustíveis Fósseis	MJ	4657	4459	4,25%

**Fonte: Autoria Própria – Dados retirados do eToolLCD**

Os resultados demonstram que as escolhas de modificações entre os projetos Base e Proposto apresentaram redução em todas as categorias de impacto analisadas. As três categorias com maior redução foram: Potencial de Criação de Ozônio Fotoquímico com 8,44%, Potencial de Aquecimento Global com 6,05% e Potencial de Eutrofização com 5,68% de redução.

O requisito para conquistar a pontuação mínima no crédito da certificação LEED é a redução de no mínimo 5% em pelo menos 3 categorias, portanto o projeto proposto atingiu o objetivo de redução. Para maior detalhamento, serão descritos os principais materiais que contribuem para cada categoria de impacto, nas 4 fases de seus ciclos de vida:

- Inicial: é a quantificação do impacto causado pela confecção do material.
- Transporte: é a quantificação do impacto ligada ao transporte do material.
- Manutenção e Reparos: é a quantificação do impacto associado à substituição de elementos ao longo da vida útil do projeto.
- Descarte: é a quantificação do impacto ligada ao destino no fim do ciclo de vida do material.

A categoria Potencial de Aquecimento Global é obrigatoriamente uma das que deve apresentar redução para atendimento aos requisitos da certificação LEED. Na Tabela 6 é possível observar que apesar de os materiais impactantes serem

praticamente iguais, o maior impacto em ambos os projetos é causado pelo Concreto fck 30 MPa, utilizado em todos os Elementos Estruturais. Ainda assim, a substituição das Lajes Maciças por Lajes Nervuradas acarretou em uma redução de 4,51% do Potencial de Aquecimento Global para o Concreto fck 30 Mpa. Pela mesma substituição, houve redução no consumo de Aço, que também acarretou redução na categoria.

**Tabela 6 – Potencial de Aquecimento Global em kg CO<sub>2</sub> eq.**

Edifício Base					
Material	Inicial	Transporte	Manutenção	Descarte	Total
Concreto fck 30MPa	1.027.431,83	98.568,25	0,00	30.775,26	1.156.775,34
Envidraçamento Estrutural em Alumínio	141.559,25	27.026,59	170.290,93	415,83	339.292,60
BCCA	277.939,52	14.978,57	0,00	4.576,63	297.494,72
Aço	238.236,89	10.282,27	137,75	266,84	248.923,75
Argamassas 1:4	84.829,29	3.801,17	48.030,54	1.020,34	137.681,34
Edifício Proposto					
Material	Inicial	Transporte	Manutenção	Descarte	Total
Concreto fck 30MPa	981.076,40	94.121,07	0,00	29.386,75	1.104.584,22
Envidraçamento Estrutural em Alumínio	141.559,25	27.026,59	170.290,93	415,83	339.292,60
BCCA	277.939,52	14.978,00	0,00	4.576,63	297.494,15
Argamassas 1:4	84.829,29	3.801,17	48.030,54	1.020,34	137.681,34
Aço	111.965,77	9.268,96	137,75	267,98	121.640,46

**Fonte: 1Autoria Própria – Dados retirados do eToolLCD**

Ainda, a utilização de aço com maior teor de conteúdo reciclado beneficiou o edifício proposto, fazendo com que o material tenha praticamente reduzido à metade do impacto causado na categoria.

Para a categoria de impacto Potencial de Depleção de Ozônio, detalhada na Tabela 7, o maior contribuinte em ambos os projetos foi o Adesivo Acrílico, associado aos aditivos comumente utilizados em concretos e argamassas. Este material faz parte de um modelo pré-existente no *software* eTool, utilizado como componente da argamassa de regularização da alvenaria, que permaneceu com a

mesma área de superfície tanto no edifício de Base quanto no Proposto, não sofrendo assim alteração no impacto para essa categoria. Novamente a utilização do aço com conteúdo reciclado teve efeito positivo na redução do impacto do material.

