

# Emissões de CO<sub>2</sub> de sistemas de revestimento de argamassa: estudo de caso de aplicação de argamassa projetada comparativamente à aplicação convencional

*CO<sub>2</sub> emissions in mortar coating systems: comparative case study between projected and conventional method*

Hiago Ribeiro Albuquerque  
Júlia Lira  
Rosa Maria Sposto

## Resumo

O processo de produção de edificações contribui significativamente para os impactos ambientais, em especial pelas emissões de gases de efeito estufa (GEE). O revestimento de argamassa ainda é frequentemente realizado de forma convencional no Brasil, apesar da busca do setor pela maior racionalização do processo de produção. É de muita valia analisar os impactos decorrentes da fase de aplicação, buscando alternativas que possam minimizar as emissões de gases poluentes. Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo levantar as emissões de CO<sub>2</sub> a partir da avaliação de ciclo de vida de emissões de CO<sub>2</sub> (ACVCO<sub>2</sub>) entre duas técnicas de aplicação da argamassa: projetada e convencional. A metodologia tem como base um estudo de caso de uma edificação em Brasília, DF, a partir da simulação da execução das técnicas de revestimento analisadas. A ACVCO<sub>2</sub> se restringiu à fase de aplicação do sistema de revestimento. Os resultados indicaram que o reboco projetado apresentou menor percentual de emissão de CO<sub>2</sub>, sendo 50% inferior ao método convencional. Mesmo com o aumento do gasto energético pela utilização de equipamentos, a redução das perdas da técnica de aplicação projetada se mostrou favorável em relação à redução das emissões associadas, sendo um incentivo à difusão de técnicas de construção racionalizadas.

**Palavras-chave:** Argamassa. Sistema de revestimento. Emissões de CO<sub>2</sub>. ACVCO<sub>2</sub>.

## Abstract

*The process of producing buildings has significant environmental impacts, especially through green house gas (GHG) emissions. In Brazil, mortar coating is still often executed by conventional methods, despite the industry's efforts to rationalize the production process. It is worthwhile to analyse the impacts caused during the application phase, looking for alternatives that can minimize the emissions of polluting gases. In this context, this study aims to evaluate CO<sub>2</sub> emissions through the CO<sub>2</sub> Emission Life Cycle Assessment (ACVCO<sub>2</sub>) in two mortar application techniques: projected and conventional. The methodology is based on a case study of a building in Brasília, Brazil, through a simulation of the execution of the two coating techniques analysed. ACVCO<sub>2</sub> was restricted to the application phase of the coating. The results indicate that the projected plaster produces a lower percentage of CO<sub>2</sub> emissions, 50% lower than the conventional method. Even though energy consumption increased due to equipment operation, the reduction in the losses of the projected application technique was favourable in relation to the reduction of associated emissions, which is an incentive to disseminate streamlined construction techniques.*

<sup>1</sup>Hiago Ribeiro Albuquerque  
<sup>1</sup>Universidade de Brasília  
Brasília - DF - Brasil

<sup>2</sup>Júlia Lira  
<sup>2</sup>Universidade de Brasília  
Brasília - DF - Brasil

<sup>3</sup>Rosa Maria Sposto  
<sup>3</sup>Universidade de Brasília  
Brasília - DF - Brasil

Recebido em 10/07/17  
Aceito em 26/02/18

**Keywords:** Mortar. Coating system. CO<sub>2</sub> emissions. ACVCO<sub>2</sub>.

## Introdução

O Brasil encontra-se entre os maiores emissores de gás carbônico proveniente de atividades industriais no planeta, ocupando o sexto lugar no ranking global (SANTORO; KRIPKA, 2016; SEEG..., 2017). A indústria da construção contribui significativamente para a emissão desses gases, que, juntamente com outros gases, tais como o metano, formam os gases de efeito estufa (GEE) (AYE *et al.*, 2012).

Estima-se que o processo de produção de edificações seja responsável por, aproximadamente, 25% das emissões de CO<sub>2</sub> do mundo, incluindo as fases de fabricação de materiais, execução, uso e demolição de edificações (AGOPYAN; JOHN, 2011). Estudos de Freitas Junior *et al.* (2012) mostram que, em média, 12,6% das emissões de uma obra são relacionadas com as argamassas, devido às concentrações de cal e cimento.

Os principais responsáveis pelas altas emissões de carbono provocadas pela argamassa são relacionados à presença do cimento e da cal em sua composição, uma vez que as reações químicas ocorridas na produção do clínquer e da alta quantidade de combustão de origem fóssil para a ativação dos fornos contribuem para a produção e emissão desses gases na atmosfera (SANTORO; KRIPKA, 2016; GAN *et al.*, 2017).

Para Scrivener e Kirkpatrick (2008), a pressão crescente para inovação, com o intuito de melhorar a sustentabilidade, deve-se à produção de cimento representar de 5% a 8% das emissões de CO<sub>2</sub> feitas pelo homem. Segundo a revisão feita por Ali, Saidur e Hossain (2011), esse valor é 7%. No Brasil, a indústria do cimento é responsável por 6,1% de todas as emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil (AGOPYAN; JOHN, 2011).

Paravisi (2008) indica a necessidade de melhoria do processo de produção convencional da argamassa para revestimentos, uma vez que ele gera elevados percentuais de perdas de materiais e baixos índices de produtividade na produção e na aplicação da argamassa. Esse processo ainda ocorre na maioria dos canteiros de obra no Brasil, gerando um produto final com grande variabilidade devido à grande influência pessoal do operador (COSTA, 2005).

Nesse contexto, o processo de produção de revestimento em argamassa vem passando por diversas melhorias desde a década de 80, transformações que vão desde a industrialização do produto argamassa (e o uso de argamassa industrializada) até a mecanização da técnica de

aplicação com o uso de argamassa projetada (GAMA JÚNIOR, 2013).

Zanelatto (2012) afirma que foi com a junção do uso de argamassadeiras e a aplicação direta do material no substrato por bombas de projeção que surgiu um novo patamar na produção de revestimentos, vindo nessa inovação uma oportunidade de diminuir a dependência da mão de obra. Isso gera variabilidade na produção e na qualidade do produto final, além de ser uma forma de aumentar a produtividade e diminuir o percentual de perdas de materiais.

Consequentemente, observa-se no cenário nacional uma lenta substituição da técnica de aplicação manual de argamassas denominada convencional, que usa a força manual, para técnicas mecanizadas e menos dependentes da mão de obra humana (PARAVISI, 2008; ALBUQUERQUE; OLIVEIRA; FEITOSA, 2017).

A técnica de reboco projetado propicia menor percentual de perda de material, tanto nas etapas de transporte, fase que envolve a movimentação horizontal e vertical do material pelo canteiro de obras, quanto na execução do serviço, devido à maior eficácia na coleta e reutilização da argamassa lançada em excesso no substrato (COSTA, 2005; PARAVISI, 2008; TAVARES, 2006, GAMA JÚNIOR, 2013).

Entretanto, pouco se sabe ainda dos impactos ambientais que a implementação de novas técnicas de execução para a produção de argamassas de reboco tende a acarretar. Dessa forma, uma técnica eficaz de mensuração dos impactos é a ACVCO<sub>2</sub>, que se restringe à quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> ao longo do ciclo de vida de um determinado produto.

Esse trabalho tem como objetivo realizar a análise comparativa das emissões de CO<sub>2</sub> referentes à execução do revestimento em argamassa por duas técnicas distintas: de reboco projetado e reboco convencional. Para tal, será realizada a ACVCO<sub>2</sub>, abordando o transporte vertical da argamassa e sua aplicação no estudo de caso em questão.

## Aplicação de argamassa projetada x convencional

Segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005), a argamassa pode ser conceituada como mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s) aglomerante(s) inorgânico(s) e água contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento.

Esse material é o insumo utilizado nos sistemas de revestimento manuais e projetado, variando os critérios de trabalhabilidade que a argamassa deve possuir a partir de seu teor de finos, cimento e água, além da presença de aditivos (BAUER *et al.*, 2006).

