

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANA CAROLINA SANTOS ANDRADE

EDIFÍCIOS NEUTROS EM CARBONO: ESTUDO DE CASO DO  
USO DE JARDINS VERTICAIS

CURITIBA

2020

ANA CAROLINA SANTOS ANDRADE

EDIFÍCIOS NEUTROS EM CARBONO: ESTUDO DE CASO DO  
USO DE JARDINS VERTICAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono, Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. José de Almendra Freitas Junior

CURITIBA

2020

## RESUMO

As mudanças climáticas têm sido um dos temas relacionados ao meio ambiente mais discutidos na atualidade. Dentre os Gases de Efeito Estufa (GEEs), encontra-se o Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), principal gás quando se fala de redução de emissões atmosféricas. A construção civil, como outros setores, está vivendo o desafio de reduzir suas emissões atmosféricas, tendo em vista essa demanda, este estudo de caso tem o objetivo de analisar a aplicação de jardins verticais para a construção de edifícios neutros em carbono. Para tanto, foram levantadas as emissões de CO<sub>2</sub> para a construção de uma parede de alvenaria, as emissões sequestradas pelo jardim vertical e se chegou a um balanço de CO<sub>2</sub> para o estudo, como principal responsável pelas emissões está o bloco de concreto e para a fixação o principal representante foi o substrato. O balanço encontrado foi positivo em 85,32 kg CO<sub>2</sub> sequestrado a mais do que emitido, indicando que os jardins verticais podem ser utilizados como neutralizadores de carbono nas edificações, recomenda-se a construção de jardins verticais para mitigar as emissões de carbono provenientes de obras de construção civil.

**Palavras-chave:** Emissões de CO<sub>2</sub>; Jardim Vertical; Construção Civil; Gases de Efeito Estufa.

## ABSTRACT

Climate change has been one of the most discussed issues related to the environment today. Among the Greenhouse Gases (GHGs), there is Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>), the main gas when it comes to reducing atmospheric emissions. Civil construction, like other sectors, is experiencing the challenge of reducing its atmospheric emissions, in view of this demand, this case study aims to analyze the application of vertical gardens for the construction of carbon neutral buildings. For this purpose, CO<sub>2</sub> emissions were raised for the construction of a masonry wall, the emissions sequestered by the vertical garden and a CO<sub>2</sub> balance was reached for the study, as the main responsible for emissions is the concrete block and for the fixation the main representative was the substrate. The balance found was positive in 85.32 kg CO<sub>2</sub> sequestered more than emitted, indicating that vertical gardens can be used as carbon neutralizers in buildings, the construction of vertical gardens is recommended to mitigate carbon emissions from civil construction works.

**Keywords:** CO<sub>2</sub> emissions; vertical Garden; civil construction; greenhouse gases.

## LISTA DE SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland  
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
AR1 – Primeiro Relatório de Avaliação  
C – Carbono  
CBCS – Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis  
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
CH4 – Metano  
CIN – Comitê Intergovernamental de Negociações  
CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono  
COP – Conferência das Partes  
CP – Cimento Portland  
EPD – Declaração Ambiental de Produto  
FE – Fator de Emissão  
FIO – Faculdades Integradas de Ourinhos  
GEEs – Gases de Efeito Estufa  
GWP – Potencial Global de Aquecimento  
GWP100 - Potencial Global de Aquecimento para 100 anos  
HCFCs – Hidrofluorcarbonetos  
IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração  
IEA – Agencia Internacional de Energia  
IMPM – Indústria de Madeira Processada Mecanicamente  
IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas  
N<sub>2</sub>H – Óxido Nitroso  
NBR – Norma Brasileira Regulamentadora  
PFCs – Perfluorcarbonetos  
PVC - Policloreto de Vinila  
SF6 - Hexafluoreto de Enxofre  
UNEP – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente  
WMO – Organização Meteorológica Mundial

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> DE PROCESSOS INDUSTRIAIS RELACIONADOS À CONSTRUÇÃO CIVIL .....	13
TABELA 2 - EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> PARA CIMENTO.....	18
TABELA 3 - EMISSÕES PARA 1M <sup>3</sup> DE CONCRETO COM CIMENTO CP V-ARI. ....	19
TABELA 4 - EMISSÕES PARA 1M <sup>3</sup> DE CONCRETO COM CIMENTO CP II-E-32 .....	20
TABELA 5 - EMISSÕES PARA 1M <sup>3</sup> DE CONCRETO COM CIMENTO CP II-F-32 .....	20
TABELA 6 - FATORES DE EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> DOS INSUMOS UTILIZADOS PARA CONSTRUÇÃO DA PAREDE E DO JARDIM VERTICAL. ....	27
TABELA 7 - QUANTIFICAÇÃO DO MATERIAL UTILIADO CONSTRUÇÃO DAS PAREDES DE ALVENARIA E JARDIM VERTICAL.....	28
TABELA 8 - QUANTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS QUE FIXÃO CARBONO .....	29
TABELA 9 - QUANTIDADE DE CO <sub>2</sub> EMITIDO.....	30
TABELA 10 - QUANTIDADE DE CO <sub>2</sub> FIXADO.....	30

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE JARDINS VERTICAIS BASEADA NAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS .....	14
FIGURA 2 - TIPOS DE FACHADA VERDE .....	15
FIGURA 3 - IMPLANTAÇÃO DO CAMPUS DAS FIO .....	24
FIGURA 4 - LOCALIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO .....	25
FIGURA 5 - GRÁFICO DE EMISSÃO DE CO <sub>2</sub> POR MATERIAL.....	31
FIGURA 6 - GRÁFICO DO CO <sub>2</sub> FIXADO POR MATERIAL .....	32

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	8
1.1 JUSTIFICATIVA .....	9
1.2 OBJETIVOS .....	9
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	9
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	11
2.1 GASES DE EFEITO ESTUFA E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS .....	11
2.2 CONSTRUÇÃO CIVIL E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS .....	12
2.3 JARDINS VERTICAIS .....	13
2.4 SISTEMA CONSTRUTIVO EM ALVENARIA DE VEDAÇÃO .....	15
2.5 MATERIAIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA.....	16
2.5.1 AÇO.....	16
2.5.2 CIMENTO.....	17
2.5.3 CAL .....	18
2.5.4 AREIA.....	18
2.5.5 CONCRETO.....	19
2.5.6 ARGAMASSA.....	20
2.5.7 TINTAS.....	21
2.5.8 MATERIAIS DA MADEIRA.....	21
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	23
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	23
3.2 ESCOPO DE ESTUDO .....	24
3.4 LEVANTAMENTO DOS MATERIAIS UTILIZADOS E SEUS FATORES DE EMISSÃO .....	26
3.5 CÁLCULO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA.....	27
<b>4 RESULTADOS</b> .....	30
<b>CONCLUSÃO</b> .....	34
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	35



## 1 INTRODUÇÃO

As ações antrópicas vêm causando grandes danos ao planeta, um deles é o aumento das temperaturas, um fenômeno conhecido como Mudanças Climáticas. A Terra tem naturalmente gases na atmosfera que são responsáveis pela manutenção na vida da Terra, evitando que todo o calor emitido pela radiação solar seja dissipado completamente, o chamado efeito estufa. O problema é quando a quantidade de Gases de Efeito Estufa (GEEs) aumenta drasticamente, o que antes era um efeito natural passa a ser um processo acelerado, causando mudanças nas características climáticas. Dentro desse contexto, o tema mudanças climáticas passa a ser abordado mais seriamente pelos países e governos, o que levou ao Protocolo de Quioto, em 1997, um Tratado definindo metas de redução de emissões de gases de efeito estufa, do qual o Brasil faz parte desde 2002.

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), as fontes de emissão de gases de efeito estufa são divididas em quatro áreas: energia; processos industriais e uso de produtos; agricultura; florestas e outros usos do solo e resíduos. A construção civil dentro do IPCC é analisada somente em sua fase de operação, com enfoque em usos de energia mais eficientes. Apesar de não estar definida dentro de uma das quatro áreas especificamente, a construção civil está ligada diretamente ao setor de processos industriais, pois seus insumos têm origem na indústria (aço, cimento, cal, cerâmicas, alumínio, concreto, entre outros) e, por consequência, ao setor de energia tendo em vista que as indústrias que fabricam os materiais de construção são as maiores consumidoras de energia e maiores emissoras de GEEs do país (BRASIL, 2018).

Sendo assim, no âmbito de redução de emissões de GEEs, a construção civil exerce um papel muito importante, pois consome grande quantidade de matéria prima e energia. Segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP, 2009), a construção civil por atuar como grande fonte das emissões do setor industrial, também possui grande potencial de redução de emissões com um custo significativamente baixo.

O atual desafio para a indústria da construção civil é produzir edifícios “neutros em carbono”, o que significa alcançar o equilíbrio entre as quantidades

de carbono emitidas e a quantidade sequestrada. Com esse objetivo, a utilização de madeira na construção é muito incentivada, pois a mesma atua no elemento de fixação de carbono dentro da edificação, isso, pois, 40 a 45% da massa da madeira é composta de Carbono (C) que representa apenas uma parte da molécula de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), sendo assim, para cada unidade de massa de carbono fixada, 3,667 unidades de CO<sub>2</sub> deixam de ser emitidas (FREITAS JUNIOR; COSTA; SANQUETTA, 2017).