**Tabela 7 – Potencial de Depleção da Camada de Ozônio em kg CFC-11 eq.**

Edifício Base					
Material	Inicial	Transporte	Manutenção	Descarte	Total
Plásticos	0,1220493131	0,0006110733	0,1226630357	0,0000015266	0,2453249487
Concreto fck 30MPa	0,0228094648	0,0045894940	0,0000000000	0,0089290248	0,0363279836
Envidraçamento Estrutural em Alumínio	0,0087157709	0,0002685932	0,0091762940	0,0001206487	0,0182813068
Aço	0,0177081868	0,0003783518	0,0000098904	0,0000774193	0,0181738483
BCCA	0,0154787219	0,0006454124	0,0000000000	0,0013278485	0,0174519828
Edifício Proposto					
Material	Inicial	Transporte	Manutenção	Descarte	Total
Plásticos	0,1220493131	0,0006110733	0,1226630357	0,0000015266	0,2453249487
Concreto fck 30MPa	0,0217803528	0,0043824230	0,0000000000	0,0085261672	0,0346889430
Envidraçamento Estrutural em Alumínio	0,0087157709	0,0002685932	0,0091762940	0,0001206487	0,0182813068
BCCA	0,0154787219	0,0006454124	0,0000000000	0,0013278485	0,0174519828
Aço	0,0113471895	0,0003343875	0,0000098904	0,0000777502	0,0117692176

**Fonte: Autoria Própria – Dados retirados do eToolLCD**

Na Tabela 8 são apresentados os principais contribuintes para o Potencial de Acidificação do Solo e Água. Novamente, para ambos os projetos, o maior impacto potencial é causado pelo concreto utilizado na estrutura. Entre o edifício Base e o Proposto, houve redução de 5,41% no potencial de emissão em kg SO<sub>2</sub> equivalente, ocasionada pela redução do consumo do material em virtude das modificações estruturais. O aço teve redução de 45,10% do potencial de Acidificação do Solo e Água.

**Tabela 8 – Potencial de Acidificação do Solo e Água em kg SO<sub>2</sub> eq.**

Edifício Base					
Material	Inicial	Transporte	Manutenção	Descarte	Total
Concreto fck 30MPa	5.126,3643	853,1041	0,0000	172,6875	6.152,1559
Envidraçamento Estrutural em Alumínio	1.061,7166	262,9592	1.337,2998	2,3333	2.664,3089
Aço	1.134,1276	86,0663	0,6934	1,4973	1.222,3846
BCCA	632,2233	137,6394	0,0000	25,6806	795,5433
Argamassas 1:4	326,7226	32,6402	203,2665	5,7254	568,3547
Edifício Proposto					
Material	Inicial	Transporte	Manutenção	Descarte	Total
Concreto fck 30MPa	4.895,0742	814,6140	0,0000	164,8963	5.874,5845
Envidraçamento Estrutural em Alumínio	1.061,7166	262,9592	1.337,2998	2,3333	2.664,3089
BCCA	632,2233	137,6394	0,0000	25,6806	795,5433
Aço	628,5207	80,1603	0,6934	1,5039	710,8783
Argamassas 1:4	326,7226	32,6402	203,2665	5,7254	568,3547

**Fonte: Autoria Própria – Dados retirados do eToolLCD**

Para a categoria de impacto Potencial de Eutrofização, apresentada na Tabela 9, o material que mais contribuiu em ambos os projetos foi o aço, utilizado nas estruturas de concreto armado. A utilização de Lajes Nervuradas combinada com o aço com alto teor de conteúdo reciclado no edifício Proposto acarretou em uma redução de 19,26% do potencial de eutrofização do aço.

**Tabela 9 – Potencial de Eutrofização em PO<sub>4</sub>--- eq.****(continua)**

Edifício Base					
Material	Inicial	Transporte	Manutenção	Descarte	Total
Aço	943,89904	24,44083	0,52891	0,32042	969,18920
Concreto fck 30MPa	448,80281	205,19248	0,00000	36,95553	690,95082
Envidraçamento Estrutural em Alumínio	260,12903	60,51747	323,90815	0,49934	645,05399
BCCA	168,80110	32,91252	0,00000	5,49571	207,20933