### Técnica de projeção mecânica

A aplicação projetada consiste na utilização de bombas de projeção que levam a argamassa, que está armazenada em uma posição estratégica no canteiro de obras ou nas bombas argamassadeiras, até ao local em que será aplicado (Figura 1). Esse método gera uma aplicação contínua de argamassa, garantindo uma boa adesão em toda região de trabalho (COSTA, 2012; LORDSLEEM JUNIOR; MORAIS, 2015).

O método de projeção utilizando bombas tem características que podem proporcionar aumento de produtividade. Primeiramente, tem capacidade de vencer grandes distâncias, reduzindo as perdas de tempo no transporte e no espaço ocupado no canteiro. Outra característica está relacionada ao aumento da produtividade devido ao método não necessitar outros insumos da obra, como guinchos, gruas e operários (PARAVISI, 2008; ZANELATTO, 2012; GAMA JÚNIOR, 2013).

Enquanto isso, as limitações desse método são relacionadas aos critérios de trabalhabilidade da argamassa, que vai desde a viscosidade do material em seu estado fresco, como também em sua aderência ao entrar em contato com o substrato (BAUER *et al.*, 2006; ZANELATTO *et al.*, 2013).

A técnica também se limita aos elevados níveis de pressões necessárias para transportar a argamassa até pavimentos superiores. É preciso gastos periódicos com a manutenção dos equipamentos,

que precisam estar sempre limpos e calibrados para a efetiva utilização em longo prazo, além da necessidade de aquisição ou aluguel dos equipamentos de projeção. Por último, a aplicação de argamassas por bombas precisa ser acompanhada de toda uma logística de materiais e execução (COSTA, 2005; PARAVISI, 2008; GAMA JÚNIOR, 2013).

### Técnica de aplicação manual

A execução do reboco por aplicação convencional é um processo que tem o operário como o único agente essencial para a execução do serviço. Uma vez que a argamassa é produzida, seja dentro ou fora do canteiro de obras, e também transportada ao local de aplicação, por meio de giricas e pranchas mecânicas, o trabalhador realiza a aplicação do material por meio de colher de pedreiro, como é ilustrado na Figura 2 (COSTA, 2005; GEKEK *et al.*, 2016).

Essa técnica se caracteriza pela dependência do trabalhador, seja de suas habilidades e experiência no manuseio e na aplicação do material no substrato, seja também na força de aplicação imposta ao longo do expediente (ALBUQUERQUE; OLIVEIRA; FEITOSA, 2017; PARAVISI, 2008).

Dessa forma, Zanelatto (2012) e Gerek *et al.* (2016) afirmam que esse sistema tende a apresentar heterogeneidades no produto final. Essas não uniformidades são provenientes tanto da diferença de execução entre pedreiros com diferentes técnicas de realização, como também pelas variações na energia de lançamento de argamassa por parte do operador durante horas seguidas de trabalho.

Figura 1- (a) Bomba de projeção de argamassa; e (b) Projeção da argamassa usando bombas



Fonte: Albuquerque, Oliveira e Feitosa (2017).

Figura 2 - (a) Colher de pedreiro usada na execução; e (b) Processo convencional de aplicação



Além disso, visto que essa técnica não usufrui de mangotes e bombas de projeção, há maior fluxo no transporte da argamassa ao local de aplicação e que geralmente requer mais mão de obra no canteiro de obras e também de utensílios, como carrinho de mão e giricas. Paravisi (2008), Lordsleem Junior e Morais (2015) defendem que essa maior movimentação do material pelo canteiro tende a originar mais oportunidades de perdas de material.

## Avaliação de ciclo de vida de emissões de CO<sub>2</sub>

Uma forma de mensurar os impactos ambientais de um produto ou processo é a avaliação do ciclo de vida (ACV), que consiste na mensuração das entradas (consumo de matéria-prima, energia) e saídas (emissões, resíduos, efluentes, etc.) ao longo do ciclo de vida de um produto ou um processo e permite a avaliação do seu desempenho ambiental (INSTITUTO..., 2015). Devido a sua complexidade, pela abrangência de vários impactos ambientais, o setor da construção civil tem utilizado comumente um recorte. Nesse recorte, a ACV possui foco somente em uma categoria de impacto.

Nesse caso, o recorte foi referente às emissões de CO<sub>2</sub>, ou seja, o principal gás de efeito estufa (CABEZA *et al.*, 2014; CHAU *et al.*, 2015). AACVCO<sub>2</sub> vem sendo uma importante ferramenta a fim de quantificar as emissões provenientes do processo de produção de edificações, incluindo os sistemas de revestimento de argamassa, podendo assim indicar melhorias no processo construtivo a fim de torná-lo menos agressivo à atmosfera (SANTORO; KRIPKA, 2016; BESSA, 2010).

De acordo com Atmaca e Atmaca (2015), a ACVCO<sub>2</sub> considera as principais saídas, quantificadas em emissões de gás carbônico,

durante o ciclo de vida de qualquer material, componente, sistema ou processo construtivo.

Uma vez definido o escopo e objetivo geral, que também pode ser reavaliado em qualquer uma das etapas caso se perceba inviabilidades por tamanho, falta de informações e até mesmo tempo para o estudo, é realizada a análise de inventário. Segundo a NBR ISO 14040 (ABNT, 2014), a análise de inventário envolve a coleta de dados e os procedimentos de cálculo para quantificar entradas e saídas relevantes de um sistema de produto.

Em relação aos estudos de ACVCO<sub>2</sub>, alguns trabalhos nacionais possuem relevância pelas contribuições geradas. Primeiramente, destaca-se a pesquisa de Tavares e Lamberts (2008), em que foi realizada a mensuração de CO<sub>2</sub> incorporado em algumas edificações do Brasil. Bessa (2010) realizou a ACVCO<sub>2</sub> em fachadas de construções comerciais a partir de uma metodologia inovadora no cenário brasileiro e que abriu caminho para outras pesquisas.

Costa (2012) obteve, através de uma metodologia fundamentada em equações e fatores de emissão de CO<sub>2</sub> previamente ratificados por referências nacionais e internacionais, a relação entre diversos materiais e componentes da construção civil e suas respectivas contribuições na liberação de gás carbônico. O resultado foi um inventário de grande relevância e que possibilitou o aprofundamento de novos estudos.

Em dois trabalhos mais recentes, Gama Junior (2013) analisou a contribuição dos sistemas de revestimento em argamassa nas emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera. O autor concluiu que o uso da argamassa industrializada é menos agressivo ao meio ambiente do que a argamassa rodada em obra, por apresentar menores taxas de liberação de gases de efeito estufa.

Neste trabalho pretende-se, a partir de uma ACVCO<sub>2</sub>, avaliar e comparar as emissões de CO<sub>2</sub> das técnicas de aplicação de argamassa projetada e convencional.

## Metodologia

Os dados primários envolvidos na análise comparativa entre os dois sistemas de revestimento foram:

- (a) o consumo real de argamassa;
- (b) a quantidade de perdas de material;
- (c) o consumo de óleo diesel por parte dos caminhões transportadores;
- (d) o tempo de utilização de bombas de projeção e da prancha mecânica para execução e transporte.

Para validação da análise por dados primários, com a coleta *in loco* e por observação, foi escolhido um estudo de caso em que foi observada a etapa de revestimento argamassado por oito semanas. A escolha foi por uma edificação de depavimentos situada em Brasília, DF. A edificação foi toda executada pela técnica de reboco projetado. Porém, para a coleta *in loco* a título de comparação, uma unidade de apartamento com 245 m<sup>2</sup> de área de revestimento interno foi executada com a técnica convencional de aplicação. A partir disso, os dados foram obtidos e ampliados, por simulação, para toda a edificação. Ou seja, em uma primeira situação virtual a edificação foi executada pelo reboco projetado e, em uma segunda, pelo reboco convencional.

Todos os valores foram coletados diariamente e originaram-se os resultados médios para cada um dos sistemas de revestimento observados. Dessa forma, foi adotada como unidade funcional do estudo (UF) a realização de 29.838 m<sup>2</sup> de revestimento de argamassa, representando a área total de reboco interno executada nos pavimentos e no subsolo da edificação.