Desta forma o jardim vertical nesse estudo vem atuar como elemento de fixação de carbono através da vegetação e do solo. O conceito de jardim vertical segundo Loh (2008) refere-se à vegetação que cresce diretamente na parede da construção ou em um sistema estrutural separado, podendo ser independente ou fixo na parede. Os jardins verticais são comumente utilizados como auxiliar para a eficiência energética de edifícios, proporcionando conforto térmico e sombreamento (SILVEIRA; PADOVAN; FONTES, 2019).

## **1.1 Justificativa**

Ao analisar a produção de insumos e materiais para construção civil percebe-se a grande geração de emissões de gases de efeito estufa durante os processos de transformação da matéria-prima e o grande consumo de energia elétrica pelas indústrias.

Visando contribuir com o desenvolvimento sustentável da construção civil através de alternativas para a consolidação dos “edifícios neutros em carbono”, este trabalho propõe a realização de um estudo sobre a utilização de jardins verticais como forma de armazenamento de carbono e para o aumento da eficiência energética do edifício.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Analisar a aplicação de jardins verticais como para a construção de edifícios neutros em carbono.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Quantificar o carbono fixado no jardim vertical;
- Quantificar o carbono que o jardim vertical e a parede suporte emitem para serem construídas;
- Fazer o balanço entre o carbono emitido e o carbono fixado;

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir serão apresentados os conteúdos utilizados para fundamentar a elaboração do presente estudo de caso.

### 2.1 Gases de efeito estufa e as mudanças climáticas

Com a crescente preocupação político pública e com o avanço das pesquisas científicas sobre a influência das ações antrópicas sobre o planeta e sobre os aspectos ambientais, o meio ambiente e as mudanças climáticas passaram a ser relevantes a partir da década de 1980. Com a necessidade de informações mais concretas e com base científica em 1988, a Organização Meteorológica Mundial (WMO) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) estabeleceram o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC).

Em 1990 o IPCC lançou seu Primeiro Relatório de Avaliação (AR1) que confirmou que a mudança climática era de fato uma ameaça e incentivou um acordo global para tratar do problema, a repercussão sobre o assunto fez a Assembleia Geral das Nações Unidas estabelecerem um Comitê Intergovernamental de Negociações (CIN) para conduzir as negociações sobre o assunto. O CIN adotou posteriormente a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, que foi aberta para assinaturas durante a chamada “Cúpula da Terra”, no Rio de Janeiro em 1992, entrando em vigor em 1994. Atualmente, cerca de 200 países e a Comunidade Europeia fazem parte da Convenção, todos os anos as partes se reúnem para dar continuidade as discussões sobre o clima através da Conferência das Partes (COP).

Durante a terceira COP em Quioto, no Japão, em 1997, foi adotado o grande marco sobre as mudanças climáticas, o Protocolo de Quioto, que estabeleceu metas de redução de emissões de gases de efeito estufa de 5,2% abaixo dos níveis observados em 1990 para países industrializados, durante o período de 2008-2012, chamado de primeiro período, sendo o segundo de 2013-2020 com meta de redução de 18%.

Segundo o Protocolo de Quioto, os principais gases de efeito estufa são, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>H), hexafluoreto de

enxofre (SF<sub>6</sub>), além de duas famílias de gases: os hidrofluorcarbonetos (HFCs) e os perfluorcarbonetos (PFCs). Dentre os GEEs, os mais importantes são: o dióxido de carbono, pois representa 77% do total de emissões globais de GEE em 2004, além do metano e do óxido nitroso, que apesar de serem emitidos em menor quantidade tem Potencial Aquecimento Global (GWP) muito elevado. Os GEEs possuem diferentes potenciais de aquecimento global (Quadro 1), devido as suas diferentes propriedades radioativas e seu tempo de permanência na atmosfera, seu potencial de aquecimento é expresso através uma métrica comum baseado no potencial de aquecimento do CO<sub>2</sub> (IPCC, 2007).

Quadro 1 - Gases de efeito estufa e seu Potencial de Aquecimento Global

<b>Gás</b>	<b>Símbolo</b>	<b>GWP</b>
<b>Dióxido de carbono</b>	CO <sub>2</sub>	1
<b>Metano</b>	CH <sub>4</sub>	21
<b>Óxido nitroso</b>	N <sub>2</sub> O	310
<b>Hidrofluorcarbonos</b>	HFC-23	11.700
	HCF-125	2.800
	HCF-134a	1.300
	HCF-143a	3.800
	HCF-152a	140
<b>Perfluorcarbonos</b>	CF <sub>4</sub>	6.500
	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	9.200
<b>Hexafluoreto de enxofre</b>	SF <sub>6</sub>	23.900

Fonte: Brasil, 2013

## 2.2 Construção civil e as mudanças climáticas

Como dito anteriormente, a construção civil tem um papel muito importante no que tange as emissões de GEEs e, por consequência, às mudanças climáticas. Sua grande participação nas emissões de gases de efeito estufa vem da fabricação dos insumos, cimento, cal, aço, alumínio, entre outras, e do consumo de energia elétrica.

De acordo com a International Energy Agency (IEA, 2018), atualmente, as emissões de GEE relacionadas à energia, incluindo metano, óxido nitroso e CO<sub>2</sub>; chegam a cerca de 39 Gt equivalentes a CO<sub>2</sub>. Onde, os edifícios representam quase 9% das emissões, a produção de cimento e das operações de petróleo e gás representam 7% cada, e aço representa cerca de 5% do total emitido no mundo.

A construção e a operação de edifícios são responsáveis por 36% do consumo final de energia global e quase 40% do total de emissões de CO<sub>2</sub>. A demanda de energia da construção continua a aumentar em quase 3% ao ano (IEA, 2019).

Além disso, a construção civil também utiliza muitos recursos naturais, pois os mesmos são utilizados como matéria prima. De acordo com o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS, 2009), de 40% a 75% dos recursos naturais, descontando água e energia, extraídos no planeta são para uso na construção civil.

A Tabela 1 apresenta a quantidade de emissões geradas pelos processos indústrias relacionadas aos principais insumos da construção civil no Brasil.

Tabela 1 - Emissões de CO<sub>2</sub> de processos industriais relacionados à construção civil

Processos Industriais	Emissões de CO <sub>2</sub> (Gg CO <sub>2</sub> )				
	1990	1995	2000	2005	2010
<b>Produção de Cimento</b>	11.062	11.528	16.047	14.349	21.288
<b>Produção de Cal</b>	3.688	4.104	5.008	5.356	5.950
<b>Produção de vidro</b>	67	64	89	116	114
<b>Ferro-gusa e aço</b>	21.601	30.130	35.552	37.509	38.360
<b>Alumínio</b>	1.574	1.965	2.116	2.472	2.543

Fonte: Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convergência-Quadro das Nações Unidas

Além das emissões geradas na fase de fabricação dos insumos da construção civil, os edifícios também emitem GEEs, em sua vida útil e sua posterior demolição. Considerando todas as fases da construção civil é responsável por 40% do consumo de energia e 40% das emissões de GEEs no mundo (FREITAS JUNIOR, 2019).

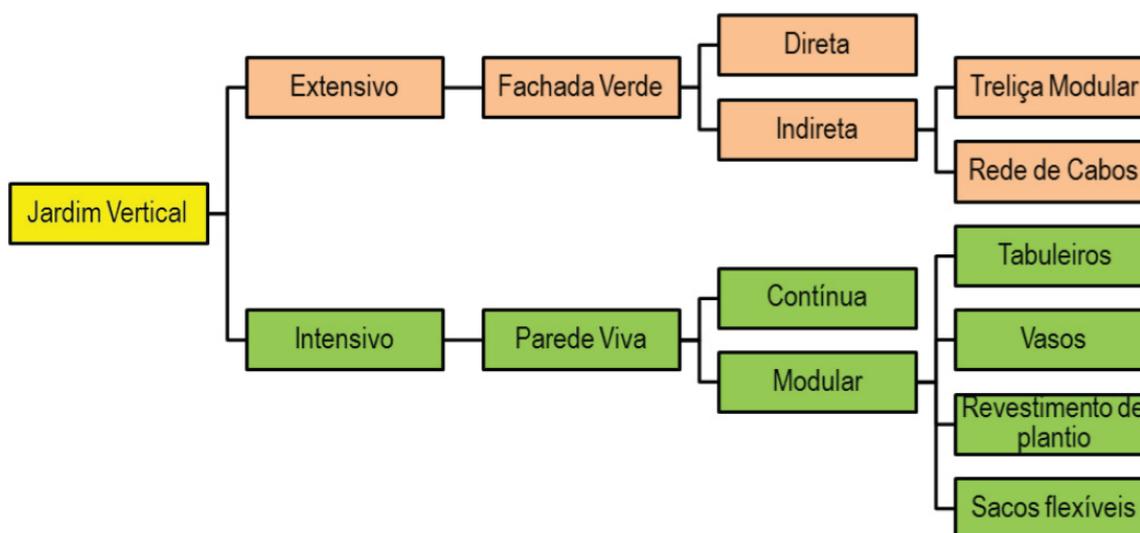
### 2.3 Jardins verticais

Os jardins verticais vêm sendo uma alternativa à alteração ambiental causada pela urbanização dos grandes centros, eles melhoram desempenho e a sustentabilidade da edificação e de seu entorno. Permitem a aproximação entre a edificação e natureza e trazem benefícios ambientais, sociais e econômicos como, a melhoria do desempenho térmico e a economia de energia elétrica (PERINI *et al.*, 2013). Além de melhorar a eficiência energética do edifício, a

vegetação utilizada nos jardins verticais pode ser um agente sequestrador de carbono, podendo compensar a emissão de CO<sub>2</sub> gerada pela construção do edifício.

