

# FORROS DE GESSO E PVC COMPARATIVAMENTE AO FORRO DE MADEIRA: AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>

## Gypsum and PVC Ceiling Linings comparatively to Timber Ceiling Linings: Life Cycle Carbon Emissions Assessment

Lissa Gomes Araújo<sup>1</sup>, Júlia Santiago de Matos Monteiro Lira<sup>2</sup>, Rosa Maria Sposto<sup>3</sup>

Recebido em 09 de julho de 2017; aceito em 14 de setembro de 2017; disponível on-line em 06 de março de 2018.



### PALAVRAS CHAVE:

Forro;  
Gesso;  
PVC;  
Madeira;  
ACVCO<sub>2</sub>.

### KEYWORDS:

Linings;  
Gypsum;  
PVC;  
Timber;  
LCCO<sub>2</sub>.

**RESUMO:** A crescente necessidade de gerar economia e aumentar a produtividade na construção civil tem incentivado a busca por meios e métodos alternativos, o que aumentou a atenção direcionada a materiais mais eficientes, inclusive quanto ao aspecto da sustentabilidade ambiental. O objetivo deste trabalho é quantificar as emissões de CO<sub>2</sub> dos sistemas de vedação horizontal interna utilizados em edificações habitacionais, ou mais precisamente, sistemas de forros de gesso acartonado e de PVC, comparativamente ao forro de madeira. Para o alcance deste objetivo utilizou-se a metodologia ACVCO<sub>2</sub>, com análise híbrida, dados secundários e dimensionamentos comerciais. O sistema de forro de madeira apresentou emissões 26% maiores que a do PVC e 67% maiores que a do gesso. Este trabalho chama a atenção para os sistemas de vedações horizontais internas e a preocupação com outros materiais da construção civil cujo impacto é tão preocupante quando o do cimento.

**ABSTRACT:** The growing need to provide savings and increase productivity in the construction industry has encouraged the search for alternative means and methods, increasing the pursuit for more efficient materials, especially under the aspect of environmental sustainability. The objective of this work is to quantify the CO<sub>2</sub> emissions of the internal horizontal sealing systems used in residential buildings, or more accurately, ceiling linings of gypsum plasterboard and PVC, compared to the timber lining. To reach this objective, the ACVCO<sub>2</sub> methodology was applied, with hybrid analysis, secondary data and following commercial standards. The timber lining system presented emissions 26% higher than that of PVC and 67% higher than that of gypsum. This paper draws attention to the internal horizontal sealing systems and the concern with other building materials whose impact is as concerning as that of cement.

### \* Contato com os autores:

<sup>1</sup> e-mail: lissagomesaraujo@gmail.com (L. G. Araújo)

Bacharel em Engenharia Civil, Mestranda, Universidade de Brasília (UnB).

<sup>2</sup> e-mail: juliasanttiago@gmail.com (J. S. de M. M. Lira)

Bacharel em Engenharia Civil, Doutoranda, Universidade de Brasília (UnB).

<sup>3</sup> e-mail: rmsposto@unb.br (R. M. Sposto)

Bacharel em Engenharia Civil, Doutora, Professora na Universidade de Brasília (UnB).

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente necessidade de gerar economia e aumento de produtividade na construção civil tem incentivado a busca por racionalização, o que aumentou a atenção direcionada a materiais mais eficientes. Surgiu, portanto, a necessidade de avaliar materiais, componentes e sistemas construtivos com menores impactos ambientais, cuja mitigação influencia na economia global da edificação. A cadeia produtiva desses materiais já apresenta grande potencial nocivo, e os produtos ofertados, assim como as normas e os códigos, limitam inovações e forçam soluções que aumentam o impacto gerado. (Agopyan e John, 2011)

A discussão dos impactos ambientais gerados pelas atividades humanas é extensa, e chama a atenção tanto de pesquisadores quanto de governantes mundiais. As Nações Unidas, por exemplo, estão diretamente envolvidas em projetos que objetivam reduzir os impactos dessas atividades, principalmente daquelas que consomem energia de fontes não renováveis, como combustíveis fósseis e minérios, e emissões de gases de efeito estufa (GEE), tanto pelo impacto gerado no ambiente quanto na saúde humana.

Segundo documentos da *United Nations Framework Convention on Climate Change* (Convenção de Trabalho sobre Mudanças Climáticas das Nações Unidas), o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas promoveram mais clareza quanto às mudanças climáticas geradas pelo homem nos últimos anos. Segundo o seu 5º Relatório de Avaliação (IPCC, 2014), a existência das mudanças climáticas são incontestáveis: de 1880 a 2012, a temperatura média global aumentou 0,85 °C, o que provocou um aumento médio de 19 cm do nível dos oceanos devido ao degelo das calotas polares. Com as emissões atuais praticadas pelos países, é provável que, até o fim do século, vejamos um aumento de 1 a 2°C na temperatura média global, comparando às temperaturas de 1990. O nível médio dos

oceanos deve aumentar entre 24 e 30 cm até 2065, comparando à 2005. As discussões levaram a acordos internacionais que limitam as emissões de gases do efeito estufa dos países do globo: o Protocolo de Kyoto (1997) limitou as emissões de 36 países industrializados da União Européia, e a Emenda Doha adotou um segundo período de compromisso, começando em 2013 e finalizando em 2020. O Acordo de Paris, firmado na COP21 em dezembro de 2015, tornou o projeto do protocolo de Kyoto mais global, e até agora já envolve mais de 140 partidos, dos 197 convocados.

Entre as ferramentas disponíveis para a avaliação dos aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto, pode ser utilizada a metodologia de avaliação de ciclo de vida (ACV), que abarca todas as etapas de vida de um produto (ABNT, 2014), isto é, do berço ao túmulo, desde a extração de matéria prima até a disposição final. Devido a sua complexidade, porém, alguns autores têm aplicado um recorte nesta metodologia, considerando, por exemplo, somente um aspecto ou um impacto, tais como energia e emissões de CO<sub>2</sub>.

Sobre vedações horizontais, em menor número, alguns pode ser citados, tais como Lira (2017), que analisa os impactos do telhado convencional comparativamente ao telhado verde. Sobre os sistemas de revestimento horizontal interno, porém, a informação é muito escassa, apesar do surgimento de novos tipos de materiais, tais como o gesso acartonado e o PVC; a hipótese resultante é se estes novos sistemas emitem mais ou menos CO<sub>2</sub> que o forro de madeira, o mais antigo utilizado em edificações.

Os forros de madeira consistem em lambris com encaixe macho-fêmea, assim como o encaixe usado nas régua do forro de PVC. O forro de gesso acartonado, que é tratado aqui, é formado por gesso prensado entre duas lâminas de papel cartão, e montado ao justapor e suspender as placas. Todos os sistemas são heterogêneos em questão de materiais utilizados, processo de extração de matéria-prima e fabricação, etc., apesar de serem consideradas as

opções mais práticas de sistemas de vedação horizontal interna atualmente.

O objetivo deste trabalho, portanto, é avaliar as emissões de CO<sub>2</sub> dos sistemas de forros utilizados em edificações habitacionais, mais precisamente dos forros de gesso acartonado e de PVC, comparativamente ao forro de madeira. Para o alcance deste objetivo utilizou-se a metodologia ACVCO<sub>2</sub>, com análise híbrida, dados secundários e dimensionamentos comerciais. Este trabalho é o início de uma análise mais detalhada dos sistemas de vedação horizontais internos e do seu impacto durante todo o ciclo de vida.