A fronteira para a ACVCO<sub>2</sub> (Figura 3) foi estabelecida do portão ao portão (*gate to gate*), considerando a argamassa já recebida na obra e mensurando somente as emissões referentes ao transporte vertical e a aplicação do revestimento para os dois sistemas em análise (projetado e convencional). O substrato, executado com

alvenaria de bloco cerâmico, encontrava-se chapiscado e pronto para receber a argamassa.

Na análise do inventário (Figura 4) consideraram-se:

- (a) como entradas:
  - a argamassa de revestimento;
  - a energia elétrica utilizada usada nas bombas de projeção (apenas para o sistema projetado) e nas pranchas mecânicas de transporte vertical do material; e
  - o óleo diesel que alimenta os caminhões transportadores de resíduos.
- (b) como saídas:
  - o produto final, no caso a parede de alvenaria revestida; e
  - as liberações de CO<sub>2</sub> e poluentes, bem como a geração de resíduos sólidos.

## Descrição das técnicas de aplicação do reboco

No estudo de caso, cada técnica de aplicação teve características próprias em seus processos de produção de revestimento. O Quadro 1 contém as principais diferenças de cada sistema executivo, indicando tanto as semelhanças em etapas como também parâmetros que se diferenciam entre eles e, consequentemente, que potencialmente acarretam em diferentes agentes emissores de CO<sub>2</sub>.

### Técnica de aplicação com reboco projetado

Na técnica de reboco projetado, o material foi ensacado e transportado por meio de *pallets* e pranchas mecânicas, e armazenado próximo às bombas de projeção, localizadas em pontos estratégicos nos pavimentos. Assim, a bomba de projeção realizou a mistura e o bombeamento da argamassa até as áreas requeridas pelo mangote. Após a projeção, a equipe realizou a primeira uniformização do revestimento com a régua H, recolhendo todos os resíduos gerados (material em excesso ou o que caía no chão) e o reaproveitando na bomba. Em seguida, com o início da pega da argamassa, iniciavam-se o sarrafeamento e o desempenho do reboco. No fim do expediente, procedeu-se à limpeza das bombas de projeção e do local executado (Figura 5).

Figura 3 - Etapas referentes à execução do reboco apontados no estudo

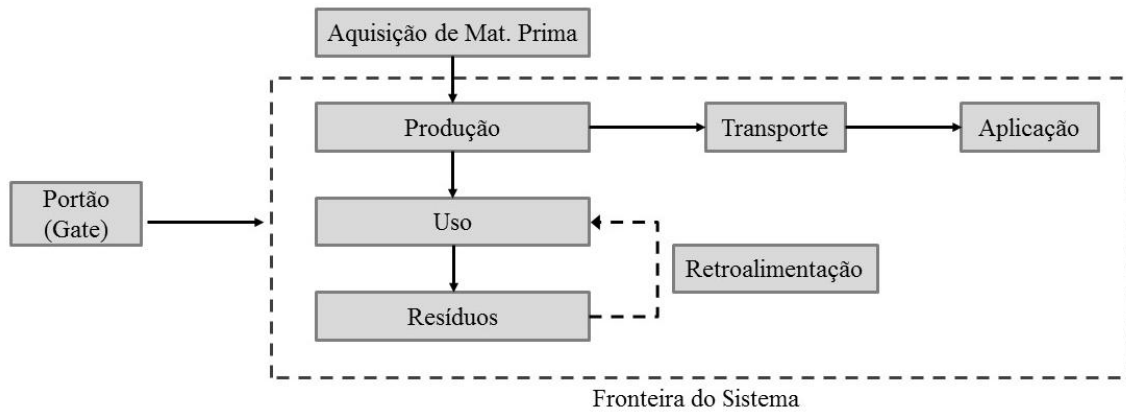
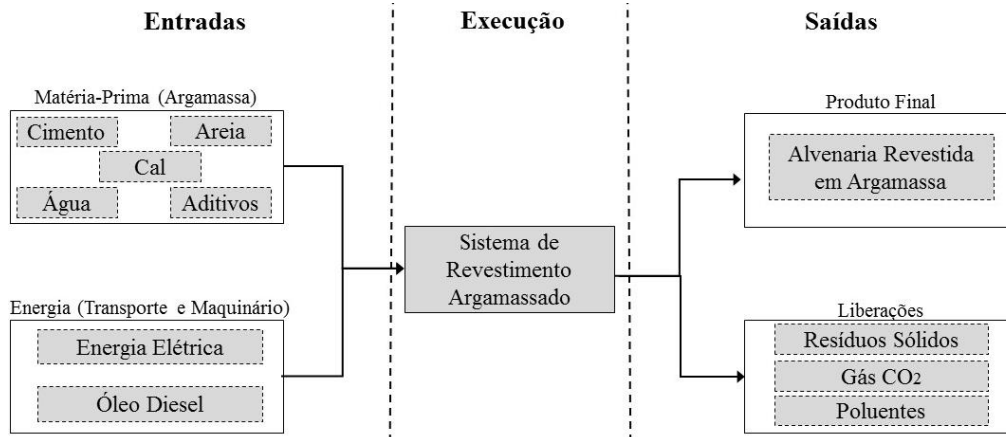


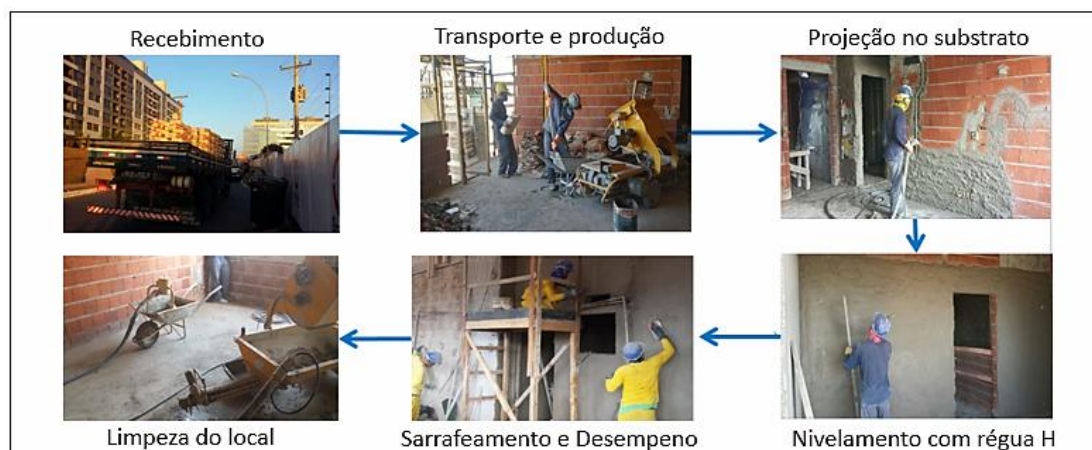
Figura 4- Inventário do ciclo de vida da argamassa de revestimento



Quadro 1 - Comparação dos processos envolvidos na aplicação projetada x convencional

Processos	Argamassa projetada	Argamassa convencional
Tipo de material empregado	Argamassa ensacada	Argamassa estabilizada
Transporte da matéria-prima para o andar de aplicação	Sacos transportados em pranchas mecânicas por meio de <i>pallets</i>	Argamassa úmida transportada em pranchas mecânicas por meio de giricas
Mistura	Material misturado nas argamassadeiras acopladas abombas de projeção	Etapa não necessária no canteiro, visto que a mistura é feita em fábrica
Aplicação	Mecanizada por meio de bombeamento com magote, gerando linhas horizontais de baixo para cima	Manual com colher de pedreiro, gerando faixas horizontais de baixo para cima
Uniformização	Processo iniciado com a argamassa fresca e com pega não iniciada. A etapa é manual e auxiliada com a régua H	Processo iniciado após a pega da argamassa. A etapa é manual e realizada com régua de corte.
Sarrafeamento e desempenho	Etapa manual com régua de corte e desempenadeira	Etapa manual com régua de corte e desempenadeira
Reaproveitamento de material	Sim. Processo realizado com a argamassa em excesso e caída ao chão durante a uniformização com a régua H. O material é recolocado nas bombas de projeção antes de sua pega	Não. Como a uniformização ocorre após a pega da argamassa, o material sarrafeado e em excesso é considerado resíduo de construção e demolição “Classe A”, sendo alocado em caçambas específicas

Figura 5 - Fluxo do sistema projetado de revestimento em argamassa



### Técnica de aplicação de reboco convencional

Na técnica convencional, o transporte vertical até o pavimento ocorreu por meio de giricas através das pranchas mecânicas localizadas nas juntas da construção. Em seguida ao recebimento do produto no apartamento em execução, o profissional realizou o lançamento da argamassa na alvenaria e, após o início da pega, foram executadas as etapas de sarrafeamento e desempeno. Por fim, realizou-se a limpeza das áreas rebocadas (Figura 6).