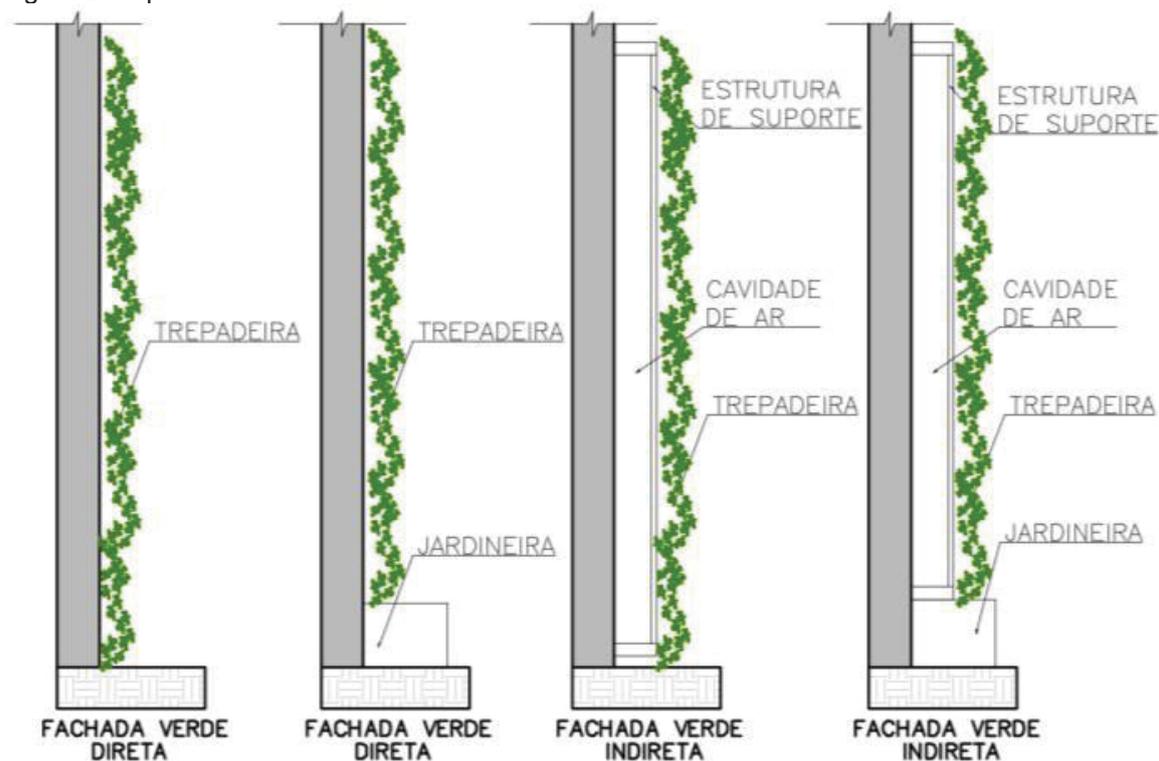
O jardim vertical abrange todas as formas de crescimento da vegetação em uma superfície delimitada verticalmente (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015), trata-se da vegetação que cresce diretamente na parede da edificação ou em um sistema estrutural separado, que pode ser fixo na parede ou independente. O termo jardim vertical pode ser dividido em duas tipologias principais: fachadas verdes e paredes vivas (Figura 1 e 2), também podem ser divididas de acordo com complexidade construtiva, sendo extensivo, ou seja, de fácil construção e manutenção; e intensivo, de manutenção e construção mais complexas (BARBOSA; FONTES, 2016).

Figura 1 - Classificação dos sistemas de jardins verticais baseada nas características construtivas



Fonte: Manso e Castro-Gomes (2015)

Figura 2 - Tipos de fachada verde



Fonte: Muñoz; *et.al.* (2019)

Na fachada verde, podem ser usadas espécies trepadeiras ou pendentes, para a cobertura da superfície vertical, e a vegetação pode estar aderida diretamente na parede ou em alguma estrutura de suporte (PERINI *et al.*, 2011). No caso onde as trepadeiras crescem diretamente na parede a fachada é classificada como direta, quando a vegetação cresce sobre algum sistema de sustentação independente da parede, a fachada é indireta. As fachadas verdes indiretas podem ser divididas em duas tipologias, as com treliças modulares e as feitas com rede de cabos, a vegetação pode ser plantada na base da estrutura, diretamente no chão ou em jardineiras (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015).

#### 2.4 Sistema construtivo em Alvenaria de Vedação

O sistema construtivo em alvenaria consiste em um sistema coeso e rígido de tijolos ou blocos, unidos entre si com ou sem argamassa de ligação, em fiadas horizontais que se sobrepõem uma sobre as outras. Esse sistema é o mais utilizado no Brasil e sua principal aplicação é em painéis de vedação das edificações e em muros de divisas. São elementos verticais da construção que tem a função de separar ambientes internos e externos, delimitar fisicamente

terrenos e divisas e dar suporte (estruturalmente ou não) a outros elementos da construção. Os blocos mais utilizados para alvenaria são de barro e de concreto, podendo ser maciços e/ou furados, para o barro, apenas furados para os blocos de concreto.

A argamassa utilizada para o assentamento dos blocos pode ser industrializada ou preparada na obra, o que é mais comum de ser feito. O cimento exerce papel importante na argamassa, para uma argamassa de qualidade deve-se utilizar cimentos juntamente com a Cal hidratada, areia e água (THOMAZ; *et.al.*, 2009).

Outros elementos muito utilizados na alvenaria de vedação são o aço e o concreto, esses são utilizados em sua maior parte para as estruturas, sendo essas, vigas, pilares, brocas, vergas, contravergas e lajes. O aço é um produto resultante das interações entre o ferro, carbono e outros componentes (STACHERA, 2008), e o concreto é resultado da interação de cimento, água, areia, pedra ou brita e ar, pode ainda conter adições como, cinzas volantes, sílicas ativas etc. A junção desses dois componentes é conhecida como concreto armado, que consiste em uma armação de aço preenchida com concreto, o mesmo tem a função dar resistência mecânica através do aço e resistência a compressão através do concreto (BASTOS, 2006).

## **2.5 Materiais utilizados na construção civil e emissões de gases de efeito estufa**

Conforme já mencionado, o principal impacto da construção civil no meio ambiente está atrelado à grande retirada de recursos naturais e os seus meios de extração e produção para uso em construções. A seguir apresentase os principais materiais utilizados no setor e os seus impactos de emissões por unidade de produto.

### **2.5.1 Aço**

A utilização do aço na construção civil se destina ao levantamento de estruturas, onde a forma mais utilizada é o aço em barras. A obtenção do aço, é feita através de processos siderúrgicos em que carbono é acrescentado ao minério de ferro em quantidades de acordo com a resistência desejada.

Em 2011, a empresa chilena AZA publicou sua Declaração Ambiental de Produto (EPD), para barras de aço utilizadas na construção civil onde apresentou o Global Warming Potential para 100 anos ( $GWP_{100}$ ), que quantifica as emissões associadas desde a matéria prima, transporte e manufatura. As emissões de  $CO_2$  relatadas para barras de aço foi de 767  $kgCO_2/t$  (AZA,2011).

Outra forma em que o aço é utilizado na construção civil é através do arame recozido, muito utilizado para fazer as amarrações das barras de aço nas estruturas e também na montagem das formas para do concreto. A empresa mexicana Tyasa através de seu EPD apresentou um o valor de emissões  $CO_2$  equivalente de 602  $kgCO_2/t$  (TYASA, 2018)

Para os pregos e parafusos feitos de aço galvanizado utilizados tanta na construção, quanto na fixação de elementos obtivemos segundo o EPD da empresa Deacero (2018) um fator de emissão de 926  $kgCO_2/t$ .

### 2.5.2 Cimento

O cimento é um dos insumos mais utilizados na construção civil, sendo necessário na fabricação do concreto e argamassas em combinação com outros insumos, como areia, cal e brita.