## 2. SISTEMAS DE FORROS

Os forros têm a função de revestir a face inferior de uma laje ou de um telhado de uma edificação, formando a superfície interna de um compartimento fechado. Contribuem para o isolamento térmico e acústico, podendo esconder os componentes dos sistemas hidráulico-sanitários e elétricos instalados abaixo das lajes. São geralmente constituídos por módulos, placas ou chapas, aderidas ou suspensas por dispositivos ou estrutura com perfis de aço ou de madeira. Os sistemas são formados pela estrutura de fixação e pelo acabamento, constituído pelos módulos, chapas ou placas. Algumas normas técnicas brasileiras pertinentes aos sistemas de forro podem ser citadas, tais como: NBR 15873 (ABNT, 2010) – Composição Modular para

edificações, NBR 14285 (ABNT, 2014) – Perfil de PVC Rígido para Forros: Requisitos, NBR 14371 (ABNT, 2014) – Forros de PVC Rígido para Instalação em Obra: Procedimento, NBR 14715 (ABNT, 2010) – Chapas de Gesso para Drywall Parte 1: Requisitos, NBR 15758 (ABNT, 2009) – Sistemas Construtivos em Chapas de Gesso para Drywall: Projeto e Procedimentos Executivos para Montagem, NBR 15217 (ABNT, 2009) – Perfis de Aço para Sistemas Construtivos em Chapas de Gesso para Drywall – Requisitos e Métodos de Ensaio.

Os sistemas de forro objeto deste trabalho são fixados por dispositivos e são do tipo: forro de gesso acartonado, forro de PVC e forro de madeira. No item seguinte é apresentada uma descrição dos mesmos, incluindo os seus processos de fabricação.

### 2.1 FORRO DE GESSO ACARTONADO (FGA)

O sistema de forro de gesso acartonado que é objeto desse estudo é classificado pela Associação Brasileira dos Fabricantes de Drywall (2006) como forro aramado. É um sistema formado pela justaposição de chapas de gesso, unidas por juntas H, e suspensas por arame de aço galvanizado, os tirantes. O sistema é completado com as nervuras: chapas de gesso cortadas em perfis de 5 cm de altura e coladas perpendicularmente às placas, afim de fornecer estrutura e rigidez às placas, e colaborar para o trabalho monolítico da mesma. A Figura 1 esquematiza esse sistema.

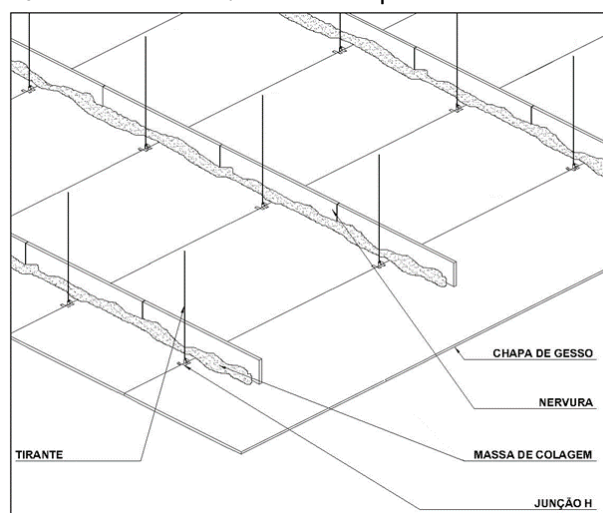


FIGURA 1: Croqui do sistema de forro de chapa de gesso aramado.

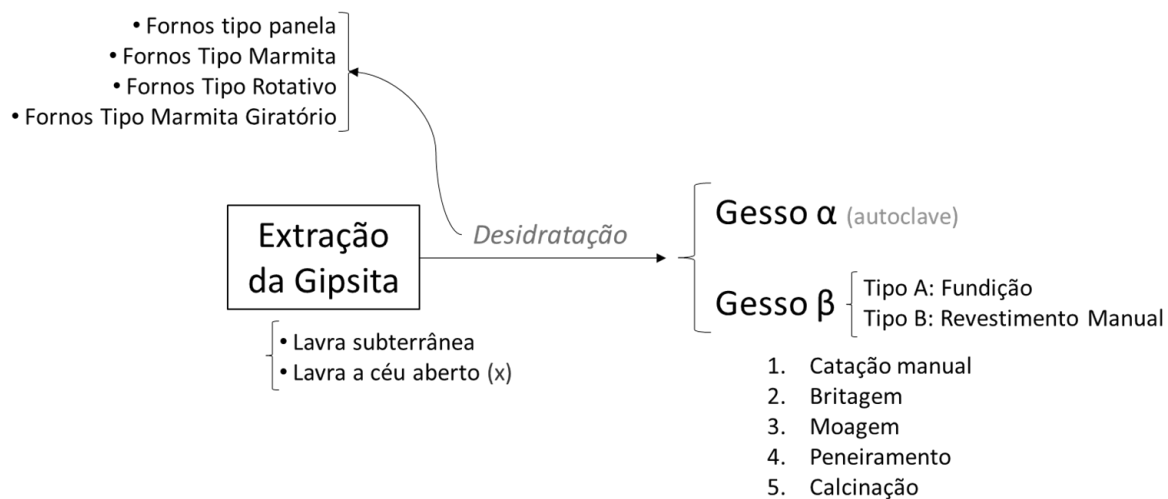
FONTE: drywall.com.br (2006).

Em relação à matéria prima e ao processo de fabricação, segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral, em 2006, o Brasil abriga a maior reserva mundial de gipsita do mundo, equivalente a 51,75 % dos recursos mundiais. A sua produção, porém, ainda é muito baixa, representando apenas 1,38% do mercado mundial, frente à produção americana de 15,78 % (Rocha, 2007).

Rocha (2007) continua trazendo dados do polo gesseiro de Araripe, que é responsável por 85% da produção nacional de gipsita refinada, sendo o gesso  $\beta$  o mais popular no mercado e o tipo que interessa a este trabalho, pois ele é utilizado, entre outras aplicações, para isolamento térmico e acústico (quanto misturado com vermiculita ou perlita), para rejunte de pré-moldados, e nas placas para rebaixamento de tetos, com produção artesanal ou máquinas automáticas. O processo de extração e produção primária do gesso está esquematizado na Figura 2.

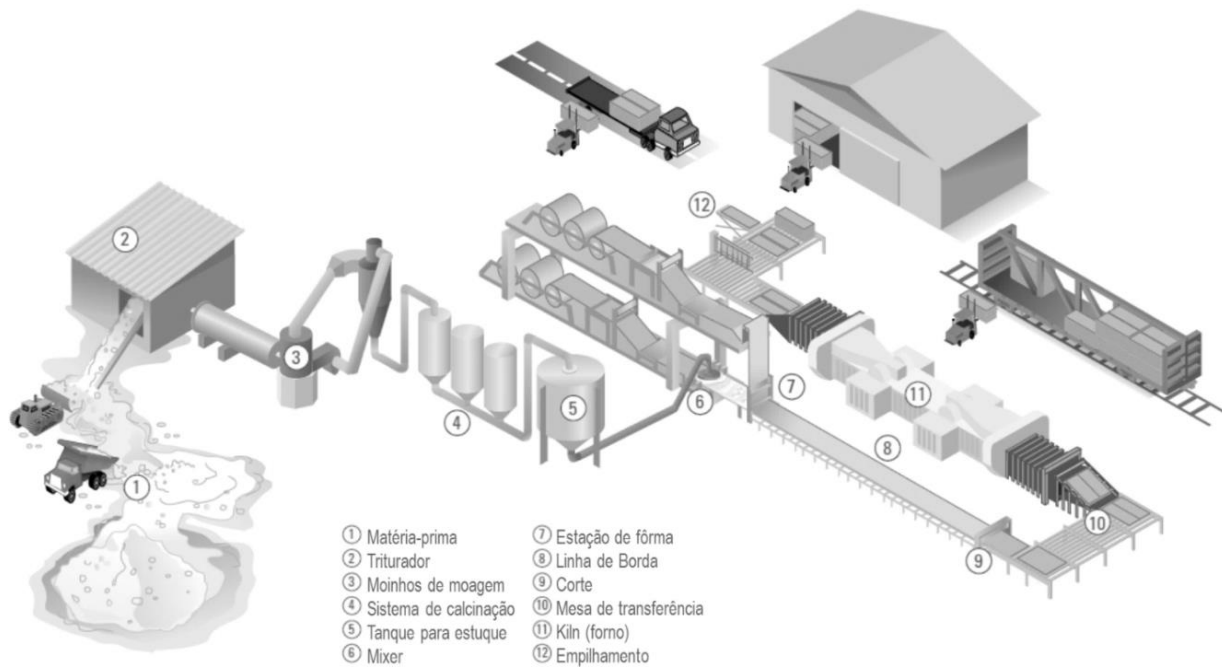
Junqueira e Ribeiro (2016) comentam que o uso de chapas de gesso, também chamadas drywall, foi viabilizado no século XX, e já na década de 90, estava presente em 95% das casas norte-americanas. É um material valorizado na indústria da construção civil, porque propicia uma execução mais limpa e eficiente, e permite redução de até 15% nos custos da fundação e estrutura, devido à sua leveza em comparação à uma parede de alvenaria.