### Traços e consumo de argamassa

Foi feito um acompanhamento diário durante oito semanas, período no qual a fase revestimento argamassado estava sendo executada no canteiro de obras. Durante o expediente era observada a aplicação da argamassa nos apartamentos, com anotação da quantidade de material utilizado na obra por meio do registro de formulários e posterior armazenamento em planilhas eletrônicas. Na técnica de argamassa projetada, com utilização de argamassa ensacada, contava-se a quantidade diária de sacos processados na bomba de projeção.

Já para o sistema convencional, executado a partir de argamassa estabilizada fabricada fora do canteiro, o registro deu-se a partir do número de giricas que chegavam ao apartamento para a execução do revestimento nos determinados locais de aplicação.

Além disso, foi necessário realizar a análise da variação média de espessura de revestimento nas

áreas executadas a partir de medição direta. Assim, obteve-se o consumo real do sistema de revestimento projetado e convencional. Por último, comparou-se o valor encontrado com o consumo teórico fornecido pelo fabricante.

A aferição *in loco* da espessura média do revestimento indicou que em ambas as técnicas de produção de revestimento foi obtido o mesmo valor de espessura (16,5mm). Em razão disso, infere-se que os sistemas projetado e convencional não tiveram seus valores de consumo real determinados pelas variações de espessuras de argamassa aderido ao substrato.

Para realizar a simulação de toda aplicação do revestimento em argamassa na edificação, foi adotado que a unidade do consumo real seja em  $\text{kg}/\text{m}^2.\text{cm}$ , ou seja, de forma que a espessura de revestimento também tenha valor unitário na unidade de área revestida para ambos os métodos de execução. Dessa forma, a variação no consumo de argamassa terá influência apenas das perdas durante o processo executivo.

Em ambos os casos não foi fornecido pelos fabricantes o quantitativo de cada componente necessário para a produção de  $1 \text{ m}^3$  de argamassa, visto que eles alegaram que esses dados dizem respeito às características da cadeia produtiva da empresa e, conseqüentemente, sua divulgação é limitada. Considerando a restrição apenas da aplicação da argamassa e as perdas das diferentes técnicas para a ACVCO<sub>2</sub>, a análise não foi prejudicada por essa limitação.

Figura 6 - Fluxo do sistema convencional de revestimento em argamassa



### Perdas do sistema

O índice de perdas foi elaborado considerando uma separação em dois fatores: o índice de perdas globais e o índice de perdas por espessura excessiva. Devido à dificuldade de se estimar outras perdas em um canteiro de obra, Costa (2005) propõe a quantificação de toda perda de material proveniente de outros fatores como transporte e falhas no armazenamento e execução a partir da diferença entre as perdas globais e a perda por espessura excessiva, classificado como outras perdas ao longo do processo. Dessa maneira, o estudo considerou perdas somente de material, medido em quilogramas de argamassa.

### Emissões totais de CO<sub>2</sub>

Com os valores de consumo (em quilograma de argamassa por metro quadrado de revestimento executado), bem como os índices de perda de cada técnica, foram utilizadas as equações desenvolvidas por Costa (2012) para obter os valores de CO<sub>2</sub> emitidos nas duas simulações:

- (a) todo o edifício é revestido pela técnica do reboco projetado; e
- (b) todo o edifício é revestido pela técnica de reboco convencional.

Existem diversos métodos para avaliação de impacto ambiental, fase importante na elaboração de uma ACV, durante o ciclo de vida de um material. Neste trabalho foi utilizada a análise híbrida, que, segundo Chau *et al.* (2015), é um método que consiste em utilizar dados de processo sempre que disponíveis para preencher as lacunas de um sistema com os dados de entrada-saída, a fim de avaliar inteiramente a cadeia de um produto.

Atmaca e Atmaca (2015) determinam que a utilização da análise híbrida se torna viável nos casos em que dados suficientes e credíveis já existam, tornando-se um método confiável e de relativa facilidade de obtenção dos dados. Assim, para determinar as emissões de gás carbônico do processo construtivo, é realizada a multiplicação dos coeficientes de emissão de CO<sub>2</sub> híbridos relevantes pelas quantidades finais dos respectivos materiais contidos no edifício, incluindo o desperdício (CHAU *et al.*, 2015).

Pela análise híbrida, buscaram-se fatores de emissão já existentes na literatura nacional e, na sua ausência, literatura internacional. Com os fatores de emissões de CO<sub>2</sub> incorporado encontrados e as quantidades de material estimadas no estudo de caso atual, foi possível calcular as emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera devido à execução do reboco na edificação determinada.

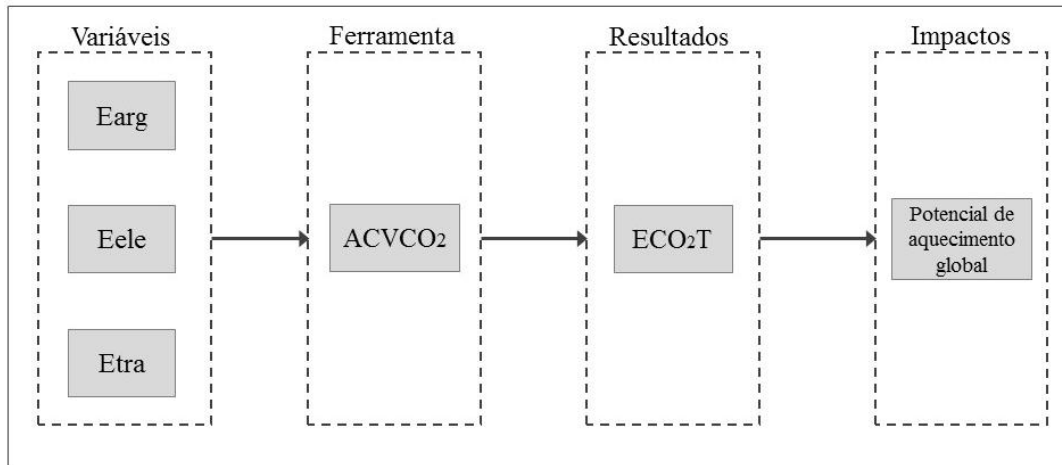
O presente trabalho considera três variáveis referentes às emissões de CO<sub>2</sub> durante a fase de execução do revestimento (Figura 7):

- (a) emissões originadas pelo consumo de argamassa na aplicação de reboco (Earg);
- (b) emissões derivadas da energia elétrica consumida no maquinário necessário para a aplicação do reboco (Eele); e
- (c) emissões relacionadas à queima de óleo diesel por partes dos caminhões transportadores de resíduos de argamassa desperdiçada ou com trabalhabilidade vencida (Etra).

As três variáveis foram adotadas a fim de permitir a análise comparativa entre as técnicas de execução ou aplicação de revestimento a partir da ACV CO<sub>2</sub> como ferramenta, determinando, assim, os originadores de emissão de CO<sub>2</sub> mais influentes em cada uma delas. A relação entre as variáveis e a emissão total de CO<sub>2</sub> é indicada na Figura 7.