A sua composição é basicamente clínquer e adições. Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002), o clínquer é obtido através da combinação do calcário e da argila que, misturados em proporções adequadas passam por processo de aquecimento a temperaturas de até  $1.450^{\circ}C$  e assim o calor intenso transforma a mistura inicial em clínquer.

É no processo de fabricação do clínquer que ocorrem as emissões de gases de efeito estufa, devido a calcinação do calcário e a queima de combustíveis nos fornos. A faixa de emissões identificada por Lima (2010) varia de 821 a 1113  $kgCO_2/t$  clínquer.

As diferentes adições que podem ser feitas clínquer minimizam, de acordo com Freitas Junior; *et.al.* (2010), a proporção de clínquer utilizada nos diversos tipos de cimento, resultando numa menor quantidade de  $CO_2$  emitido por unidade de peso de cimento. As emissões de  $CO_2$  do cimento variam de acordo com a adição e a proporção recebida desta.

Segundo a EPD da Votorantim Cimentos, o cimento produzido com utilização comum em todas as obras, sendo esses as seguintes categorias, CP II-F-32, CP II-Z-32 possuem um  $GWP_{100}$  de 682  $kgCO_2/t$ , e o cimento para obras estruturais (CP II-F-40, CP II-Z-40) apresenta uma emissão de 797  $kgCO_2/t$  ( $GWP_{100}$ ) (VOTORANTIM CIMENTOS, 2016).

Na Tabela 2 observam-se os valores de  $CO_2$  por kg de cimento de acordo com o seu tipo.

Tabela 2 - Emissões de  $CO_2$  para cimento

Tipos de cimento	Fator de Emissão ( $kgCO_2/t$ )	
	Limites	Médias
CP II-F	716,4 – 804,4	760
CP II-Z	599,8 – 804,4	702
CP II-E	433,2 – 804,4	618
CP III	174,9 – 545,2	360
CP IV	344,3 – 723,9	534
CP V	758,0 – 858,0	808

Fonte: CBCS (2014)

### 2.5.3 Cal

A cal é um produto com aplicações em diversas áreas, sendo na construção civil largamente utilizado na composição de argamassas.

A emissões de  $CO_2$  desse setor tem origem na transformação da rocha calcária em cal virgem em um processo denominado descarbonatação (CETESB, 2011). A cal virgem, segundo Silva (2009) é composta predominantemente por óxidos de cálcio e magnésio resultantes de calcinação de calcários e ao ser combinada com água torna a cal hidratada.

Os valores de  $CO_2$  emitidos na fabricação da cal foram estimados por Costa (2012) em um levantamento de emissões para materiais da construção civil. Os valores encontrados na produção da cal virgem são 1,184  $tCO_2/t$  de cal, já a cal hidratada emite 0,911  $tCO_2/t$ .

### 2.5.4 Areia

Os agregados utilizados na construção civil podem ser divididos em dois tipos. O agregado miúdo é definido como areia de origem natural, ou de britamento de rochas, cujos grãos passam pela peneira de 4,8 mm e ficam

retidos na peneira de 0,075 mm. O agregado graúdo é o pedregulho ou brita proveniente de rochas cujos grãos passam por peneira de 152 mm e ficam retidos em 4,8 mm (ABNT, 1983).

Considerado um agregado miúdo, a areia representa um tipo de bem mineral granular com tamanho variado de composição silicática com uma maior quantidade de quartzo segundo o IBRAM (2014). Compreende materiais naturais e areia artificial. Nas construções é insumo importante na fabricação de concretos e argamassas.

Segundo Costa (2012) a emissão do setor de agregados miúdos é de 0,0861 tCO<sub>2</sub> por tonelada de agregado, e para o setor de agregados graúdos as emissões são de 0,0858 tCO<sub>2</sub>/t.

### 2.5.5 Concreto

De uso amplamente disseminado, o concreto é, um material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários, que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (ABNT, 2015).

As emissões variam de acordo com o tipo de cimento utilizado, a resistência do concreto e o local de produção. Nas Tabelas 3, 4 e 5 estão valores de emissões para concretos apresentados por Costa (2012).

Tabela 3 - Emissões para 1m<sup>3</sup> de concreto com cimento CP V-ARI

Identificação	FE (tCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> concreto)	
	Produzido no canteiro de obra	Produzido em central dosadora
Concreto 15M Pa	0,301	0,321
Concreto 20M Pa	0,328	0,347
Concreto 25 Mpa	0,353	0,373
Concreto 30 Mpa	0,373	0,393
Concreto 35 Mpa	0,395	0,415
Concreto 40 Mpa	0,417	0,437
Concreto 45 Mpa	0,438	0,459
Concreto 50 Mpa	0,464	0,485

Fonte: Adaptado de Costa (2012)

Tabela 4 - Emissões para 1m<sup>3</sup> de concreto com cimento CP II-E-32

Identificação	FE (tCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> concreto)	
	Produzido no canteiro de obra	Produzido em central dosadora
Concreto 15 Mpa	0,310	0,329
Concreto 20 Mpa	0,338	0,358
Concreto 25 Mpa	0,346	0,366
Concreto 30 Mpa	0,363	0,383
Concreto 35 Mpa	0,381	0,401
Concreto 40 Mpa	0,395	0,415
Concreto 45 Mpa	0,409	0,429
Concreto 50 Mpa	0,424	0,445

Fonte: Adaptado de Costa (2012)

Tabela 5 - Emissões para 1m<sup>3</sup> de concreto com cimento CP II-F-32

Identificação	FE (tCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> concreto)	
	Produzido no canteiro de obra	Produzido em central dosadora
Concreto 15 Mpa	0,328	0,347
Concreto 20 Mpa	0,351	0,370
Concreto 25 Mpa	0,359	0,377
Concreto 30 Mpa	0,387	0,407
Concreto 35 Mpa	0,404	0,424
Concreto 40 Mpa	0,424	0,445
Concreto 45 Mpa	0,451	0,471
Concreto 50 Mpa	0,480	0,501

Fonte: Adaptado de Costa (2012)

Além do uso em estruturas há também o uso de concreto para fabricação de artefatos como blocos de concreto e pisos intertravados (paver). As emissões destes são de 1,56 kgCO<sub>2</sub>/unidade para blocos de concreto (ALBANO; KIRST; DIZ, 2011) e de 24 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> para pisos intertravados (CBCS, 2014).

### 2.5.6 Argamassa

Segundo a ABNT NBR 13281:2001, argamassa é uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada na obra ou instalação própria (ABNT, 2001).

A argamassa a base de cal e cimento Portland pode ser utilizada para

revestimentos internos e externos e para assentamentos de blocos, sendo amplamente aplicada na construção civil.

Outro tipo de argamassa utilizada na construção civil é a argamassa para chapisco, é uma argamassa executada sobre o substrato, de pouca espessura, com a característica de ter a textura áspera, de maneira a permitir a melhor aderência para a argamassa de revestimento (ALBANO; KIRST; DIZ, 2011).

Para as emissões correspondentes à argamassa foi necessária sua decomposição em elementos, sendo estes, cal, cimento Portland e areia, e o valor encontrado foi de 3387,75 kgCO<sub>2</sub>/t.

Em estudo realizado por Freitas Junior; *et. al.* (2019) constatou-se que além de emitir CO<sub>2</sub> a argamassa é capaz de absorver CO<sub>2</sub> com o passar do tempo, para argamassas com traço (1:3:7,5) apresentou-se a absorção de CO<sub>2</sub> de 23,0 g/kg de argamassa com 730 dias.

#### 2.5.7 Tintas

Como parte da fase de acabamento da construção, as tintas tem composição variada. Resinas, pigmentos, cargas minerais, solventes e aditivos são os insumos usados na fabricação. Na construção civil utilizam-se tintas à base de solvente orgânico ou de base aquosa sendo que, as tintas à base de água representam 80% da utilização no setor (CETESB, 2006).

A fabricante de tintas Polisan através de seus EPD avaliou as emissões de CO<sub>2</sub> para a extração, transporte e produção de tintas externas e apresentou o valor de 2,14 kgCO<sub>2</sub>/kg (POLISAN HOME COSMETICS, 2015a)

Para tintas de ambientes internos foi apresentando um valor de 3,24 kgCO<sub>2</sub>/kg (POLISAN HOME COSMETICS, 2015b).

#### 2.5.8 Materiais da madeira

O uso de madeira na construção civil é bem amplo. Esta é a matéria-prima de portas, esquadrias, pisos, forros e painéis. Também é muito utilizado na fase da construção, como moldes utilizados no levantamento de estruturas de concreto.

A madeira pode ter origem de reflorestamento ou natural, sendo que as emissões de GEEs são diferentes para cada caso, as florestas plantadas envolvem fases de preparo da terra, plantio e manutenção, enquanto as

florestas naturais não (FREITAS JUNIOR, 2017).