					(conclusão)
Argamassas 1:4	70,73890	7,76809	44,76821	1,22524	124,50044
Edifício Proposto					
Material	Inicial	Transporte	Manutenção	Descarte	Total
Aço	758,96469	22,68753	0,52891	0,32179	782,50292
Concreto fck 30MPa	428,55383	195,93456	0,00000	35,28818	659,77657
Envidraçamento Estrutural em Alumínio	260,12903	60,51747	323,90815	0,49934	645,05399
BCCA	168,80110	32,91252	0,00000	5,49571	207,20933
Argamassas 1:4	70,73890	7,76809	44,76821	1,22524	124,50044

**Fonte: Autoria Própria – Dados retirados do eToolLCD**

Na Tabela 10 estão descritos os cinco materiais que mais contribuem para o Potencial de Criação de Ozônio Fotoquímico. Para ambos os projetos, o material com maior impacto é o concreto utilizado nos elementos estruturais. Para essa categoria de impacto, a utilização de aço com alto teor de conteúdo reciclado combinado ao menor consumo de material devido às mudanças estruturais, apresentou tamanha redução do potencial de impacto que não está listado entre os cinco principais materiais.

**Tabela 10 – Potencial de Criação de Ozônio Fotoquímico em kg etileno**

(continua)

Edifício Base					
Material	Inicial	Transporte	Manutenção	Descarte	Total
Concreto fck 30MPa	236,51394	32,74501	0,00000	7,29539	276,55434
Envidraçamento Estrutural em Alumínio	58,95541	8,93590	68,42145	0,09858	136,41132
Aço	103,57765	3,56116	0,05894	0,06326	107,26102
Formas de madeira	29,30126	3,42059	0,00000	25,68145	58,40330
BCCA	37,37505	5,05966	0,00000	1,08491	43,51962
Edifício Proposto					
Material	Inicial	Transporte	Manutenção	Descarte	Total
Concreto fck 30MPa	225,84296	31,26727	0,00000	6,96624	264,07646

					<b>(conclusão)</b>
Envidraçamento Estrutural em Alumínio	58,95541	8,93590	68,42145	0,09858	136,41132
Formas de madeira	29,30126	3,42059	0,00000	25,68145	58,40330
BCCA	37,37505	5,05966	0,00000	1,08491	43,51962
EPS	28,34363	0,35026	0,00000	0,01543	28,70931

**Fonte: Autoria Própria – Dados retirados do eToolLCD**

O potencial de Depleção Abiótica para Elementos também apresentou redução em todos os principais materiais, como é mostrado na Tabela 11. Nesta categoria, o aço também foi o material que apresentou maior redução.

**Tabela 11 – Potencial de Depleção Abiótica – Elementos em kg antimônio**

Edifício Base					
Material	Inicial	Transporte	Manutenção	Descarte	Total
Aço	51,13107	0,39637	0,02772	0,00441	51,55957
Concreto fck 30MPa	1,53452	4,06636	0,00000	0,50865	6,10953
Pintura (tinta acrílica)	1,09024	0,00695	3,95611	0,00020	5,05350
BCCA	1,31535	0,38157	0,00000	0,75642	2,45334
Envidraçamento Estrutural em Alumínio	0,99162	0,05300	1,10644	0,00687	2,15793
Edifício Proposto					
Material	Inicial	Transporte	Manutenção	Descarte	Total
Aço	48,42274	0,37692	0,02772	0,00443	48,83181
Concreto fck 30MPa	1,46527	3,88289	0,00000	0,48570	5,83386
Pintura (tinta acrílica)	1,09024	0,00695	3,95611	0,00020	5,05350
Envidraçamento Estrutural em Alumínio	0,99162	0,05300	1,10644	0,00687	2,15793
BCCA	1,31535	0,38157	0,00000	0,00756	1,70449

**Fonte: Autoria Própria – Dados retirados do eToolLCD**

Dos cinco materiais que mais tem peso no Potencial de Depleção Abiótica para Combustíveis Fósseis, para ambos os projetos o concreto apresentou maior

peso. Entre os edifícios Base e Proposto houve redução de 4,51% par esse material. O material que apresentou maior redução foi o aço, chegando a 46,84%.