Figura 7- Variáveis utilizadas na ACVCO<sub>2</sub>



A quantidade total de CO<sub>2</sub> emitido devido pelo consumo de argamassa é obtida a partir da Equação 1:

$$E_{arg} = (QTAR \times FEPj) / 1000 \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

*Earg* = emissões de CO<sub>2</sub> em razão da utilização do produto (argamassa) em edificações (tCO<sub>2</sub>);

*QTAR* = quantidade real de argamassa necessária na obra (kg); e

*FEPj* = fator de emissão de CO<sub>2</sub> devido à utilização de argamassa em edificações (kgCO<sub>2</sub>/kg de argamassa).

O índice *QTAR* foi baseado no consumo real medido *in loco* (kg de argamassa/m<sup>2</sup> de reboco realizado). Assim, multiplicando o consumo pelo valor total de revestimento produzido, obtém-se a quantidade real de argamassa necessária na obra. O fator de emissão CO<sub>2</sub> (*FEP*) proveniente do uso da argamassa foi obtido a partir da análise híbrida (Tabela 1).

Baseado nos fatores de emissão (*FEP*) utilizados em outros estudos e apresentados na Tabela 2, determinou-se um valor característico de 0,16 kgCO<sub>2</sub> emitidos para a cada quilograma de argamassa consumida, uma vez que esse valor foi utilizado nas três últimas referências nacionais citadas. Assim, o *FEP* adotado para o estudo de caso é 0,16 kgCO<sub>2</sub>/kg.

Para o *Eele*, foram consideradas as emissões de CO<sub>2</sub> ocasionadas pelo consumo de energia elétrica

dos equipamentos necessários para a execução do serviço no canteiro de obras.

Para o cálculo desse fator, utilizou-se a Equação 2 considerando-se dois contribuintes: o primeiro se tratou da prancha mecânica, responsável pelo transporte vertical de argamassa, sendo consumidor de eletricidade em ambas as técnicas de reboco. Além disso, o sistema projetado também gera emissões de CO<sub>2</sub> pela utilização de bombas de projeção.

$$E_{ele} = (P \times T \times FelCO_2) / 1000 \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

*Eele* = emissões de CO<sub>2</sub> provenientes do consumo de eletricidade na execução (tCO<sub>2</sub>);

*P* = potência dos equipamentos (kW);

*T* = tempo de uso do equipamento para a execução do reboco (h); e

*FelCO<sub>2</sub>* = fator de emissões (kgCO<sub>2</sub>/kWh).

Para a relação entre o uso de energia elétrica e a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido, segue na Tabela 2 os fatores de emissão, em kgCO<sub>2</sub>/kWh, encontrados na literatura nacional e que foram usados como referência neste artigo.

Adotou-se neste estudo o fator de emissão de 0,1396 kgCO<sub>2</sub>/kWh obtido pelo Balanço Energético Nacional (BEM) (EMPRESA..., 2016), devido ao fato de ser a fonte mais recente.

Tabela 1- Valores FEP para o uso da argamassa em edificações

Material	Fator emissões de carbono (kgCO <sub>2</sub> /Kg)	Fonte
Argamassa de revestimento	0,2410	Zabalza (2010) - Espanha
	0,3900	Monaham e Powell (2010) - Reino Unido
	0,1500	Radhi e Sharples (2013) - Bahreim
	0,1000	Atmaca e Atmaca (2015) -Turquia
	0,3900	Hammond e Jones (2008) - Reino Unido
	0,1600	Nabut Neto (2011) - Brasil
	0,1637	Costa (2012) - Brasil
	0,1600	Caldas <i>et al.</i> (2016) - Brasil

Tabela 2- Fatores FCO<sub>2</sub> para o consumo de energia elétrica

Material	Fator de emissão (kgCO <sub>2</sub> /kWh)	Fonte
Eletricidade	0,1256	Nabut Neto (2011) - Brasil
	0,1993	Costa (2012) - Brasil
	0,1396	Empresa de Pesquisa Energético (2016) - Brasil

Por último, também foi avaliada a intensidade de CO<sub>2</sub> emitido devido ao consumo de combustível diesel utilizado pelos caminhões para o transporte da argamassa não utilizada, durante o expediente, aos locais de despejo de resíduos sólidos. Assim, conforme a Equação 3, foi calculada a relação entre a quantidade de óleo diesel consumido por esses veículos e o CO<sub>2</sub> lançado na atmosfera.

$$Etra = (Dx \frac{1}{cov} x FECi)/1000 \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

*Etra* = emissões de CO<sub>2</sub> em razão do transporte (tCO<sub>2</sub>);

*D* = distância percorrida pelo veículo no transporte para o descarte da argamassa desperdiçada e vencida em aterros(Km);

*COV* = fator de consumo médio de energia de determinado tipo de veículo(km/L); e

*FECi* = fator de emissão corrigido da energia *i*(kgCO<sub>2</sub>/L).

Na Tabela 3 estão informados os valores de *FEC* utilizados em referências anteriores para auxiliar a determinação do *FEC* característico da metodologia atual. Além disso, foi considerado um caminhão poliguindaste com capacidade de 12 t para o transporte de caçambas com entulho de argamassa.

Optou-se por utilizar os valores obtidos por Caldas *et al.* (2016), uma vez que o autor empregou médias de Truk (2004), Brasil (2011) e GHG Protocol (2012), três referências conceituadas a respeito de ACVCO<sub>2</sub> relacionados ao transporte. Dessa forma, será considerado o consumo médio

do caminhão poliguindaste com capacidade de 12t igual a 0,0196 l/km/t ou 3,4 km/L. O fator de emissão por queima de diesel foi considerado em 2,63 kgCO<sub>2</sub>/L, de acordo com Caldas *et al.* (2017).

Uma vez quantificada as emissões de CO<sub>2</sub> devido ao consumo de argamassa, ao transporte e ao consumo de eletricidade, tem-se que a quantidade total de CO<sub>2</sub> (*ECO<sub>2</sub>T*) em tonelada de CO<sub>2</sub>, conforme a Equação 4.

$$ECO_2T(tCO_2) = Earg + Eele + Etra \quad \text{Eq. 4}$$

O valor de *ECO<sub>2</sub>T* se refere ao total de CO<sub>2</sub> emitido pela execução de argamassa projetada e, por meio de uma simulação, de argamassa convencional. Para mensurar o consumo e as perdas reais, foi escolhida uma edificação em Brasília, DF. No caso da argamassa convencional, a produção em um apartamento foi suficiente para coletar os dados *in loco*. Assim, a simulação foi feita para toda a edificação. Isso para que a unidade funcional fosse toda a edificação mencionada.

## Resultados e discussões

Para melhor entendimento dos resultados obtidos, as emissões de CO<sub>2</sub> ocasionadas por cada uma das variáveis de entrada em estudo (*Earg*, *Eele* e *Etra*) foram divididas por itens.

### Emissões de CO<sub>2</sub> pelo consumo de argamassa (*Earg*)

Sabendo que o *FEP* adotado foi de 0,16 kgCO<sub>2</sub> e, considerando a simulação de 29.838 m<sup>2</sup> de reboco realizado em ambas as técnicas, segue na Tabela 4

as emissões provenientes do consumo de argamassa no canteiro.

O valor de consumo real foi obtido por meio de observação direta no canteiro de obras e registro dos dados.

Em razão disso, infere-se que a emissão de CO<sub>2</sub> proveniente do uso desse material no canteiro de obra não tem como principal influenciador a variação de espessuras entre as técnicas de reboco, mas sim suas perdas potenciais ao longo da execução. Portanto, são essas perdas originadas durante a produção do revestimento (armazenamento, transporte e aplicação) que são determinantes no consumo real da argamassa para uma mesma área revestida e que, conseqüentemente, tendem a ocasionar maiores taxas de emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

O uso da argamassa pela técnica de reboco projetado emitiu 103,60 tCO<sub>2</sub>, enquanto a técnica convencional emitiu 153,73 tCO<sub>2</sub>. A técnica do reboco convencional emitiu 32,6% mais CO<sub>2</sub> do que a do reboco projetado. O resultado pode ser explicado pelo maior consumo real alcançado com a técnica convencional, aproximadamente 32 kg/m<sup>2</sup>.cm. A técnica de reboco projetado consumiu 10,5 kg a menos de argamassa por metro quadrado de parede rebocada.