Segundo Costa (2012) em seu estudo sobre as emissões de CO<sub>2</sub> para os materiais da construção civil, encontrou-se o fator de emissão a para Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (IMPM) para a utilização de Pinus e de Eucalipto. Para IMPM de Pinus o fator de emissão de CO<sub>2</sub> é de 0,4046 tCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, para o Eucalipto o fator de emissão apresentado é de 0,4086 tCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

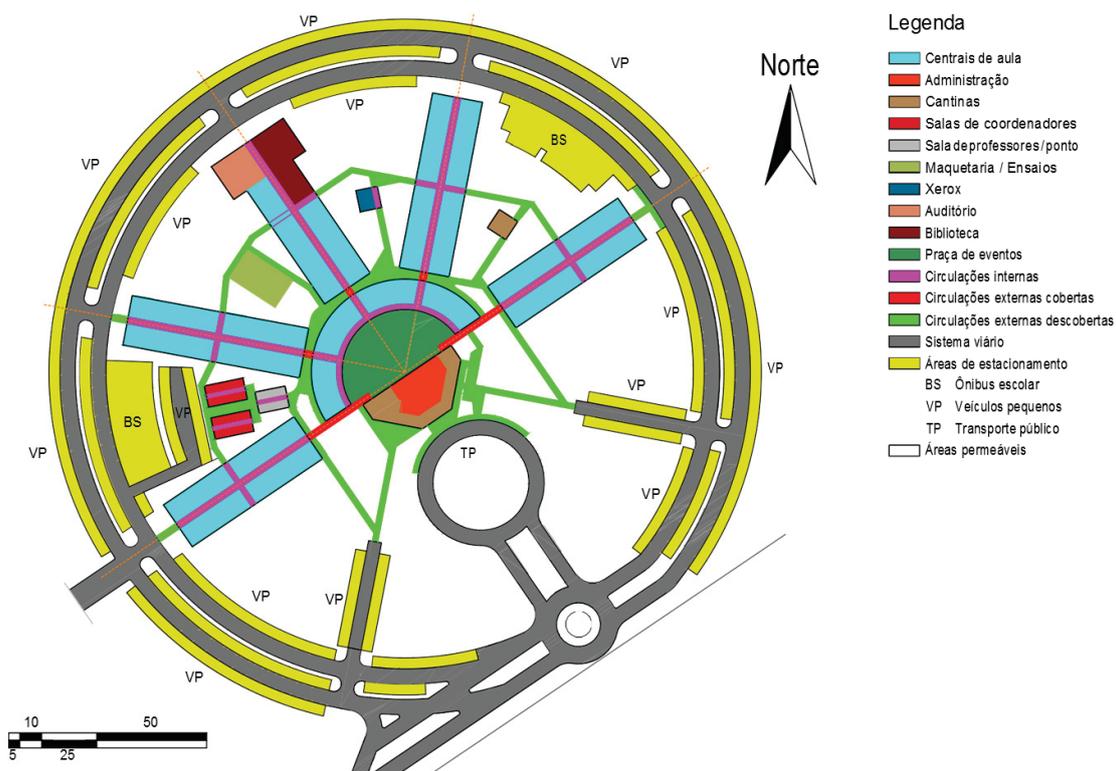
Objeto de estudo uma parede de alvenaria de vedação, construídas em blocos de concreto, localizadas no Campus Universitário das Faculdades Integradas e Ourinhos (FIO), na cidade de Ourinhos- SP, onde foi instalado um jardim vertical indireto, feito de tela metálica, utilizado como apoio para o crescimento da espécie de trepadeira *Ipomoea horsfalliae* Hook. (Ipoméia-rubra), uma espécie de clima tropical, não endêmica no Brasil, com grande valor estético, pois possui flores grandes de cor típica vermelho-bordô.

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

O campus Universitário das Faculdades Integradas e Ourinhos, localizada na cidade de Ourinhos, sudeste do estado de São Paulo com latitude 22° 58'44" sul e longitude 49° 52'14" Oeste, com clima Cfa segundo a classificação de Köppen e Geiger (ROLIM, 2007). A escolha do campus se deu por ser um prédio relativamente novo, de aproximadamente vinte anos, e estar em plena expansão de área construída.

O prédio possui um sistema construtivo, com uso de estrutura pré-fabricada de concreto armado e vedação e blocos de concreto. Outro fato marcante é a implantação, onde o sistema de ocupação espacial das edificações e feita de modo radial como mostra a figura 3.

Figura 3 - Implantação do Campus das FIO



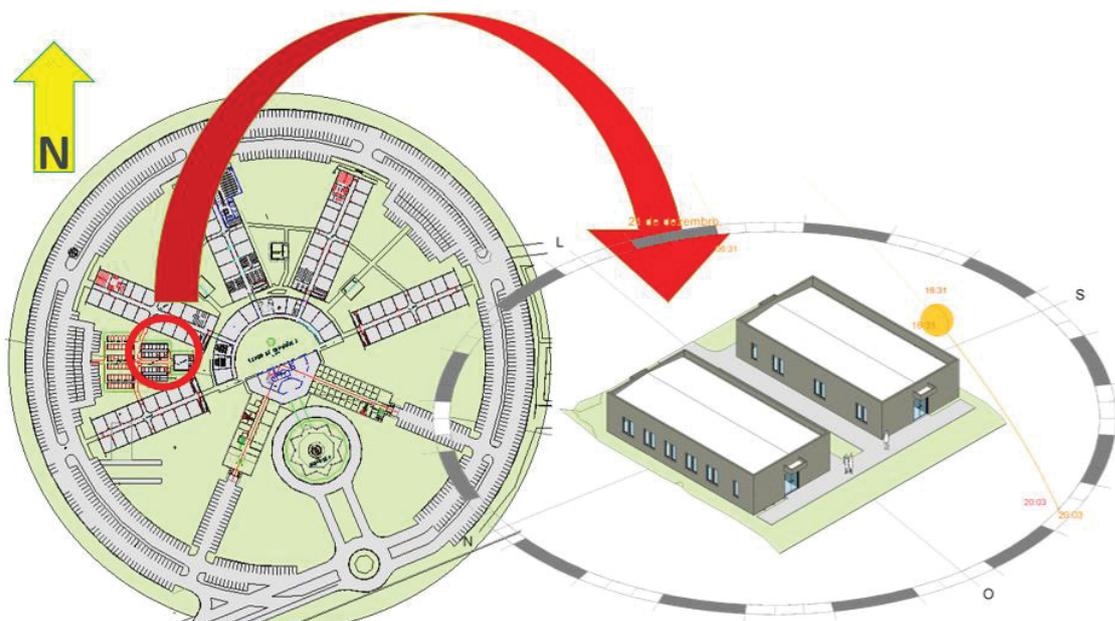
Fonte: Elaborado pelo Autor

Estas características embasaram a definição do campus como área de intervenção, pois o sistema de vedação (blocos de concreto) não possui um bom isolamento térmico.

### 3.2 Escopo de estudo

Para a aplicação desta pesquisa foi escolhida uma parede localizada a direita do bloco utilizado como sala dos professores, conforme indica a Figura 4.

Figura 4 - Localização do objeto de estudo



**Fonte:** Elaborado pelo autor

O bloco escolhido é orientado longitudinalmente no eixo Leste-Oeste. A parede utilizada no estudo possui 3,60 m de largura e 3,80 m de altura, e está localizada ao lado direito da porta de entrada do bloco. Tem como sistema construtivo o uso de estrutura de concreto pré-fabricado com vedação de blocos cerâmicos de concerto de 30x20x9 cm nas paredes externas, com pintura em cores claras (bege).

A parede utilizada no estudo possui 3,60 m de largura e 3,80 m de altura, e está localizada ao lado direito da porta de entrada do bloco.

Como é citado anteriormente as principais emissões da construção civil são provenientes dos insumos utilizados, e para este estudo estas emissões, que são consideradas indiretas foram consideradas para o levantamento das emissões de GEEs geradas.

Para o jardim vertical foi utilizado a tipologia de jardim extensivo indireto feito de tela metálica fixada na parede toda a uma distância de 20 cm, o canteiro possui 30 cm de largura por 3,60 de comprimento e uma profundidade de 0,40 cm de solo. A malha metálica foi instalada em toda parede e foram utilizadas 9 mudas de Ipoméia-rubra, distribuídas igualmente ao longo do canteiro.

Para os cálculos foram feitos levando em consideração a quantidade dos insumos utilizados para a construção das paredes apenas, e a para o jardim vertical foi considerado a quantidade de CO<sub>2</sub> fixada no solo e na porção vegetal.

### **3.4 Levantamento dos materiais utilizados e seus fatores de emissão**

Para quantificar os insumos e materiais utilizados para a construção das paredes em estudo, buscou-se informações através de conversas com o arquiteto responsável pelo projeto, consulta a planta baixa, consultou-se arquitetos experientes em obras do mesmo tipo, visitas ao local para dimensionamento e contagem dos materiais, também se utilizou de pesquisas através de catálogos de produtos e fornecedores de materiais de construção civil.

O levantamento levou em consideração as fases de execução e fundação das paredes, sendo que os materiais em comum nas diversas fases foram agrupados.