Segundo definição da Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas para Drywall (2006), as chapas de gesso são fabricadas mediante processo de laminação contínua: uma mistura de gesso, água e aditivos é prensada entre duas lâminas de papel cartão, em que uma é virada sobre as bordas longitudinais e colada sobre a outra. A massa de gesso tem a função de manter a rigidez, assim, ela resistirá aos esforços de compressão, enquanto o papel deve manter a integridade do gesso, e resistir aos esforços de tração. O processo está esquematizado na Figura 3.



**FIGURA 2:** Processo de Extração e Manufatura do Gesso.

**FONTE:** Adaptado de Rocha (2007).



**FIGURA 3:** Processo de produção das placas de gesso, ou drywall.

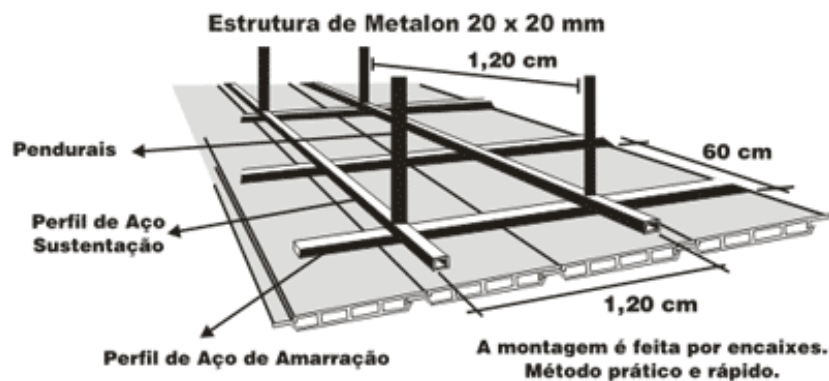
**FONTE:** Georgia-Pacific Gypsum LLC (2010).

## 2.1 FORRO DE PVC

O forro de PVC, ou mais precisamente, as placas de PVC que irão compor o forro, tem um processo de fabricação muito simples, a partir da resina pronta do PVC, que é a matéria-prima adquirida pelas fábricas. A resina de PVC é misturada com aditivos, estabilizadores, pigmentos e outros materiais que darão

resistência e estética adequada ao material, e passarão por um processo de extrusão (AFAP, 2012).

O sistema de forro de PVC consiste nas placas de PVC suspensas por uma estrutura metálica de perfis em metalon ou por sarrafos de madeira, o chamado tarugamento, conforme mostra o esquema da Figura 4.



**FIGURA 4:** Croqui de Forro de PVC com detalhes da estrutura metálica.

**FONTE:** lojaderevestimento.wordpress.com (2011).

Quanto ao PVC (Policloreto de Vinila), tem-se que o mesmo não é um plástico derivado exclusivamente do petróleo (sua demanda exige apenas 0,25% da extração mundial), sendo que 37 milhões de toneladas de PVC são produzidas mundialmente todo ano (VINYLPLUS, 2011). Sua matéria-prima é um combustível fóssil, que demanda milhares de anos da natureza e condições muito específicas de temperatura e pressão para ser criado. Seu refino exige diversas usinagens, com altas emissões de CO<sub>2</sub>: dados da VinylPlus (2011) indicam que, para cada quilo de PVC usinado, são produzidos 2.500 kg de CO<sub>2</sub> equivalente, entre outros produtos nocivos. Sua decomposição é lenta, mas sua reciclagem é simples. Seu extenso processamento está resumido na Figura 5, assim como as diferentes subetapas e opções de subprocessamento.

Lima (2010) disserta sobre a produção de tubos de PVC na empresa Tigre®, que movimentava

mercados nacionais e internacionais. Além disso, ele discorre sobre o longo processo de manufatura do PVC, incluindo detalhes sobre a mineração de sal para a manufatura de cloro, que constitui 57% da composição do PVC.

## 2.2 FORRO DE MADEIRA

As placas de forro de madeira têm fabricação semelhante às placas de PVC, pois ambas passam por uma máquina que, no caso da madeira, a corta no formato desejado. As placas também são chamadas lambris, nomenclatura do revestimento interno com fins estéticos e isolantes.

Os lambris de madeira também possuem encaixe macho-fêmea, como os de PVC, e o sistema de forro de madeira também é estruturado por tarugamento, como mostrado na Figura 6 a seguir.

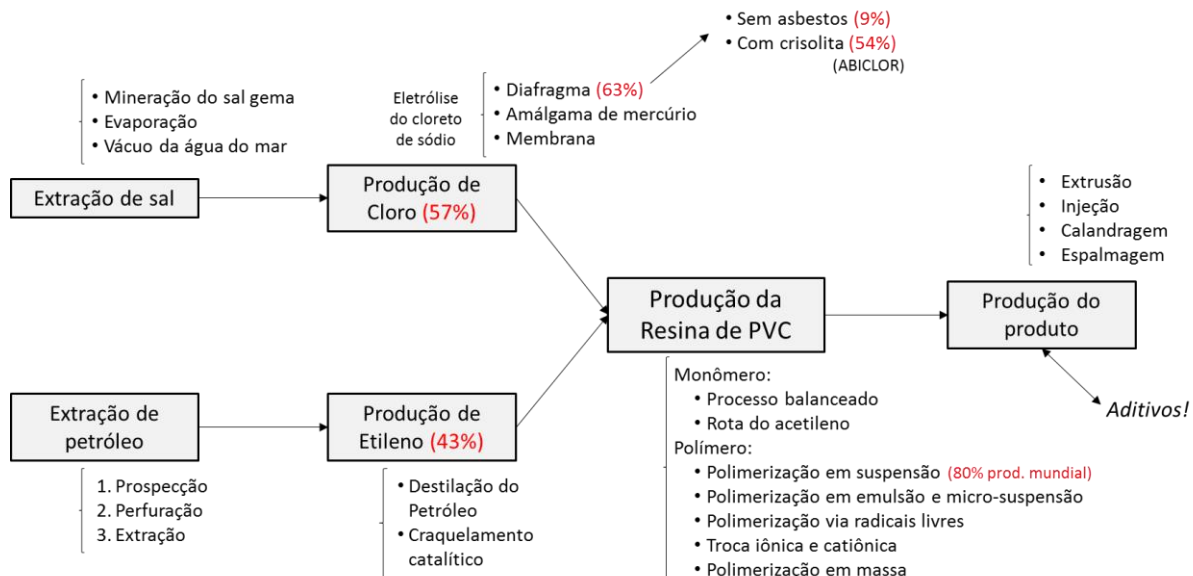
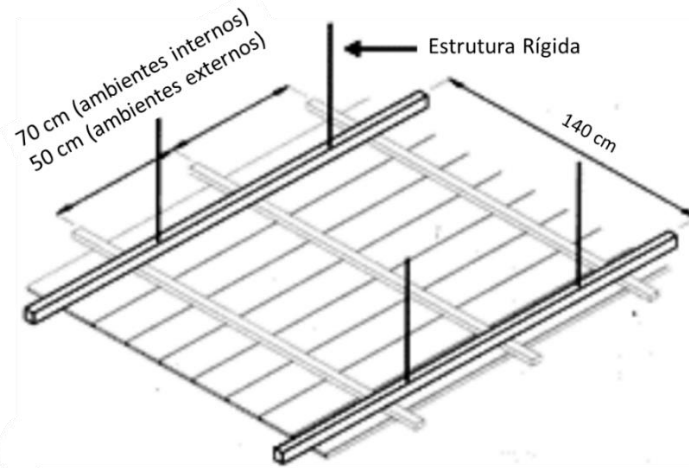


FIGURA 5: Processo de Extração e Manufatura do PVC.