**Tabela 12 – Potencial de Depleção Abiótica – Combustíveis Fósseis em MJ**

Edifício Base					
Material	Inicial	Transporte	Manutenção	Descarte	Total
Concreto fck 30MPa	5.345.154	1.474.605	0	912.077	7.731.836
Envidraçamento Estrutural em Alumínio	1.455.818	387.076	1.875.753	12.324	3.730.971
Aço	2.701.873	413.680	1.593	7.908	3.125.054
BCCA	1.763.765	234.924	0	135.636	2.134.325
Argamassas 1:4	575.974	55.920	386.724	30.239	1.048.857
Edifício Proposto					
Material	Inicial	Transporte	Manutenção	Descarte	Total
Concreto fck 30MPa	5.103.993	1.408.074	0	870.926	7.382.993
Envidraçamento Estrutural em Alumínio	1.455.818	387.076	1.875.753	12.324	3.730.971
BCCA	1.763.765	234.924	0	135.636	2.134.325
Aço	1.519.459	132.300	1.593	7.942	1.661.294
Argamassas 1:4	575.974	55.920	368.724	30.239	1.030.857

**Fonte: Autoria Própria - Dados retirados do eToolLCD**

Como é possível observar, apenas a utilização de um sistema estrutural que demanda menos cimento e aço (Laje Nervurada) e de material com conteúdo reciclado já é suficiente para obter redução do potencial de impacto em todas as categorias analisadas. Caso a ACV seja realizada ainda em um estágio inicial de projeto, é possível utilizar a ferramenta para balizar decisões quanto ao edifício a ser construído, otimizando materiais e sistemas construtivos.

## 5 CONCLUSÃO

Através da ACV realizada foi possível determinar que o projeto Proposto, por apresentar redução mínima de 5% do potencial de impactos ambientais em pelo menos três das categorias analisadas em comparação com o projeto base, estaria qualificado para pontuar no crédito do LEED v4.1 “Redução do Impacto do Ciclo de Vida do Edifício”, conquistando dois pontos.

Observou-se que grande parte das reduções foram causadas pela substituição do sistema construtivo convencional de Lajes Maciças para Lajes Nervuradas com enchimento de EPS, devido ao menor consumo de cimento e aço no edifício Proposto.

A maior contribuição para que o edifício Proposto apresentasse ganhos ambientais em relação ao base, no entanto, foi a utilização de aço com alto teor de conteúdo reciclado, que contribuiu positivamente para a redução em todas as categorias analisadas individualmente.

A ACV tem grande potencial de ser utilizada como ferramenta balizadora de decisões no que tange a escolha de materiais e *design* de edifícios que buscam reduzir os impactos causados pela sua construção no meio ambiente. É também uma aliada para controlar emissões ambientalmente prejudiciais relacionados à construção civil, contribuindo para que os níveis de emissões estipulados por acordos internacionais sejam atendidos.

Para futuros trabalhos, sugere-se realizar a ACV em um estágio inicial de projeto, quando ainda é possível tomar decisões de escolhas de materiais baseadas nos resultados dos potenciais impactos causados. Ainda, seria interessante ampliar o escopo da ACV, abordando não somente os materiais utilizados na estrutura e fechamento, mas no edifício inteiro.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040**: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044**: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações, 2014.

ATHENA SUSTAINABLE MATERIALS INSTITUTE. **Athena Guide to Whole-Building LCA in Green Building Programs**. 1ª Edição. Ottawa: 2014.

BARBISAN, A.; SPADOTTO, A.; DALLA NORA, D.; LOPES TURELLA, E.; DE WERGENES, T. **Impactos ambientais causados pela construção civil**. Unoesc & Ciência - ACSA, v. 2, n. 2, p. 173-180, 27 jan. 2012.

BRAGA, T. E. N.; UGAYA, C. M. L.; SILVA, D. A. L.; ROCHA, F.; SANTOS, S. **A ACV e seus processos de comunicação e mediação da informação: panorama atual no setor empresarial brasileiro**. V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida. 19 a 22 de setembro de 2016, Fortaleza, CE.