Para o jardim vertical foi considerado todo o material utilizado para a construção do suporte, a quantidade de solo utilizado nas valas para o plantio das mudas, e a área de cobertura vegetal.

Para os fatores de emissão dos materiais utilizados na construção da parede, e dos materiais utilizados para a fixação do jardim vertical foram utilizados dados referencias em outros estudos com abrangência nacional e internacional, a pesquisa incluiu dados de teses e dissertações sobre o tema, relatórios e inventários de emissões de gases de efeito estufa setoriais de órgãos públicos, associações e instituições nacionais e internacionais e avaliações de ciclo de vida de materiais, conforme a Tabela 6.

No caso da argamassa foi necessário decompô-la em seus elementos, cal, cimento e areia, foi considerado o traço de (1:3:7,5).

$$FE_{Arg} = (1*FE_{Cal} + 3*FE_{Cimento} + 7,5*FE_{Areia})$$

Tabela 6 - Fatores de emissões de CO<sub>2</sub> dos insumos utilizados para construção da parede e do jardim vertical

Material	Emissão de CO <sub>2</sub>		Unidade	Fonte
Barras de Aço	767		kgCO <sub>2</sub> /t	AZA (2011)
Arame recozido	602		kgCO <sub>2</sub> /t	TAYSA (2018)
Pregos e Parafusos	929		kgCO <sub>2</sub> /t	DEACERO (2018)
Cimento CP II-E	618		kgCO <sub>2</sub> /t	CBCS (2014)
Cal Hidratada	0,911		tCO <sub>2</sub> /t	COSTA (2012)
Cal Virgem	1,184		tCO <sub>2</sub> /t	COSTA (2012)
Agregados Miúdos (areia)	0,0861		tCO <sub>2</sub> /t	COSTA (2012)
Agregados Graúdos (brita)	0,0858		tCO <sub>2</sub> /t	COSTA (2012)
Argamassa (1:3:7,5)	3387,75		kgCO <sub>2</sub> /t	Autor (2020)
Tinta Interna	3,24		kgCO <sub>2</sub> /kg	POLISAN (2015b)
Tinta externa	2,14		kgCO <sub>2</sub> /kg	POLISAN (2015a)
Blocos de Concreto	1,56		kgCO <sub>2</sub> /Uni	ALBANO, KIRST e DIZ, (2011)
IMPM Pinus	0,4046		tCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	COSTA (2012)
IMPM Eucalipto	0,4086		tCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	COSTA (2012)
Concreto CP II-E 32 25 MPa	0,346	0,366	tCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	COSTA (2012)

Fonte: Autor (2020)

### 3.5 Cálculo de emissões de gases de efeito estufa

Segundo o *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 2006), o método mais comum para estimar emissões é combinar informações em toda a extensão em que uma atividade humana se desenvolve, chamada de dados de atividades pelo IPCC, com coeficientes que quantificam as emissões ou remoções de GEE por unidade de atividade, os chamados fatores de emissão. Assim a equação que representa o cálculo de emissões é a seguinte:

$$DA \times FE = \text{Emissões}$$

Onde:

DA = Dados de atividades

FE = Fatores de emissão

Para encontrar as emissões finais geradas pelos elementos estudados foi necessário inicialmente, fazer um levantamento quantitativo dos insumos e materiais utilizados na construção das paredes de alvenaria e do material utilizado para a construção do jardim vertical, Tabela 7. O passo seguinte envolveu a pesquisa de fatores de emissão específicos para cada insumo ou material empregado. Ao combinar esses dois tipos de informação a equação para cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> do estudo apresentado se dá na seguinte maneira:

$$Emissões\ CO_2 = Q \times FE$$

Em que:

Q = Quantidade do material ou insumo utilizado na construção

FE = Fator de emissão do material ou insumo utilizado na construção

Tabela 7 - Quantificação do material utilizado construção das paredes de alvenaria e jardim vertical

Aplicação	Elementos	Quantidades
<b>Parede</b>	Blocos de concreto	171 unid.
	Argamassa	0,0002394 ton
	Pintura interna	0,5 kg
	Pintura externa	1,2 kg
<b>Fundação</b>	Concreto	0,105 m <sup>3</sup>
	Barras de aço	0,076 ton
	Arame recozido	0,00008 ton
	Madeira de Pinus	0,228 m <sup>3</sup>
	Pregos	0,002052 ton
<b>Jardim vertical</b>	Tela metálica	0,01928 ton
	Parafusos	0,000816 ton

Fonte: Autor (2020)

Para a quantificação de carbono fixado no substrato, foi considerado a porcentagem de carbono no solo orgânico, terra preta, de 30,24%, valor encontrado por Freitas Junior *et. al.* (2017), e sua densidade de 1,01 g/cm<sup>3</sup> (WHITTINGHILL, 2014), e a relação da massa molecular entre carbono e dióxido de carbono de 3,67.

$$FESub = Massa \times 30,24 \% \times 3,67$$

No caso do carbono fixado na vegetação foi considerado fator de remoção de carbono de 0,94 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, valor encontrado por Amir, Yeok e Raman (2014) em seu estudo sobre trepadeiras.

Como citado anteriormente a argamassa também é um elemento capaz de absorver CO<sub>2</sub>, e esse fator também foi computado nos cálculos do CO<sub>2</sub> fixado.

Tabela 8 - Quantificação dos elementos que fixam carbono

<b>Aplicação</b>	<b>Elementos</b>	<b>Quantidades</b>
	Substrato	434,3 kg
<b>Jardim vertical</b>	Vegetação	13,68 m <sup>2</sup>
<b>Parede</b>	Argamassa	0,0002394 ton

Fonte: Autor (2020)

O valor final das emissões de CO<sub>2</sub> foi calculado ao somarem-se as emissões geradas por cada insumo ou material entre si para cada parede estudada, e subtraindo o CO<sub>2</sub> fixado em cada jardim vertical. A equação final para as emissões está expressa abaixo.

$$\text{Emissões de CO}_2 \text{ final} = \text{CO}_2\text{F} - \text{EP}$$

Sendo:

EP: Emissões provenientes da parede

CO<sub>2</sub>F: Quantidade de carbono fixado pelo jardim vertical e argamassa.

Vale ressaltar que as unidades utilizadas para os cálculos de emissões devem ser compatíveis entre si e se necessário convertidas.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores encontrados para as emissões de CO<sub>2</sub> dos elementos utilizados na construção da parede e do jardim vertical encontram-se na Tabela 9, e os valores encontrados para a fixação absorção de CO<sub>2</sub>, pelo substrato, pela vegetação e pela argamassa estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 9 - Quantidade de CO<sub>2</sub> emitido

Aplicação	Elementos	Quantidades	Fator de emissão	Total de emissões
<b>Parede</b>	Blocos de concreto	171 unid.	1,56 kgCO <sub>2</sub> /uni.	266,76 kgCO <sub>2</sub>
	Argamassa	0,0002394 ton	3387,75 kgCO <sub>2</sub> /t	0,81 kgCO <sub>2</sub>
	Pintura interna	0,5 kg	3,24 kgCO <sub>2</sub> /kg	1,62 kgCO <sub>2</sub>
	Pintura externa	1,2 kg	2,14 kgCO <sub>2</sub> /kg	2,56 kgCO <sub>2</sub>
<b>Fundação</b>	Concreto	0,105 m <sup>3</sup>	0,366 tCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	38,43 kgCO <sub>2</sub>
	Barras de aço	0,076 ton	767 kgCO <sub>2</sub> /t	58,29 kgCO <sub>2</sub>
	Arame recozido	0,00008 ton	602 kgCO <sub>2</sub> /t	0,04 kgCO <sub>2</sub>
	Madeira de Pinus	0,228 m <sup>3</sup>	0,04046 tCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	9,22 kgCO <sub>2</sub>
	Pregos	0,002052 ton	929 kgCO <sub>2</sub> /t	1,9 kgCO <sub>2</sub>
<b>Jardim vertical</b>	Tela metálica	0,01928 ton	602 kgCO <sub>2</sub> /t	11,6 kgCO <sub>2</sub>
	Parafusos	0,000816 ton	929 kgCO <sub>2</sub> /t	0,72 kgCO <sub>2</sub>
<b>Total</b>				<b>392,02 kgCO<sub>2</sub></b>

Fonte: Autor (2020)

Tabela 10 - Quantidade de CO<sub>2</sub> fixado

Aplicação	Elementos	Quantidades	Fator de Fixação de carbono	Total de Fixado
<b>Jardim vertical</b>	Substrato	434,3 kg	-	481,6 kgCO <sub>2</sub>
	Vegetação	13,68 m <sup>2</sup>	0,94 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	12,8592 kgCO <sub>2</sub>
<b>Parede</b>	Argamassa	0,0002394 ton	23 gCO <sub>2</sub> /kg	0,005506 kgCO <sub>2</sub>
<b>Total</b>				<b>494,46 kgCO<sub>2</sub></b>