O menor consumo de argamassa pela técnica de reboco projetado é justificado por Paravisi (2008) e Albuquerque, Oliveira e Feitosa (2017) como consequência da diminuição ou eliminação de

possíveis perdas de argamassa no armazenamento, transporte e execução do sistema. Além disso, desde que o tempo de pega da argamassa não seja iniciado, esse excesso do material gerado durante a uniformização do reboco pode retroalimentar o sistema, sendo reaproveitado na bomba de projeção e lançando no substrato novamente.

O resultado indica a influência direta em menores quantidades de CO<sub>2</sub> lançado ao ambiente devido à quantidade reduzida de material para realizar a mesma quantidade de serviço, uma vez que o processo da reutilização de argamassa se mostrou bem mais eficiente nas equipes que operaram com bombas de projeção, o que também acarretou uma considerável diminuição de resíduos sólidos provenientes de argamassa não utilizada que foram geradas no canteiro de obras e alocadas em caçambas de resíduos para posterior lançamento em aterro.

### Emissões de CO<sub>2</sub> pelo consumo de eletricidade

Tem-se na Tabela 5 a potência de cada equipamento, as horas totais de sua utilização e o valor total de emissão de CO<sub>2</sub> referente ao reboco de 29.838 m<sup>2</sup> (UF) para cada técnica analisada. Para a técnica convencional, considerou-se apenas a energia de mão de obra gasta pelo operário, sendo as emissões de CO<sub>2</sub> consideradas desprezíveis.

Tabela 3 - Fatores FEC para o consumo de óleo diesel

Material	Consumo (L/T.km)	Consumo (km/L)	Emissão de Co <sub>2</sub> Pelo diesel (KgCO <sub>2</sub> /L)	Fonte
Diesel	0,0136	2,5	2,60	TRUK (2004) - USA
	0,0136	2,5	2,63	IPCC
	0,0196	3,4	3,20	(INTERGOVERNMENTAL..., 2006) - Brasil
	0,0400	2,0	2,60	Costa (2012) - Brasil
	0,0136	3,4	2,63	Freitas Junior <i>et al.</i> (2012) - Brasil
				Caldas <i>et al.</i> (2016) - Brasil

Tabela 4 - Emissões de CO<sub>2</sub> provenientes do consumo de argamassa pelos sistemas de revestimento projetado e convencional

Emissões		Consumo real (kg/m <sup>2</sup> .cm)	Qt. de reboco executado (m <sup>2</sup> )	Total de argamassa utilizada (kg)	Fator de emissão (kgCO <sub>2</sub> /Kg)	ECO <sub>2</sub> T (tCO <sub>2</sub> )
Earg	Técnica reboco projetado	21,7	29.838,0	647.484,60	0,16	103,5975
	Técnica reboco convencional	32,2		960.783,60	0,16	153,7254

Pela análise da Tabela 5, na técnica de reboco projetado foram emitidas 0,3720 t de CO<sub>2</sub>, enquanto na técnica convencional apenas 0,0289 t de CO<sub>2</sub>, originados do uso de eletricidade. As emissões provocadas pelo consumo de eletricidade na técnica de reboco projetado foram 1.182% superiores à técnica convencional.

Essa diferença entre as duas técnicas pode ser justificada pela utilização da bomba de projeção, visto que essa máquina apenas foi utilizada na técnica mecanizada de mistura e de aplicação de argamassa, enquanto na técnica convencional foi necessária apenas a prancha mecânica para o transporte vertical.

Entretanto, a prancha mecânica para o transporte vertical foi responsável por emissões de CO<sub>2</sub> com valores próximos nas duas técnicas, com a de reboco projetado apresentando 0,0210tCO<sub>2</sub>, valor aproximadamente 27% inferior comparado pelo resultante da técnica convencional. Esse fato pode ser justificado pelo menor consumo de argamassa por metro quadrado para a realização dessa técnica e, conseqüentemente, menor quantidade de material a ser movimentado verticalmente pelo elevador de carga, considerando o maior aproveitamento de massa pela redução de perdas.

O equipamento mais influente na emissão de CO<sub>2</sub> foi a bomba de projeção, que sozinha foi responsável pela emissão de 0,3520tCO<sub>2</sub>, devido ao período de 374,5 horas totais de operação para que a argamassa fosse devidamente misturada e projetada no substrato por unidade funcional.

### Emissões de CO<sub>2</sub> pelo consumo de óleo diesel no transporte de resíduos sólidos de construção

Com a quantidade de argamassa descartada ao final de todo o processo de aplicação de reboco e sabendo que a capacidade do caminhão para o

transporte de resíduos da construção e demolição (RCD) é de 12 t de carga, foi obtido o número de viagens necessárias que o caminhão deve percorrer para finalizar o serviço de descarte.

Outro dado necessário é que a distância entre a edificação avaliada no estudo de caso e do local de despejo do material não utilizado foi estimada em aproximadamente 30 km, totalizando o percurso de ida e volta em 60 km.

Assim, a partir da Tabela 6 foi possível encontrar a distância total necessária para o descarte da argamassa vencida e desperdiçada durante a técnica de aplicação do reboco projetado e convencional.

A distância percorrida para o transporte de RCD originados da perda de argamassa é consideravelmente superior na técnica de reboco convencional, necessitando de 16 viagens a mais para a sua disposição no aterro.

Sabendo que foi adotado como fator de emissão por queima de diesel o valor de 2,63 kgCO<sub>2</sub>/L, na Tabela 7 é apresentada a emissão de CO<sub>2</sub> originada do transporte de argamassa perdida (*Etra*).

Da Tabela 7 infere-se que a técnica de reboco projetado emite praticamente 0,90 t a menos de CO<sub>2</sub> do que a convencional em relação ao transporte de material descartado, correspondendo à redução de aproximadamente 145% na emissão de CO<sub>2</sub> como consequência da menor quantidade de viagens necessárias para a realização do descarte de argamassa vencida em locais apropriados de armazenamento de RCD.

A menor distância percorrida é justificada pela menor quantidade de argamassa desperdiçada na técnica de reboco projetado, que apresentou um índice de perdas médio de 23,5%. Já na técnica convencional ocorreu um índice de 50,3% de perdas, valor 116% maior que a projetada.

Tabela 5- Emissões de CO<sub>2</sub> provenientes do consumo de eletricidade pelos equipamentos utilizados nas técnicas de reboco projetado e convencional

Sistema de revestimento	Equipamento	Potência (W)	Horas de utilização (h)	Total de KWh	Fator de emissão (kgCO <sub>2</sub> /KWh)	ECO <sub>2</sub> T (tCO <sub>2</sub> )
Projetado	Prancha mecânica (transporte)	11.000	12,46	137,06	0,1396	0,3720
	Bomba de projeção (aplicação)	6.750	374,5	2527,88		
Convencional	Prancha mecânica(transporte)	11.000	18,85	207,35	0,1396	0,0289
	Bomba de projeção (aplicação)	-	-	-		

Dessa forma, comprovou-se que, para o sistema projetado, há maior eficiência do aproveitamento da argamassa antes do vencimento do tempo de uso. Esse fator impactou diretamente na quantidade de viagens necessárias para transporte de resíduos e, conseqüentemente, em menores taxas de emissão de CO<sub>2</sub> pelo consumo de óleo diesel.

### Emissões totais de CO<sub>2</sub>

O valor total (*ECO<sub>2</sub>T*) de CO<sub>2</sub> emitido em cada uma das técnicas foi obtido por meio da soma simples das emissões provenientes dos consumos de material, eletricidade e diesel. Dessa forma, seguem os resultados *ECO<sub>2</sub>T* válidos para o estudo de caso, que simulama execução completa do reboco para cada técnica de aplicação (Figura 8).