CONMETRO. **Resolução nº 04 de 15 de dezembro de 2010. Dispõe sobre a aprovação do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida e dá outras providências**. Disponível em <[http://www.inmetro.gov.br/LEGISLACAO/detalhe.asp?seq\\_classe=7&seq\\_ato=256](http://www.inmetro.gov.br/LEGISLACAO/detalhe.asp?seq_classe=7&seq_ato=256)>. Acesso em 04 de julho de 2019

FLORINDO, T.J.; MEDEROS G.I.B.; RUIVARO, C.F.; COSTA, J.S. **Avaliação do impacto do ciclo de vida**. Natureza online, volume 13, p. 211-219, 2015.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **Referencial Casa e Condomínio**. Disponível em: <http://www.gbcbrazil.org.br/referencial-casa.php>. Acesso em 28 de junho de 2019.

GUINÉE, JEROEN B. **Life cycle assessment: past, present and future**. International Symposium on Life Cycle Assessment and Construction, Nantes, França, 10 de julho de 2012.

JOHN, V.; GUT, S.; WALLBAUM, H. **Hoch oder quer? Ökologische Lebenszyklusanalyse eines Hochhauses im Vergleich zu einem Riegelbau**. Bauingenieur. 8. p. 341–352, 2010.

KOEBEL, T.; MCCOY, A.P.; SANDENFORD, A.R.; FRANCK, C.T.; KEEFE, M.J.; **Diffusion of green building technologies in new housing construction**. Energy and Buildings edição 97, p. 175-185, 2015.

O'CONNOR, J.; MEIL, J. (2012.) **LCA in construction: status, impact and limitations**; Athena Sustainable Materials Institute.

O'CONNOR, J. (2014). **D10 Getting the LCA credit in LEEDv4**. Greenbuild International Conference and Expo 2014.'

ORITZ, O.; CASTELLS, F.; SONNENMANN, G. **Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA**. Construction and Building Materials issue 23, 2009.

RAMESH, T.; PRAKASH, R.; SHUKLA, K.K. **Life cycle energy analysis of buildings: An overview**. Energy and Buildings. Edição 42 p. 1592-1600, 2010.

REICH-WEISER, C.; VIAJAYARAGHAVAN A.; DORNFELD D.A. **Appropriate use of Green Manufacturing Frameworks**. University of California at Berkeley, EUA, 2010.

RICHARDS, JENNIE. 2012. [Online] Institute for Environmental Entrepreneurship, Novembro de 2012. <<https://enviroinstitute.org/wp-content/uploads/2012/09/GREEN-BUILDING-A-Retrospective-History-of-LEED-Certification-November-2012.pdf>>. Acesso em 07 de Junho de 2019.

SOUZA, B. A., *et al.* **Análise dos Indicadores PIB Nacional e PIB da Indústria da Construção Civil**. Revista de Desenvolvimento Econômico, Salvador, v.17, n.31, p.140-150, jan/jun. 2015.

THE LCA CENTRE. Página Institucional. Disponível em <<https://thelcacentre.com/en/what-is-lca/>>, Acesso em 28 jun. 2019.

TRUSTY, W. B.; HORST S. W. **Integrating LCA Tools in Green Building Rating Systems**. Austin Papers: Best of the 2002 International Green Building Conference, 2002.

UNEP (2019). **Emissions Gap Report 2019**. Executive summary. United Nations

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. **Reference Guide for Building and Design and Construction 2013 Edition**.

US GREEN BUILDING COUNCIL ANNOUNCES TOP 10 COUNTRIES AND REGIONS FOR LEED GREEN BUILDING. Disponível em: <<https://www.usgbc.org/articles/us-green-building-council-announces-top-10-countries-and-regions-leed-green-building>>. Acesso em 07 de junho de 2019.

**ANEXO A - Auto declaração de Conteúdo Reciclado do Fornecedor de Aço**

**Especificação técnica do produto / Product specification**

Vergalhão CA 25, Vergalhão CA 50, CA 60 Gerdau, Treliça, Malha POP Gerdau, Pregos Ardox, Pregos com Cabeça, Pregos sem cabeça, Pregos Cabeça Dupla, Pregos Anelado, Pregos Galvanizado, Pregos Telheiro, Pregos para Taco, Pregos Coil, Arame Farpado Elefante, Arame Farpado Gir, Arame Farpado Potro, Arame Farpado Touro, Arame Farpado Urso, Arame Farpado Zebu, Arame Ovalado, Arame Recozido, Grampo, Tela Soldada Nervurada CA50, Barra Chata, Barra Redonda, Cantoneira e Perfil T.