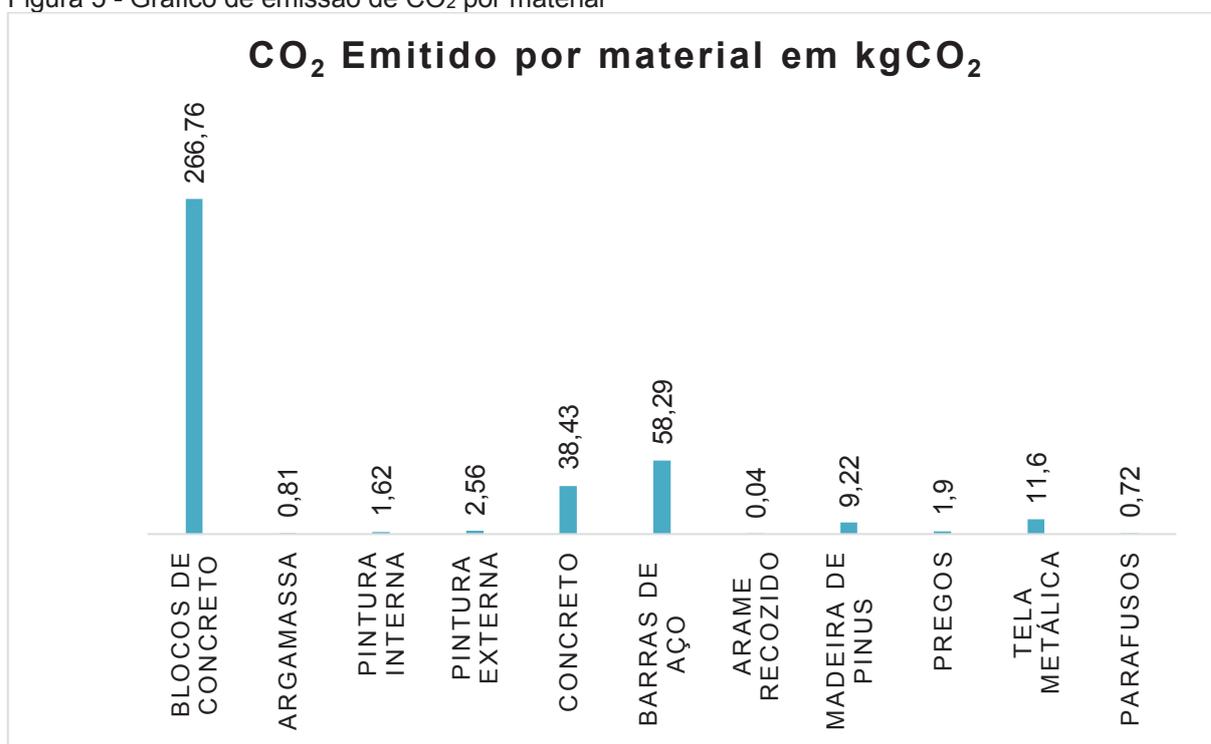
Fonte: Autor (2020)

Os resultados obtidos provam que o saldo CO<sub>2</sub> fixado foi positivo em 102,44 kgCO<sub>2</sub> para este estudo de caso, o que significa que foi fixado mais carbono do que foi emitido para uma parede. Embora este estudo seja pontual, o saldo favorável para o armazenamento de carbono indica os jardins verticais como uma alternativa para a neutralização do CO<sub>2</sub> emitido para a construção civil.

Dentre os elementos que mais emitiram carbono neste estudo, Figura 5, estão, os blocos de concreto com 266,76 kgCO<sub>2</sub>, as barras de aço com 58,29 kgCO<sub>2</sub> e o concreto usinado com 38,43 kgCO<sub>2</sub>, ambos os elementos aço e o concreto exercem funções estruturais dentro da construção, e são utilizados para suporte de cargas. Os blocos de concreto tem a função de vedação e podem ser substituídos por outros materiais como blocos de cerâmica, segundo Costa (2012), os blocos de cerâmicos emitem 40 % menos CO<sub>2</sub> do que os blocos de concreto por tonelada de material, esta substituição seria vantajosa e reduziria ainda mais a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido, favorecendo ainda mais o balanço positivo obtido no estudo.

Vale destacar que a utilização de jardins verticais não implica no aumento de carga do edifício, sendo assim não alteram os projetos originais, não aumentando assim a quantidades de aço e concreto, e podem ser utilizados em quase todas as edificações.

Figura 5 - Gráfico de emissão de CO<sub>2</sub> por material

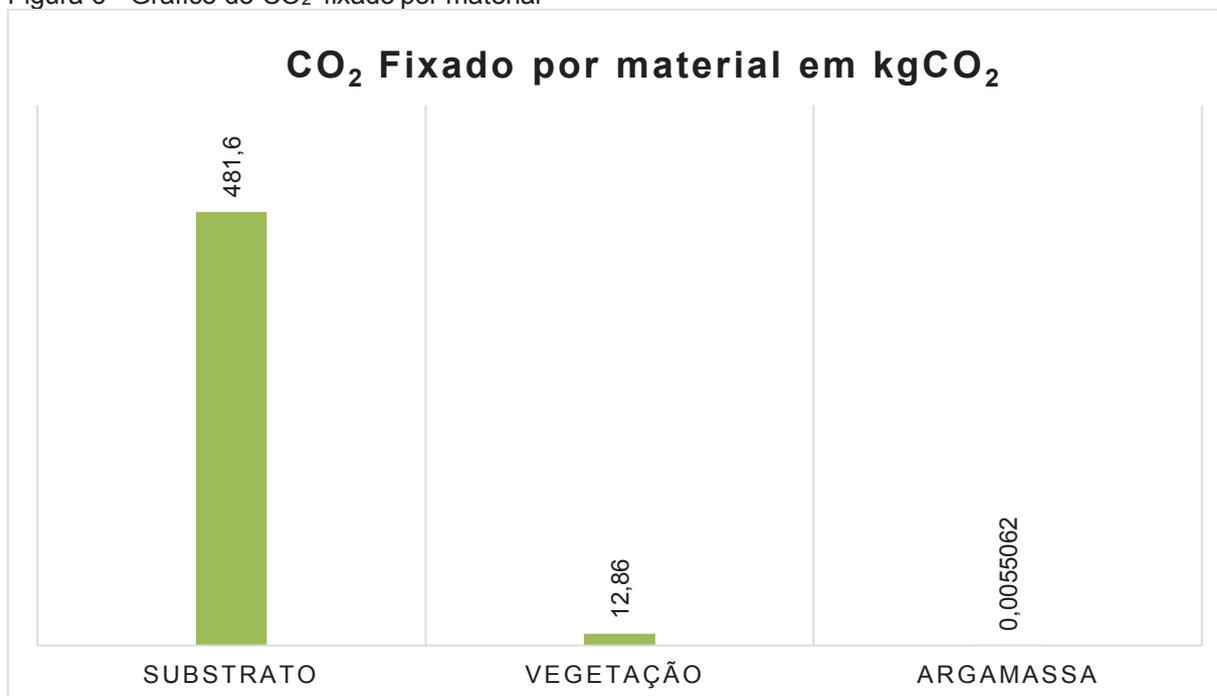


Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Sobre os elementos responsáveis pela fixação de carbono, Figura 6, o elemento mais representativo foi substrato, solo, fixando 481,6 kgCO<sub>2</sub>, seguido da vegetação com 12,86 kgCO<sub>2</sub>, a argamassa apresentou pouca

representatividade nesse estudo devido a pequena quantidade de argamassa utilizada na parede, pois a mesma não apresenta nenhum tipo de revestimento, é composta apenas de blocos pintados.

Figura 6 - Gráfico do CO<sub>2</sub> fixado por material



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)

Em estudo sobre telhado verde realizado por Freitas Junior *et. al.* (2019) também foi encontrado como principal elemento fixador de CO<sub>2</sub> o substrato, o que corrobora com os dados apontados neste estudo. Apesar de se tratar de uma área pequena, apenas 1,08 m<sup>2</sup>, o canteiro do jardim vertical representou a maior parte do carbono fixado neste estudo, essa quantidade por variar para cada tipo de solo, neste estudo foi considerado o valor teórico para o solo orgânico de 30,24 % de teor de carbono, valor obtido na literatura. Para a verificação dessa porcentagem seria necessária a análise do solo do local do estudo, o que não foi realizado devido á falta de equipamentos disponíveis.

Além de fixarem CO<sub>2</sub>, os jardins verticais são capazes de melhorar a qualidade do ar, filtrar e capturar outros poluentes como óxido de nitrogênio (NO), monóxido de carbono (CO) e dioxinas (OTTELÉ; BOHEMEN; FRAAIJ, 2010).

Além disso, jardins verticais externos reduzem a velocidade do vento em torno das edificações, a velocidade do vento afeta a transferência térmica, o que

equaliza a resistência térmica da superfície externa e interna das fachadas (Perini *et. al.*, 2011), portanto podem melhorar e regular o conforto térmico dos edifícios e seus arredores, sendo um fator importante para a redução do consumo de energia elétrica, que por consequência reduz a emissão de GEEs geradas pela produção de da mesma.