A emissão total de CO<sub>2</sub> na execução da unidade funcional foi superior na técnica de reboco

convencional, apresentando 155,2790 tde CO<sub>2</sub>. Enquanto isso, a execução pela técnica de reboco projetado resultou em uma emissão de 104,5907 tCO<sub>2</sub>, indicando um resultado 32,6% inferior quando comparado ao convencional. Isso evitou a emissão de 50,6883 tde CO<sub>2</sub> na atmosfera durante o processo construtivo.

Com a técnica de aplicação do reboco projetado, os resultados exibem maiores emissões consideráveis apenas pela variável *Eele*, fato justificado pela demanda de energia elétrica na utilização da bomba de mistura e projeção durante toda a execução do processo. Apesar disso, na perspectiva da ACVCO<sub>2</sub> completa, essa variável pode ser considerada desprezível, ou seja, mesmo com maior demanda de energia elétrica, as emissões do reboco projetado são minimizadas nas outras etapas analisadas.

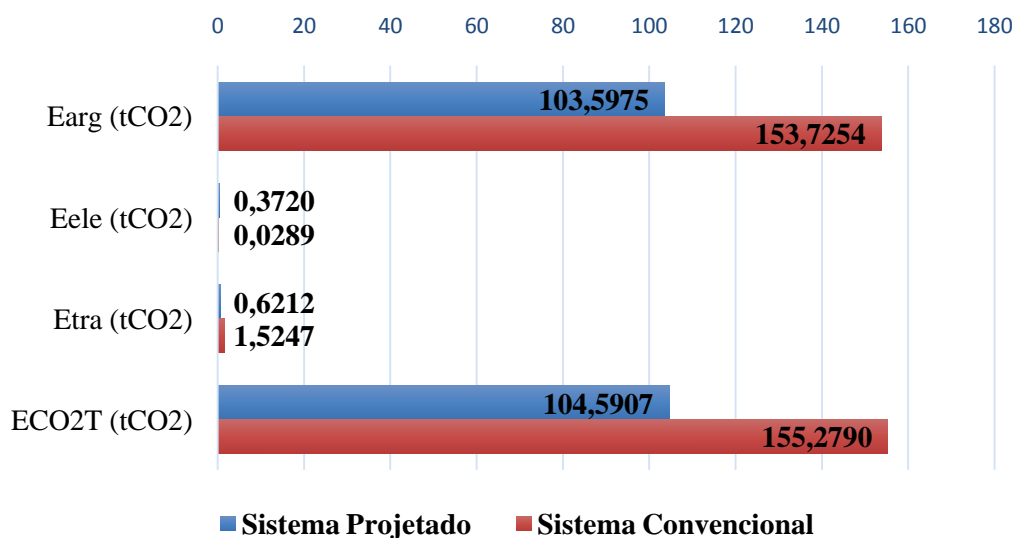
Tabela 6 - Relação entre a quantidade de material descartado e a distância percorrida por caminhões para o transporte de RCD

Sistema de Revestimento	Índice de perdas (%)	Quantidade total de material descartado (kg)	Número de viagens (n)	Distância do canteiro até o aterro - ida e volta (km)	Distância total (km)
Projetado	23,5	133.226,70	11	60	660
Convencional	50,3	322.683,10	27	60	1620

Tabela 7- Emissões de CO<sub>2</sub> provenientes do consumo de diesel no transporte de RSC

Emissões		Consumo de óleo diesel (km/L)	Fator de emissão (kgCO <sub>2</sub> /l)	Distância total (km)	ECO <sub>2</sub> T (tCO <sub>2</sub> )
<i>Etra</i>	Reboco projetado	3,4	2,63	660	0,6212
	Reboco convencional	3,4	2,63	1620	1,5247

Figura 8 -Emissões totais de CO<sub>2</sub> em cada técnica de reboco



Sabendo que a metodologia considerou a simulação em que toda a área disponível (29.838 m<sup>2</sup>) fosse revestida pelas duas técnicas de aplicação, é possível determinar a emissão de CO<sub>2</sub> por cada metro quadrado de reboco executado, a partir da divisão pelo valor total de emissões (*ECO<sub>2</sub>t*) de cada sistema de revestimento.

Assim, a Tabela 8 indica os valores de emissão de CO<sub>2</sub> por cada um dos sistemas, considerando a espessura média final e também suas emissões totais.

Pela tabela percebe-se que o sistema convencional emitiu 3,154 kg de CO<sub>2</sub> para cada metro quadrado de reboco realizado no canteiro, valor 48,5% superior ao emitido no sistema projetado de argamassa, que foi de 2,124 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.cm.

O maior consumo médio de argamassa por metro quadrado de área revestida no reboco convencional, em grande parte explicado pela maior taxa de perdas de material, foi o fator mais influente na emissão de CO<sub>2</sub>. Assim, as emissões de CO<sub>2</sub> estão mais associadas às perdas de material, que foram consideravelmente maiores na aplicação manual, do que ao processo de execução em si. Mesmo com espessuras médias praticamente iguais, os dois sistemas tiveram emissões unitárias nitidamente distintas, uma vez que apresentaram consumos reais diferentes, sendo essas justificadas pelas maiores perdas de argamassa durante o processo. Dessa forma, considerando apenas a variável *Earg*, a técnica convencional emitiu quase 50% mais de CO<sub>2</sub> que a técnica de reboco projetado. Além disso, as emissões originadas pelo transporte de material residual também foram maiores em 145% na técnica convencional, o que também pode ser justificado pelo maior percentual de perda característico desse método.

## Conclusão

A ACVCO<sub>2</sub> se mostrou eficaz como uma ferramenta de comparação entre duas técnicas de aplicação de reboco, visto que foi possível quantificar as emissões de CO<sub>2</sub> e identificar as variáveis responsáveis por essas liberações na

atmosfera. Além disso, conclui-se que a ACVCO<sub>2</sub> auxiliou na identificação dos pontos de maiores impactos ambientais, encontrando altos índices de emissão de CO<sub>2</sub> por parte da técnica convencional devido aos maiores índices de perdas, fator que foi o mais impactante na comparação entre as emissões de cada sistema.

A utilização de energia elétrica pelos equipamentos auxiliares pode ser considerada desprezível em termos de emissões. Mas considerando uma análise apenas dessa variável, observou-se o menor uso de eletricidade pelo método convencional. Mesmo assim, não foi suficiente para trazer menores emissões de CO<sub>2</sub> alusivas ao sistema como um todo.

A técnica de reboco projetado de revestimento propiciou menores quantidades de emissões originadas pelo menor consumo de argamassa (variável *Earg*). A fim de reduzir as taxas de emissão de GEE devido à execução do reboco em canteiro de obras, torna-se essencial aprimorar, de maneira não pontual, os sistemas de produção tanto por meio de motores mais eficientes como no desenvolvimento de equipamentos que demandem menor quantidade de eletricidade, como argamassadeiras e bombas de projeção.

A combustão do diesel por parte dos caminhões transportadores além de representar menos de 1% do total de emissões foi definida por Caldas *et al.* (2017) como uma etapa de baixa prioridade. O que se pode perceber é a diferença significativa no número de viagens nas duas técnicas analisadas, diretamente proporcional ao montante de perdas.

Nota-se que o maior volume de descarte de argamassa pelo método convencional gerou consequências tanto nas emissões de CO<sub>2</sub> referentes ao transporte de resíduos pelos caminhões de entulho como na execução da área revestida, que conseqüentemente necessitou de maior quantidade de argamassa para finalizar o revestimento da edificação. Esse maior consumo de material, por sua vez, resultou em maiores emissões de CO<sub>2</sub> no canteiro de obras.

Tabela 8 - Emissões de CO<sub>2</sub> por unidade de área de revestimento executada

Emissões	<i>ECO<sub>2</sub>T</i> (tCO <sub>2</sub> )	Área total revestida (m <sup>2</sup> )	Espessura média de revestimento (cm)	Emissão de CO <sub>2</sub> por metro quadrado de revestimento (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .cm)
Sistema projetado	104,5907	29838,00	1,65	2,124
Sistema convencional	155,2790		1,65	3,154

A redução de perdas originadas do processo construtivo representa um ponto crucial para a minimização de emissões de GEE, mesmo que para isso seja necessário um maquinário e um aumento da demanda energética. É válido ressaltar que esses resultados estão limitados à realidade brasileira, em que a matriz energética é considerada renovável.