CA 25 Rebar, CA 50 Rebar, CA 60 Rebar, Gerdau Truss Frames, Gerdau POP Mesh, Ardox Nail, Headed Nail, Healdless Nail, Double-headed nails, Ringed Nail, Galvanized Nail, Roofing Nail, Flooring Nail, Coil Nail, Elefante Barbed Wire, Gir Barbed Wire, Potro Barbed Wire, Touro Barbed Wire, Urso Barbed Wire, Zebu Barbed Wire, Oval-Shaped wire, Gerdau Annealed Wire, Staples, Ribbed reinforcing mesh CA50, Flat Bar, Round Bar, L Shapes (Equal Leg) and T Shapes.

**Fornecedor e Produtor/Distributor and manufacturer**

Razão Social/ Company Name: Gerdau Aços Longos S. A.

CNPJ/ Company License: 07.358.761/0007-54

Endereço /Address: Av. Borges de Medeiros, 650, Sapucaia do Sul – RS – CEP 93212-110 Brasil.

**Informações sobre o produto / Product's Data:**

Insumo/Material	Percentual em Peso/ Weight Percentage	Local do Beneficiador/ Processing Location	Local da Extração de Matéria Prima/ Extraction Location
Sucata A/ Scrap A	13,2 <sup>A</sup>	Não ocorre beneficiamento/ No processing	Indústrias da região, no raio de 200 km da cidade de Sapucaia do Sul/ Industries in the region, within a 200 km radius from Sapucaia do Sul city.
Sucata B/ Scrap B	80,8 <sup>B</sup>	Não ocorre beneficiamento/ No processing	Sucateiros da região, no raio de 50 km da cidade de Sapucaia do Sul/ Industries in the region, within a 50 km radius from Sapucaia do Sul city.
Insumo 1/ Material 1	1,2	CORUMBÁ - MS	CORUMBÁ - MS
	1,0	MATOZINHOS - MG	CONGONHAS - MG
	0,7	SETE LAGOAS-MG	SARZEDO-MG
	0,2	AQUIDAUANA - MS	CORUMBÁ - MS
	0,2	BETIM - MG	SARZEDO-MG ITAÚNA-MG BRUMADINHO-MG ITATIAIUÇU-MG ITABIRITO-MG CONGONHAS-MG
Insumo 2/ Material 2	1,2	DORESÓPOLIS-MG	DORESÓPOLIS-MG
	1,0	COLOMBO-MS	RIO BRANCO DO SUL-PR
Insumo 3/ Material 3	0,3	ITAPEVA - SP	SENADOR MODESTINO-MG CORUMBÁ-MT
	0,1	IGUATAMA - MG	ARCOS – MG DUQUE DE CAXIAS - RJ
	0,1	CERRO AZUL - PR	CERRO AZUL - PR

Todos os produtos provenientes desta usina possuem a mesma composição quanto às matérias-primas, independentemente do lote / All products from this unit have the same raw-materials composition, regardless of production lot.

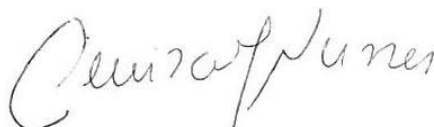


	0,1	MATOZINHOS - MG	SANTOS DUMONT - MG
<b>Total</b>	<b>100,0</b>		

<b>Conteúdo Reciclado</b> <i>Recycled Content</i>	<b>Pré-consumo<sup>A</sup></b> <i>Pre-consumer</i>	<b>13,2%</b>	<b>Pós-consumo<sup>B</sup></b> <i>Post-consumer</i>	<b>80,8%</b>
--	---	--------------	--	--------------

Declaro, para os devidos fins, que as informações contidas neste documento são verdadeiras, submetendo-nos às penalidades legais, por omissão ou falsa informação, definidas na legislação. / I declare, for appropriate purposes, that the information contained herein is true, by subjecting us to legal penalties, omission or false information, as defined in the legislation.

**Responsável pela Informação / Information Manager**



**Cenira de Moura Nunes**

Consultora de Meio Ambiente Aços Brasil

E-mail: cenira.nunes@gerdau.com.br

(11) 3094-6339