FONTE: Adaptado de Lima (2010). Dados de ABICLOR.



**FIGURA 6:** Croqui do sistema de forro de madeira, com detalhes da estrutura e do encaixe das régua de lambri.

**FONTE:** Moura (2012).

A construção civil está entre os maiores consumidores de madeira da Amazônia no Brasil, juntamente com a indústria moveleira (IPT, 2009). Ela se destaca por sua vasta aplicabilidade em todas as etapas da construção, desde a execução até os acabamentos, assim como pela diversidade de espécies e de propriedades, que possibilitam diferentes usos (Cury e Tomazello Filho, 2011).

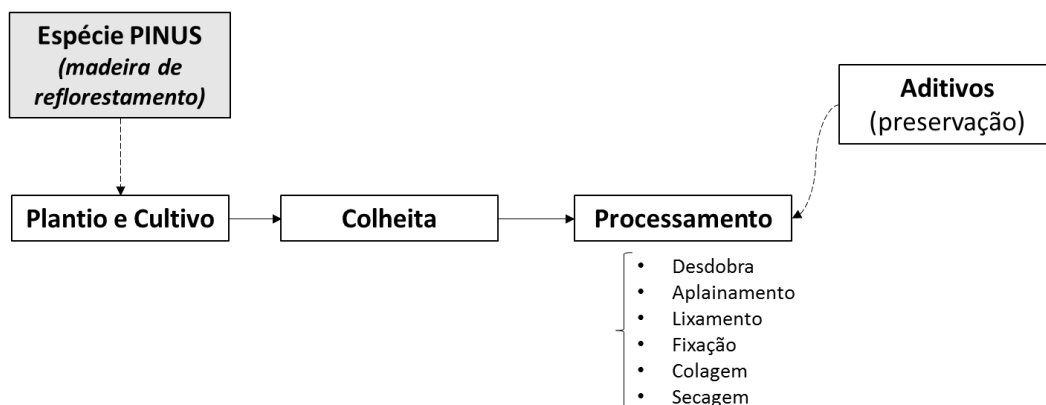
Pajchrowski et al. (2014) afirma que a madeira se torna cada vez mais importante na economia moderna, devido ao seu desempenho técnico e ecológico em diversos fatores, como por exemplo: leveza e resistência mecânica, isolamento acústico, resistência à corrosão, absorção de umidade em condições muito úmidas, durabilidade e capacidade de renovação, entre outros. O seu processamento está resumido na Figura 7.

IPT (2009) indica alguns usos da madeira na construção civil, como o uso temporário em

fôrmas para concreto, andaime e escoramentos, e o uso permanente em coberturas, esquadrias, pisos e forros.

IPT (2009) comenta que a madeira brasileira obedece normas técnicas quando destinada à mercados de países desenvolvidos, mas internamente, a madeira nacional é vendida com classificações genéricas, o que gera discordância entre fornecedores e clientes. A ausência de padronização é uma das queixas frequentes do setor da construção civil, e demanda resoluções a muitos anos.

A madeira levanta outras diversas discussões que urgem atenção frente à indústria da construção civil e a sustentabilidade, como o seu uso ilegal e o desperdício em canteiro de obras (IPT, 2009), devido à sua abundância, que causa uma sensação de relaxamento frente ao seu uso, e à falta de gestão em canteiro, afim de planejar usos inteligentes e reuso das peças.



**FIGURA 7:** Extração e Processamento da Madeira.

**FONTE:** Bolin; Smith (2010); IPT (2009).

### 3. EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> E AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A NBR 14040 (ABNT, 2014) define a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto. Essa análise abarca todas as etapas de vida de um produto, isto é, do berço ao túmulo, desde a extração de matéria prima até a disposição final. A norma também detalha as etapas da ACV, que estão esquematizadas na figura 8, e serão usadas neste trabalho, com os devidos recortes, como será discutido nas fronteiras do sistema.

De acordo com Chau et al. (2015), de forma abrangente, existem três correntes de estudo do ciclo de vida, que variam de acordo com o foco da avaliação: a avaliação do ciclo de vida (ACV), que avalia todos os impactos ambientais das edificações ao longo de todo seu ciclo de vida; a avaliação energética do ciclo de vida (ACVE), que avalia o uso de energia como um recurso de entrada numa edificação ao longo de seu ciclo; e a avaliação do ciclo de vida de emissões de carbono (ACVCO<sub>2</sub>) foca em avaliar as emissões de CO<sub>2</sub> como um output, ou seja, uma saída do sistema, ao longo de todo o ciclo de vida de uma edificação. Neste trabalho, utilizaremos o terceiro foco.

A ACVCO<sub>2</sub> é um tema rico de discussões, principalmente, e como já foi comentado, pelas preocupações com os gases do efeito estufa e o desenvolvimento sustentável, e se tornou uma prioridade para várias indústrias (Yoshioka et al., 2013).

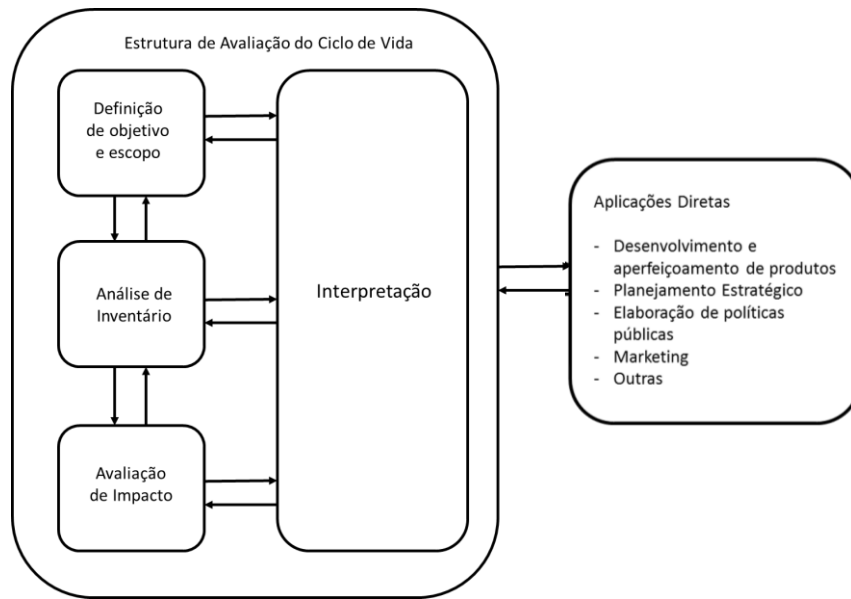
Muitos trabalhos de quantificações de emissões de CO<sub>2</sub> tem sido feitos, principalmente em sistemas de vedação vertical, tais como Caldas (2016) e Caldas et al. (2017), que avalia *light steel framing* em comparação à alvenaria, e Nabut Neto (2011), analisando fachadas localizadas em Brasília-DF.

De acordo com Costa (2012), o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), é considerado o gás de efeito estufa antropológico mais importante, e sua concentração aumentou consideravelmente com as atividades humanas, desde 1750. A concentração desses gases na atmosfera degrada a barreira natural contra os raios UV do Sol, e aumenta a temperatura a níveis globais. Os impactos são diversos, desde o desequilíbrio dos ecossistemas, até o aumento da escassez de água e ameaça às cidades costeiras (Costa, 2012).