Os objetivos propostos do estudo foram devidamente atingidos, uma vez que as emissões de CO<sub>2</sub> em cada sistema construtivo de reboco foram quantificadas e comparadas, indicando que para o cenário analisado o método projetado com argamassa industrializada resultou em menores emissões de CO<sub>2</sub> e, conseqüentemente, originou impactos ambientais alusivos à presença de gases do efeito estufa em menor intensidade do que o método convencional.

## Referências

- AGOPYAN, V.; JOHN, V. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. São Paulo: Blucher, 2011.
- ALBUQUERQUE, H.R.; OLIVEIRA, M.H; FEITOSA, C.H.P. Estudo do Desempenho dos Sistemas de Revestimento em Alvenaria: comparação entre sistemas tradicionais e mecanizados. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO E EUROPEU SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS (EURO-ELECS), São Leopoldo, 2017. **Anais...** São Leopoldo, 2017.
- ALI, M.; SAIDUR, R.; HOSSAIN, M.A Review on Emission Analysis in Cement Industries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 2252-2261, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 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**, v. 102. p. 417-431, 2015.
- AYE, L. *et al.* Life Cycle Greenhouse Gas Emissions and Energy Analysis of Prefabricated Reusable Building Modules. **Energy and Buildings**, v. 47, p. 159–68, 2012.
- BAUER, E. *et al.* Rendering Mortars Consistency and Its Relationship With Water Demand and Fine Particles Content. **e-mat - Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil**, v. 3, n. 2, p. 91-102, 2006.
- BESSA, V. M. T. **Contribuição à Metodologia de Avaliação das Emissões de Dioxido de Carbono no Ciclo de Vida das Fachadas de Edifícios de Escritórios**. São Paulo, 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários**. Brasília, 2011.
- CABEZA, L. F. *et al.* Life Cycle Assessment (LCA) and Life Cycle Energy Analysis (LCEA) of Buildings and the Building Sector: a review. **Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29, p. 394-416, 2014.
- CALDAS, L. R. *et al.* Life Cycle Carbon Emissions Inventory of Brick Masonry and Light Steel Framing Houses in Brasilia: proposal of design guidelines for low-carbon social housing. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 71-85, jul./set. 2017.
- CALDAS, L. R. *et al.* Sustentabilidade na Construção Civil: avaliação do ciclo de vida energético e de emissões de CO<sub>2</sub> de fachadas para habitações sociais. **Sustentabilidade em Debate**, v. 7, p. 238-256, 2016.
- CHAU, E. K. *et al.* A Review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings. **Applied Energy Journal**, v.143. p. 395-413, 2015.
- COSTA, B. L. C. Quantificação das Emissões de CO<sub>2</sub> Geradas na Produção de Materiais Utilizados na Construção Civil no Brasil. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.
- COSTA, F. N. **Processo de Execução de Revestimento de Fachada de Argamassa: problemas e oportunidades de melhoria**. Porto Alegre, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2016**: relatório síntese ano-base 2015. Rio de Janeiro, 2016.

- FREITAS JÚNIOR, J. *et al.* Estudo Comparativo da Carga de CO<sub>2</sub> em Edifício, Analisado em Concreto Armado e Alvenaria Estrutural. In: IBRACON, 54., Alagoas, 2012. **Anais...** Alagoas, 2012.
- GAMA JUNIOR, A. C. A. **Diretrizes Com Base em Avaliação do Ciclo de Vida Para Redução de Emissão de Dióxido de Carbono em Revestimento de Argamassa.** Goiânia, 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.
- GAN, V. *et al.* Developing a CO<sub>2</sub>-e Accounting Method for Quantification and Analysis of Embodied Carbon in High-Rise Buildings. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 825-836, 2017.
- GEREK, I. H. *et al.* Evaluation of Plastering Crew Performance in Building Projects Using Data Envelopment Analysis. **Technological and Economic Development of Economy**, v. 22, n. 6, 2016.
- GHG PROTOCOL. **Inventário de Gases de Efeito Estufa.** Centro de Estudos em Sustentabilidade – FGV EAESP, São Paulo, 2012.
- MONAHAN, J.; POWELL, J. An Embodied Carbon and Energy ANALYSIS of modern Methods of Construction in Housing: a case study using a lifecycle assessment framework. **Energy and Buildings**, 2010.
- HAMMOND, G.; JONES, C. Embodied Energy and Carbon in Construction Materials. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Energy**, v. 161, 2008.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Diálogos Setoriais no Brasil e União Europeia Desafios e Soluções para o Fortalecimento da ACV no Brasil.** Brasília, 2015.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Japão: IGES, 2006. National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- LORDSLEEM JUNIOR; A.C.; MORAIS, G. A. T. Mortar Coating by Mechanical Projection: characterization and indicators. **Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, v. 20, p. 9969-9984, 2015.
- NABUT NETO, A. C. **Energia Incorporada e Emissões de CO<sub>2</sub> de Fachadas:** estudo de caso do steel frame para utilização em Brasília, DF. 117 f. Brasília, 2011. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.
- PARAVISI, S. **Avaliação de Sistemas de Produção de Revestimentos de Fachada Com Aplicação Mecânica e Manual de Argamassa.** Porto Alegre, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- SANTORO, J. F.; KRIPKA, M. Determinação das Emissões de Dióxido de Carbono das Matérias Primas do Concreto Produzido na Região Norte do Rio Grande do Sul. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 35-49, abr./jun.2016.
- SCRIVENER, K.; KIRKPATRICK, R. Innovation in Use and Research on Cementitious Material. **Cement and Concrete Research**, v. 38, n. 2, p.128-136, fev. 2008.
- SEEG BRASIL. **Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa.** Disponível em: <<http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2016/11/IMF-infografico-GEE-Brasil-2015.png>>. Acesso em: 06 jun. 2017.
- TAVARES, S. F.; LAMBERTS, R. CO<sub>2</sub> Embutido nas Edificações Residenciais Brasileiras. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Natal, 2008. **Anais...** Natal, 2008.
- TAVARES, S. F. **Metodologia de Análise do Ciclo de Vida Energético de Edificações Residenciais Brasileiras.** Florianópolis, 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- TRUK CONSULTORIA. **Produto Nacional do Transporte Rodoviário de Cargas – PTRC:** O Modelo TRUK de Cálculo. Brasília, 2004.
- ZABALZA, I. Life Cycle Assessment of Building Materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. **Building and Environment**, 2010.
- ZANELATTO, K. C. **Avaliação da Técnica de Execução no Comportamento dos Revestimentos de Argamassa Aplicados Com Projeção Mecânica Contínua.** São Paulo, 2012. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.



ZANELATTO, K. C. *et al.* Avaliação da  
Influência da Técnica de Execução no  
Comportamento de Revestimento de Argamassa  
Aplicado Com Projeção Mecânica Contínua.  
**Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 2,  
p. 87-109, abr./jun. 2013.

**Hiago Ribeiro Albuquerque**

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia | Universidade de Brasília | Prédio SG 12, Campus Darcy Ribeiro  
| Brasília - DF - Brasil | CEP 70910 900 | Tel.: (61)99622-1804 | E-mail: hiago.ribeiro@hotmail.com

**Júlia Lira**

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia | Universidade de Brasília | Tel.: (86) 99852-7202 | E-mail:  
juliasanttiago@gmail.com

**Rosa Maria Sposto**

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia | Universidade de Brasília | Tel.: (61) 3274-1517 Ramal 211 |  
E-mail: rosasposto@gmail.com

***Revista Ambiente Construído***

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído  
Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro  
Porto Alegre - RS - Brasil  
CEP 90035-190  
Telefone: +55 (51) 3308-4084  
Fax: +55 (51) 3308-4054  
[www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido](http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido)  
E-mail: [ambienteconstruido@ufrgs.br](mailto:ambienteconstruido@ufrgs.br)



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.