Entre as atividades humanas que aumentam as emissões de CO<sub>2</sub>, destacam-se o consumo de combustíveis fósseis, não só para produção de energia de uso direto, como para uso em produção de insumos da indústria. Logo, o procedimento mais aceito nos trabalhos de quantificação do impacto é a obtenção das emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes (Hilgemberg, 2004).

De acordo com Atmaca e Atmaca (2015), existem três tipos de métodos de análise usados na ACV: a análise de processo, que é complexa e demanda bastante tempo; a análise *input-output* (I-O), que usa médias nacionais de cada setor e que, por isso, não tem controle da origem e da precisão dos dados utilizados; e a análise híbrida, que combina dados de ambas as anteriores.





**FIGURA 8:** Etapas da Avaliação do Ciclo de Vida.

**FONTE:** NBR 14040 (ABNT, 2014).

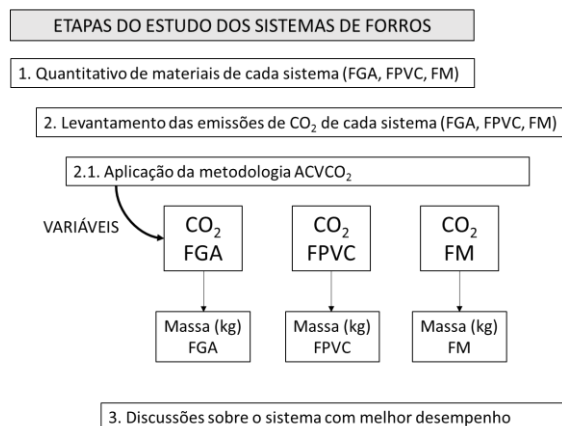
## 4. METODOLOGIA

Para o alcance do objetivo desse trabalho, que é a quantificação de emissões de CO<sub>2</sub> de sistemas de forro de gesso (FGA) e de PVC (FPVC), comparativamente ao forro de madeira (FM), foram executadas as seguintes etapas: primeiramente, foi feita a quantificação dos materiais necessários para cada sistema. Posteriormente, foram contabilizadas as emissões de CO<sub>2</sub> de cada sistema de acordo com a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida das Emissões de CO<sub>2</sub>. As variáveis contabilizadas nessas etapas serão discutidas em seguida. A Figura 9 demonstra, em fluxo, as etapas da metodologia.

### 4.1 DEFINIÇÃO DE OBJETIVO E ESCOPO

A unidade funcional foi a unidade habitacional, e para o fluxo de referência foi considerada a quantidade de material necessária, para cada tipo de forro, para recobrir 45,64 m<sup>2</sup> de área, que corresponde à habitação de interesse social considerada neste trabalho, mostrada na Figura 10.

De acordo com o documento intitulado “*Product Category Rules*”, ou Regras de Categorias de Produto (BRE, 2013), as fases estudadas nesse trabalho categorizam análise “*cradle to gate with options*”, ou seja, berço ao portão com opções, mais especificamente: Produção (Suplemento de Matéria-Prima, Transporte e Manufatura) e Construção (Transporte e Instalação). A norma EN 15804 (British Standard, 2013) também utiliza essa classificação.



**FIGURA 9:** Etapas do estudo dos sistemas de forros e variáveis consideradas

**FONTE:** Autoria Própria (2017).

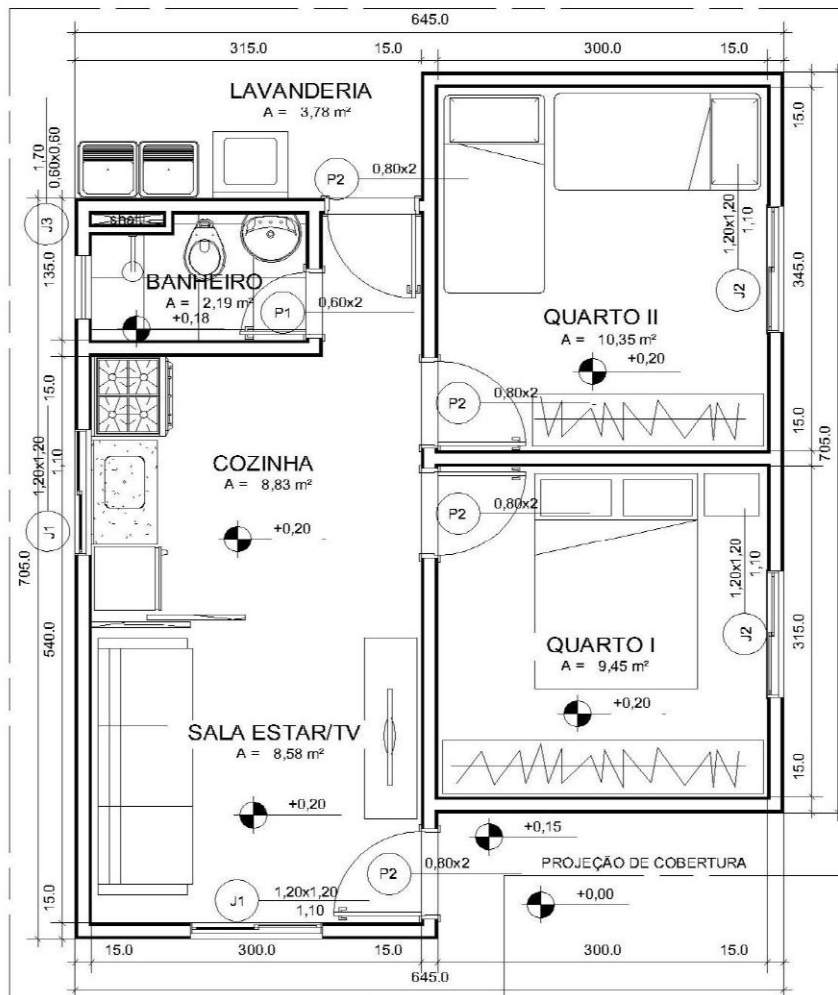
Foram avaliadas as emissões de CO<sub>2</sub> dos sistemas construtivos do forro de gesso e de PVC, comparando ao forro de madeira, com a metodologia aplicada por Costa (2012) adaptada para Brasília, considerando a localização da obra no prédio SG12 da Universidade de Brasília (UnB).

Este trabalho também opera um recorte nas etapas da ACVCO<sub>2</sub>, pois faz a avaliação apenas até a análise de inventário.

#### 4.2 ANÁLISE DE INVENTÁRIO

A análise híbrida foi aplicada nesse trabalho.

Cada sistema de forro foi dimensionado de acordo com dados de fabricantes disponíveis em catálogos. Os sistemas envolvem diversos tipos de materiais, cada um com sua extração, emissão e processamento característicos. Apesar da pesquisa se restringir apenas às emissões do material que leva o nome do sistema, o Quadro 1 contém outros elementos com as quantidades necessárias para instalação no estudo de caso. Chau et al. (2014) considera a exclusão dos materiais inferiores a 5% em massa, portanto, foram desconsiderados pregos, parafusos, fitas colantes, entre outros acessórios.



01 PLANTA BAIXA

**FIGURA 10:** Planta da Habitação de Interesse Social usada.  
**FONTE:** PEDROSO (2015).

Para a a etapa de extração da matéria-prima e produção, foram utilizados dados secundários, adquiridos por Costa (2012). O autor quantificou a energia gasta nesta etapa, e a transformou em emissões de CO<sub>2</sub>. A etapa de transporte também usou dados de Costa (2012), considerando que o meio usado foi um caminhão semi-pesado movido a óleo diesel, que consome 0,0196 L/t/km, e que emite 0,0032 tCO<sub>2</sub>/L de óleo diesel consumido, porém, todas as distâncias foram adaptadas para o caso deste trabalho, cuja obra se encontra em Brasília-DF.

Os quantitativos foram aplicados à HIS, com 45,64 m<sup>2</sup> de forro finalizado para cada sistema. Os montantes das placas de gesso necessárias foram retirados do site da empresa Lafarge Gypsum, que possui uma calculadora de medidas. O modelo usado é forro aramado. Também foi usada uma calculadora online, do site Plasbil, considerando um perfil de Forro PVC 200 Canelado 7 mm. A calculadora já respeita as variações de modelo dos perfis do forro de PVC, que variam de marca para marca. Ela retornou quantitativos dos perfis por cômodo, já que o perfil é cortado no tamanho exato do vão para encaixe. O forro de madeira foi calculado manualmente, pois não foi encontrado nenhum sistema de cálculo automático online, provavelmente por conta do seu caráter artesanal. Foi assumido, porém, que o produto utilizado está disponível no catálogo da empresa Brasgroup, e que toda a madeira transformada em painéis, pisos, forros, etc será queimada ou abandonada como resíduo no fim do seu ciclo de vida, retornando o teor de carbono armazenado para a natureza. Desta forma, não se considerou a dedução de carbono aprisionado.

De acordo com Costa (2012), os quantitativos de cada sistema foram aplicados à Equação 1:

$$\text{Emissões}_{\text{GS}1,2,i,j} = \text{QTj} \times \text{FPj} \times \text{FEPj} \quad \text{Eq. [1]}$$

Em que:

**QTj** = Quantitativo do material;

**FPj** = Fator de Perda do Material;

**FEPj** = Fator de Emissão de CO<sub>2</sub> devido a utilização do material.

#### 4.3 AVALIAÇÃO DE IMPACTO

Os impactos causados pelas emissões de CO<sub>2</sub> são aumento da temperatura global terrestre ao midpoint e aquecimento global ao endpoint. Porém, as avaliações quantitativas de impacto são complexas, normalmente sendo realizadas por softwares e plataformas. Além disso, o foco deste trabalho é a quantificação das emissões dos sistemas de forro, logo, está etapa foge do escopo, e se faz indicação de futuros trabalhos.

#### 5. RESULTADOS

O Quadro 1 resume a quantificação dos sistemas de forros de gesso, de PVC e de madeira. Os elementos sublinhados tiveram suas emissões quantificadas nas seguintes etapas, pois suas massas são as mais significativas.

##### 5.1 FORRO DE GESSO

De acordo com Costa (2012), a energia necessária para a extração e processamento de gesso, traduzida em emissão de CO<sub>2</sub>, é de 0,3424 t CO<sub>2</sub>/t gesso.

Para a fase de transporte, considerou-se que o processamento se deu em Araripina – PE, por conta da localização da empresa Lafarge que Costa (2012) utilizou em seu trabalho, e que a segunda fase será de Araripina até Brasília – DF, no prédio SG12 do Campus Darcy Ribeiro na UnB. As distâncias foram multiplicadas por dois, considerando a volta do caminhão.

A distância total foi de 3.918 km (Google Maps, 2017), então, foram produzidos 0,2457 tCO<sub>2</sub>/t gesso transportado.

Admitiu-se, também, segundo dados de Marcondes (2007) e Venta (1997), “que é necessário 1,20 tonelada de gesso para a produção de uma tonelada de placa de gesso e, portanto, são emitidas 1,20 vezes mais toneladas de CO<sub>2</sub> para produção de placas do que para produção de gesso” (COSTA, 2012).

Logo, foram calculadas as emissões totais por tonelada de material, que estão demonstradas no Quadro 2.

| <b>QUADRO 1: Dimensionamento dos sistemas de forros em estudo, para a HIS utilizada.</b> |  |
|--|--|
| <b>SISTEMA DE FERRO DE GESSO ACARTONADO</b>  |  |
| <i>Quantidade</i>  | <i>Descrição do elemento</i>                         |
| 52,03 m <sup>2</sup> = 105,43 kg   | <u>Chapa de Gesso ST-FGA (12,5 x 600 x 2000 mm)</u>  |
| 0,70 kg/m <sup>2</sup> = 31,95 kg  | Rejunte (massa de gesso)                             |
| 6,39 kg  | Arame Galvanizado nº18                               |
| 206 unidades   | Junção H Zincada (galvanização Z 275)                |
| <b>SISTEMA DE FERRO DE LAMBRI DE PVC</b>   |  |
| 193,5 m = 156,255 kg   | <u>Régua lambri de PVC Canelado (200 x 7 mm)</u>     |
| 11 peças (Peça = 6 m)  | <u>Acabamento régua de PVC (10 cm x 1 mm)</u>        |
| 19 barras (Barra = 6 m)  | Metalon Galvanizado (20 x 20 x 5 mm)                 |
| <b>SISTEMA DE FERRO DE LAMBRI DE MADEIRA</b>   |  |
| 334,05 m = 0,41 m <sup>3</sup>   | <u>Régua Lambri de Forro de Madeira (120 x 9 mm)</u> |
| 24 peças   | <u>Rodameio (60 x 24000 x 15 mm)</u>                 |
| 10 peças (Peça = 6 m)  | Sarrafo de madeira (5 x 2,5 cm)                      |
| 5 peças  | Sarrafo de madeira (10 x 2,5 cm)                     |

FONTE: Autoria Própria (2017).

| <b>QUADRO 2: Resumo das emissões de CO<sub>2</sub> do gesso por etapas de manufatura</b> |  |
|--|--|
| <b>Identificação</b>   | <b>Valor (t CO<sub>2</sub> / t material)</b> |
| Fator de emissão do uso de energia (t CO <sub>2</sub> / t gesso) (1)                     | 0,3424                                       |
| Fator de emissão do transporte (t CO <sub>2</sub> / t gesso) (2)                         | 0,2457                                       |
| Fator de emissão do setor de gesso FEP (t CO <sub>2</sub> / t gesso)                     | 0,5881                                       |
| Fator de emissão do setor de chapa de gesso FEP (t CO <sub>2</sub> / t placa gesso)      | 0,7057                                       |

FONTE: (1) COSTA (2012) (2) Autoria Própria (2017).

Para 45,64 m<sup>2</sup> de forro de gesso acabado, são necessários 47,992 m<sup>2</sup> de chapa de gesso e 4,108 m<sup>2</sup> de nervura de chapa de gesso, totalizando 52,03 m<sup>2</sup> de placa de gesso que, considerando a densidade de 14 kg/m<sup>2</sup> especificada pelo fabricante, correspondem a 105,43 kg de placa de gesso. Para o gesso em si, foi

considerado o consumo de rejunte, que será de 0,70 kg/m<sup>2</sup>, totalizando 31,948 kg de gesso para os 45,64 m<sup>2</sup> de forro acabado.

Para Costa (2012), FP<sub>gesso</sub> = 45% e FP<sub>placa</sub> = 10%. O resultado para o gesso está resumido no Quadro 3.

| <b>QUADRO 3: Emissões totais do forro de gesso</b>                                      |                          |
|---|--------------------------|
| Emissões <sub>placa</sub> = 0,10543 t x 1,1 x 0,7057 tCO <sub>2</sub> / t placa gesso = | 0,08184 tCO <sub>2</sub> |
| Emissões <sub>gesso</sub> = 0,03195 t x 1,45 x 0,5881 tCO <sub>2</sub> / t gesso =      | 0,02724 tCO <sub>2</sub> |
| Total Gesso =   | 0,10908 tCO <sub>2</sub> |

FONTE: Autoria Própria (2017).

## 5.2 FORRO DE PVC

A fábrica de eteno e resina de PVC foi localizada em Caramaçari – BA, onde se encontra um dos pólos da Braskem. Depois, considerou-se que a resina era transportada até a fábrica da Tigre em Jundiáí- SP, e depois, o produto final foi considerado enviado ao local da habitação. A distância final foi de 5.920 km, o que produziu 0,3713 tCO<sub>2</sub>/ t gesso transportado, para as mesmas condições do caminhão. O Quadro 4 contém o resumo das emissões para o PVC.

Usando a densidade indicada no boletim técnico da Braskem para PVC expandido (0,55g/cm<sup>3</sup>), tem-se que, para 45,64 m<sup>2</sup> de forro de PVC finalizado, são necessários 19.350 cm lineares de perfil 200 mm x 7 mm, assim como 11 peças de 6 metros de acabamento, cujo perfil é 10 cm por 1 mm.

Logo, o total de PVC utilizado é de 284.100 cm<sup>3</sup> de PVC, o que corresponde à 156,255 kg de material. Multiplicando essa quantidade pelo fator de emissão total do Quadro 4, então serão produzidos 0,1448 tCO<sub>2</sub> para finalizar a HIS com forro de PVC.

## 5.3 FORRO DE MADEIRA

Em relação à extração de árvores, o consumo de energia foi de 0,3053 tCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> madeira, admitindo-se um rendimento médio de 2% por árvore (Costa, 2012). Como a madeira para forros está em formato de lambri, foram usados os dados de Costa (2012) para IMPM (Indústria da Madeira Produzida Mecanicamente). Considerou-se a madeira tipo Pinus, comumente utilizada na construção civil.

Em relação ao transporte, o produto é produzido pela empresa Brasgroup, que atua em São Bento do Sul - SC, então consideremos, de acordo com os dados de Costa (2012), a madeira de origem em Santa Catarina e o produto final sendo transportado para a obra em Brasília – DF, no SG12. A distância total desta segunda etapa, portanto, é de 3.358 km, e será somada com os 234 km que Costa (2012) considera para transporte da floresta à indústria. Com o total final de 3.592 km, foram emitidos 0,1223 tCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> de madeira na etapa de transporte.

**QUADRO 4:** Resumo das emissões de CO<sub>2</sub> do PVC por etapas de manufatura

| Identificação   | Valor (tCO <sub>2</sub> / t PVC) |
|---|----------------------------------|
| Fator de emissão devido ao uso de matérias primas fósseis (1) | 0,202                            |
| Fator de emissão de reações químicas (1)                      | 0,011                            |
| Fator de emissão do uso de energia (1)                        | 0,3424                           |
| Fator de emissão do transporte (2)                            | 0,3713                           |
| Fator de emissão do setor de PVC                              | 0,9267                           |

FONTE: (1) COSTA (2012) (2) Autoria Própria (2017).

**QUADRO 5:** Resumo das emissões de CO<sub>2</sub> da madeira por etapas de manufatura

| Identificação                          | Valor (tCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> madeira) |
|--|--|
| Fator de emissão do uso de energia (1) | 0,3207   |
| Fator de emissão do transporte (2)     | 0,1223   |
| Fator de emissão do setor de madeira   | 0,443  |

FONTE: (1) COSTA (2012) (2) Autoria Própria (2017).

Considerando os lambris encontrados no catálogo da Brasgroup, com régua de perfis 2700 x 120 x 9 mm e 1350 x 120 x 9 mm, assim como os rodameios de 60 x 2400 x 15 mm, o forro de madeira foi dimensionado para a HIS considerada.

Foram necessários 50 perfis de 2,70m de comprimento, 56 lambris sob medida de 3000 x 120 x 9 mm, e 23 lambris de 1,35m. Também foram necessárias 24 peças de rodameio. Fazendo o cálculo do volume de madeira necessária, e lembrando que estamos considerando a madeira tipo Pinus-elioti, com densidade de 480 kg/m<sup>3</sup> a 15% de umidade (IPT, 2009), o resultado foi 0,41 m<sup>3</sup>.

Logo, o forro de madeira considerado para a HIS emite 0,41m<sup>3</sup> x 0,443 tCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> madeira igual a 0,1827 tCO<sub>2</sub>.

## 6. DISCUSSÕES

O Quadro 6 resume os resultados das emissões de CO<sub>2</sub> de cada elemento principal dos sistemas de forro estudados neste trabalho.

A madeira apresentou mais emissões que o PVC, cuja matéria-prima é o próprio petróleo, combustível fóssil raro, porém essencial no atual funcionamento das atividades humanas mais comuns, como combustíveis para transportes a combustão, carros em geral, e uso direto e indireto na produção industrial de materiais para os mais diversos setores de mercado, desde os plásticos até o clínquer usado no cimento. A

madeira inclusive é encontrada nos outros sistemas aqui estudados: no papel do forro de gesso acartonado, e no tarugamento do forro de PVC, o que agrava ainda mais o quadro. A necessidade de madeira na indústria é expressiva, porém, suas emissões são as mais prejudiciais.

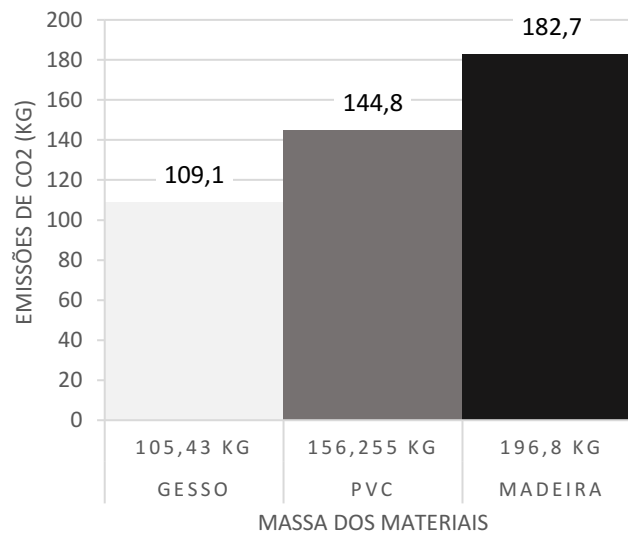
A madeira também carrega uma discussão séria sobre a exploração do recurso no Brasil, cujo alvo principal é a Floresta Amazônica. A perda de carbono da floresta Amazônica representou isoladamente 50% das emissões brasileiras de CO<sub>2</sub> (Brasil, 2010). O problema se agrava quando a madeira da construção civil, ao invés de empregada em usos a longo prazo, geralmente é usada em formas e andaimes, como já discutido. Campos et al. (2011) comenta também sobre as longas distâncias que a madeira percorre internamente no país, afim de abastecer os mercados, tudo contribuindo para a diminuição do estoque líquido de carbono do material. Nesta etapa, inclusive, novamente o PVC aparentou apresentar o quadro mais grave, percorrendo mais de 5.000 km para chegar ao destino final. Apesar disso, a madeira ainda apresentou maiores emissões.

As emissões comparadas à massa de cada material, necessária para a produção, transporte e instalação dos 45,64m<sup>2</sup> de forro finalizado para a HIS considerada estão apresentadas na Figura 11. Os materiais com maior massa no sistema tiveram maior emissão, o que contribuiu para o quadro geral das emissões excessivas de CO<sub>2</sub> para o forro de madeira.

**QUADRO 6:** Resumo das emissões do material principal dos sistemas de forros aplicado à HIS

| HIS (45,64 m <sup>2</sup> ) | Chapas de Gesso         | Régua de PVC            | Lambris de Madeira      |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Emissão de CO <sub>2</sub>  | 0,1091 tCO <sub>2</sub> | 0,1448 tCO <sub>2</sub> | 0,1827 tCO <sub>2</sub> |

FONTE: Autoria Própria (2017).



**FIGURA 11:** Comparação das emissões dos materiais principais de cada sistema com as massas necessárias.

**FONTE:** Autoria Própria (2017).

No geral, é importante destacar que a variação da porcentagem de perdas para a instalação de cada sistema varia com a mão-de-obra e a qualidade. Os sistemas de forro de PVC e madeira, por exemplo, usam lambris, que podem ser encomendados no tamanho exato do vão a vencer, diminuindo as perdas. O dimensionamento dessas perdas também é mais preciso à medida que o processamento dos materiais é mais industrializado. Para o forro de madeira, por exemplo, assim como para forros de gesso que usam blocos de gesso, a produção é mais artesanal, e a precisão das perdas é menor. As emissões referentes ao transporte também variam com o destino final da obra.

## 7. CONCLUSÕES E FUTUROS TRABALHOS

Avaliar o ciclo de vida dos materiais da construção civil é uma necessidade, de agregar valor ao serviço, de sustentar a indústria e de diminuir o impacto da atividade. Os profissionais devem pensar além da estética e da utilidade, mas também pensar as consequências do consumo e a forma como o material será disposto ao fim da sua vida útil.

Os sistemas de vedação horizontal, mais especificamente os forros, costumam não se apresentar em volumes significativos nas obras, mas podem representar potenciais nocivos

à sustentabilidade da edificação. Além disso, os materiais que compõem as diferentes opções de sistemas de forros estão presentes em outros elementos de uma edificação, e como um todo, se tornam significativos e podem gerar prejuízos quanto à sustentabilidade ainda maiores.

O sistema de forro de gesso usa, primordialmente, um material com potencial reciclável, porém, o sistema também engloba aço e papel. O sistema de forro de PVC tem como elemento principal uma resina que exige processamento industrial com demandas muito altas por energia, assim como por matéria prima. O sistema de forro de madeira, então, cujo mercado é desregrado e abriga sérias discussões ambientais de exploração legal, se apresentou o mais nocivo.

Os materiais da construção civil precisam começar a despertar a atenção das discussões sobre sustentabilidade ambiental, indo além do cimento, e indo além da extração, para se preocupar com outros materiais, e com o uso correto e racionalizado dos mesmos.

Este trabalho visa contribuir para a discussão sobre os materiais de menor demanda na construção civil comparados ao concreto, porém, com impacto ambiental também significativo. Os materiais de acabamento, especialmente, como os forros aqui endereçados, são pobres em discussão quanto ao aspecto

ambiental, e suas contribuições para a sustentabilidade da edificação como um todo devem ser avaliadas.

Para futuras contribuições para o assunto, a ACV dos sistemas de forros pode vir a ser completada, com a etapa de disposição final, assim como a avaliação dos impactos desses sistemas.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley M.. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**: Volume 5. São Paulo: Blucher, 2011. (Sustentabilidade)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE CHAPAS PARA DRYWALL. **Manual de Projeto de Sistemas Drywall**: Paredes, Forros e Revestimentos. São Paulo: Drywall, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE PERFIS DE PVC PARA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Programa Setorial da Qualidade de Perfis de PVC para Forros**. São Paulo: AFAP, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRO DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14040: **Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e Estrutura**. Rio de Janeiro, 2014.

ATMACA, A.; ATMACA, N. Life Cycle Energy (LCEA) and Carbon Dioxide Emissions (LCCO<sub>2</sub>A) Assessment of two Residential Buildings in Gaziantep, Turkey. **Energy and Buildings**, vol. 102, p. 417-431, 2015.

BOLIN, C. A.; SMITH, S. T. Life Cycle Assessment of Borate-Treated Lumber with comparison to Galvanized Steel Framing. **Journal of Cleaner Production**, vol. 19, p. 630-639, 2011.

BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília: Ministério de Ciência e Tecnologia, 2010.

BRE ENVIRONMENTAL PROFILES. **Product Category Rules for Type III environmental product declaration of construction products to EN 15804:2012**. BRE Global: Reino Unido, 2013.

BRITISH STANDARD. EN 15804: **Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products**. Brussels: European Committee For Standardization, 2013. 70 p.

CALDAS, Lucas Rosse. **Avaliação do Ciclo de Vida Energético e Emissões de CO<sub>2</sub> de uma Edificação Habitacional Unifamiliar de Light Steel Framing**. Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília (UnB), Brasília – DF

CALDAS, L. R.; LIRA, J. S. De M. M.; MELO, P. C.; SPOSTO, R. M. Life Cycle Carbon Emissions Inventory of brick masonry and light steel framing houses in Brasília: proposal of design guidelines for low-carbon social housing. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 71-85, jul/set 2017.

CAMPOS, E. F.; PUNHAGUI, K. R. G.; JOHN, V. M. Emissão de CO<sub>2</sub> do transporte da madeira nativa da Amazônia. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 2, p. 157-172, 2011.

CHAU, C. K.; LEUNG, T. M.; NG, W. Y. A review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on Buildings. **Applied Energy**, vol. 143, p. 395-413, 2015.

COSTA, Bruno Luis de Carvalho da. **Quantificação das Emissões de CO<sub>2</sub> geradas na Produção de Materiais utilizados na Construção Civil no Brasil**. 2012. 208 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Alberto Luis Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

CURY, Graziela; TOMAZELLO FILHO, Mario. Descrição Anatômica de Espécies de Madeira utilizadas na Construção Civil. **Floresta e Ambiente**, São Paulo, v. 3, n. 18, p.227-236, jul. 2011.

GEORGIA-PACIFIC GYPSUM. **Typical Process of Manufacturing Gypsum Board**. Atlanta: Georgia-pacific Gypsum LLC, 2010.

HILGEMBERG, Emerson Martins. **Quantificação e Efeitos Econômicos do Controle de Emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes do Uso de Gás Natural, Álcool e Derivados do Petróleo no Brasil: Um Modelo Interregional de Insumo-Produto**. 2004. 160 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

INSTITUTO DE PESQUISAS TÉCNICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Madeira: Uso Sustentável na Construção Civil**. 2. ed. São Paulo: IPT, 2009.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. IPCC, Geneva – Suíça, 151 p.



JUNQUEIRA, Christiano Figueiredo; RIBEIRO, Maria Izabel de Paula. Drywall na Construção Civil. **Projectus**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 2, p.1-7, Abril-Junho 2016.

LIMA, Daiana Souza de. **Avaliação do Ciclo de Vida dos Tubos de PVC produzidos no Brasil**. 2010. 63 f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus Rio Claro, Rio Claro, 2010.

LIRA, Júlia Santiago de Matos Monteiro. **Depleção Abiótica e Potencial de Aquecimento Global no Ciclo de Vida de Telhado Verde Comparativamente a um Telhado Convencional**. 2017. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília (UnB), Brasília – DF, 2017.

MOURA, Artur. **Vedações Horizontais**: Forro (Notas de Aula). Natal: Universidade Potiguar, 2012.

NABUT NETO, Abdala Carim. **Energia Incorporada e Emissões de CO<sub>2</sub> de Fachadas: Estudo de Caso do Steel Frame para utilização em Brasília**. Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília (UnB), Brasília – DF, 2011.

PAJCHROWSKI, G.; NOSKOWIAK, A.; LEWANDOWSKA, A.; STRYKOWSKI, W. Wood as a Building Material in the light of Environmental Assessment of Full Life Cycle of Four Buildings. **Construction and Building Materials**, vol. 52, p. 428-436, 2014.

PEDROSO, G. M. **Avaliação de Ciclo de Vida Energético (ACVE) de Sistemas de Vedação de Habitações**. Tese (Doutorado em Construção Civil) – Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília (UnB), Brasília – DF, 2015.

ROCHA, Carlos Augusto Laranjeira da. **O Gesso na Indústria da Construção Civil**: Considerações Econômicas sobre Utilização de Blocos de Gesso. 2007. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

VINYLPLUS. **About PVC**. Disponível em: <<http://www.vinylplus.eu/progress/about-pvc>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

YOSHIOKA, I.; OBATA, D.; NANJO, H.; YOKOZEKI, K.; TORICHIGAI, T.; MORIOKA, M.; HIGUCHI, T. **New Ecological concrete that reduces CO<sub>2</sub> emissions below zero level: new method for CO<sub>2</sub> capture and storage**. Energy Procedia, v. 37, p. 6018-6025, 2013. Elsevier, 2013.