## CONCLUSÃO

O crescimento das grandes cidades e a urbanização tem causado muitos problemas ambientais, tais como as ilhas de calor, aquecimento global e as mudanças climáticas, fazendo com que as medidas de mitigação desses impactos sejam cruciais.

A integração de jardins verticais com a construção civil pode ser uma das estratégias para reduzir esses impactos. A vegetação apresenta potencial para o sequestro de carbono, produz sombreamento e reduz as temperaturas internas das edificações, fornece ar de qualidade e tem valor estético agregado.

Estudos sobre o sequestro de carbono de jardins verticais são relativamente recentes, mas já apresentam resultados positivos. No caso de comparativos entre emissões de carbono e sequestro carbono para edificações e jardins verticais não foi encontrado nenhum estudo para comparações, ou metodologias estabelecidas para cálculos.

Apesar de ser um estudo totalmente teórico, o mesmo apresentou resultado positivo, o que indica que os jardins verticais podem alcançar saldos de carbono favoráveis, armazenando mais do que as emissões provenientes da edificação.

Diante desse fato, para a finalidade de neutralizar as emissões de CO<sub>2</sub> de uma edificação, a implantação do jardim vertical se mostrou vantajosa.

## REFERÊNCIAS

ABCP. **Boletim técnico**: Guia básico de utilização do cimento Portland. São Paulo, 2002.

ABNT. NBR 7211: 1983. **Agregado para concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

ABNT. NBR 13281: 2001. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ABNT. NBR 12655: 2015 Versão Corrigida. **Concreto de cimento Portland**: preparo, controle, recebimento e aceitação. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ALBANO, L. T.; KIRST, M. G.; DIZ, P. F. **Estimativa de geração de dióxido de carbono por uma obra de alvenaria estrutural em blocos de concreto**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Construção Civil). UFPR, Curitiba, 2011.

AMIR, A. F.; YEOK, F. S.; RAHMN, A. M. A. Estimation of Annual Carbon Sequestration in Psophocarpus tetragonobulus used as Biofacade in Tropical **Environment. Proceedings of International Conference on Architecture And Civil Engineering**. v. 25, p.31-37. 2014. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/39f4/b53d5ad7e935ee0b43f3ea0283a154f84624.pdf>Acesso em: 10 de janeiro de 2020.

AZA. AZA ACERO SOSTENIBLE. **EPD - Environmental Product Declaration**. Reinforcing Steel Bar. The International EPD System. S-P-00696. Chile, 2011.

BARBOSA, M.; FONTES, M. S. G. de C. **Jardins verticais: modelos e técnicas**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, 2016.

BASTOS, P.S.S. **Estruturas de Concreto I**: Fundamentos do Concreto Armado. Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2006.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília, 2013.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Anuário estatístico de energia elétrica 2018, ano base 2017**. Rio de Janeiro, 2018.

CBCS. **Posicionamento CBSB**: materiais, componentes e a construção sustentável. Comitê Temático de Materiais. São Paulo, 2009. Disponível em: [http://www.cbcs.org.br/userfiles/comitestematicos/materiais/CT\\_materiais.pdf](http://www.cbcs.org.br/userfiles/comitestematicos/materiais/CT_materiais.pdf). Acesso em 01 de dezembro de 2019.

CBCS. **Projeto Avaliação de Ciclo de Vida Modular de Blocos e Pisos de Concreto**. São Paulo, 2014. Disponível em: [http://www.cbcs.org.br/\\_5dotSystem/userFiles/ACV-m/CBCS\\_ACV-blocos-concreto.pdf/](http://www.cbcs.org.br/_5dotSystem/userFiles/ACV-m/CBCS_ACV-blocos-concreto.pdf/). Acesso em 05 de dezembro de 2019.

CETESB. **1º Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo**. 2 Ed. São Paulo, 2011.

CETESB. **Guia Técnico Ambiental de Tintas e Vernizes**: Série P+L. 2006. Disponível em: <http://www.crq4.org.br/downloads/tintas.pdf>. Acesso em: 16 janeiro de 2020.

COSTA, B. L. C. **Quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> geradas na produção de materiais utilizados na construção civil**. 2012. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil). COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2012.

DEACERO. **EPD: Environmental Product Declaration**. Wire Rod and galvanized wire from steel scrap. The International EPD System. S-P-01236. México, 2018.

FREITAS JUNIOR, J. A. **Materiais de construção com madeira para mitigação de gases de efeito estufa na execução de edificações**. 2017. Tese de Doutorado (Engenharia Florestal). UFPR, Curitiba, 2017.

FREITAS JUNIOR, J. A.; COSTA, M. R. M. M.; ARTIGAS, L. M.; SANQUETTA, C. R. Assesment of the impact of binders in the evolution of carbonation in mortars. **Construction and Building Materials**. v. 255, p. 496-501, 20 nov. 2019.

FREITAS JUNIOR; SANQUETTA, C. R. ; COSTA, M. R. M. **O uso da madeira em materiais de construção para mitigação de gases de efeito estufa**. Beau Bassin: International Book Market Ltd., 2017. v.1. 200p.

FREITAS JUNIOR, J.A.; SANQUETTA, C. R.; IWAKIRI, S.; COSTA, M. R. M. M.; KOEHLER, H. S. Estudo da aplicação de coberturas verdes no objetivo de se construir edifícios neutros em carbono. **Holos Environment**. V.1. p. 35-52. 22 mar. 2019.

FREITAS JUNIOR, J. A. Construções sustentáveis e a gestão ambiental e de carbono em obras. 2019. Pós-Graduação em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono UFPR, Curitiba, 2019

FREITAS JUNIOR, J. A.; PARCHEN, C. F. A.; PARCHEN, M. F. R. **Importância do concreto na geração de CO<sub>2</sub> em um caso de obra de um edifício**. 52º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. IBRACON, São Paulo, 2010.

IBRAM. **II Inventário de Gases Efeito Estufa do Setor Mineral**. Ano base 2011. Brasília, 2014. Disponível em: <https://portaldamineraçao.com.br/wp-content/uploads/2017/06/00005153.pdf>. Acesso em: 10 de dezembro de 2019.

IEA. **Global Status Report for Buildings and Construction 2019**, IEA, Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-status-report-for-buildings-and-construction-2019>. Acesso em: 01 de janeiro de 2020.

IEA. **World Energy Outlook 2018**, IEA, Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018>. Acesso em: 01 de janeiro de 2020.

IPCC. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**.

Japão: IGES, 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>. Acesso em 25 de novembro de 2019.

IPCC. **AR4 Climate Change 2007: Synthesis Report**. Genebra, Suíça, 2007. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>. Acesso em: 15 de novembro de 2019.

LIMA, J. A. R. Avaliação das consequências produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas. Tese de Doutorado, **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, São Paulo, 2010.

LOH, S. **Living Walls: a way to green the built environment**. Environment Design Guide, Australian Institute of Architects. TEC 26. p 1-7, Ago. 2008. Disponível em <https://eprints.qut.edu.au/28172/1/28172.pdf>. Acesso em 20 de novembro de 2019.

MANSO, M.; CASTRO-GOMES, J. Green wall systems: A review of their characteristics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V. 41, p. 863-871, Jan. 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114006637?via%3Dihub>. Acesso em: 04 de novembro de 2019.

OTTELÉ, M.; BOHEMEN, H. D.; FRAAIJ, A. L. A. Quantifying the deposition of particulate matter on climber vegetation on living walls. **Ecological Engineering**. v. 36, p, 154-162. Feb. 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857409001098?via%3Dihub>. Acesso em: 12 de janeiro de 2020.

PERINI, K.; OTTELÉ, M.; FRAAIJ, A.L.A.; HAAS, E.M.; RAITERI, R. Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. **Building and Environment**. v. 46, p. 2287-2294, Nov. 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036013231100148X>. Acesso em: 05 de dezembro de 2019.

PERINI, K.; OTTELÉ, M.; HAAS, E.M.; RAITERI, R. Vertical greening systems, a process tree for green façades and living walls. **Urban Ecosystems**. v. 16, p. 265-277, Jun. 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/257671167\\_Vertical\\_greening\\_systems\\_a\\_process\\_tree\\_for\\_green\\_facades\\_and\\_living\\_walls](https://www.researchgate.net/publication/257671167_Vertical_greening_systems_a_process_tree_for_green_facades_and_living_walls). Acesso em: 01 de janeiro de 2020.

POLISAN HOME COSMETICS. **EPD: Environmental Product Declaration**. Exelans Macro Exterior Paints. The International EPD System. S-P-00739.

Estocolmo, Suécia. 2015a.

POLISAN HOME COSMETICS. **EPD**: Environmental Product Declaration. Elegans Extra Semi-Matt Interior paints. The International EPD System. S-P 00740. Suécia, 2015b.

ROLIM, Glauco de Souza; *et al.* Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0006-87052007000400022&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052007000400022&lng=en&nrm=iso). Acesso em 21 de nov. 2019.

SILVA, J. O. Ministério das Minas e Energia (MME). **Perfil da Cal**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGM), 2009.

SILVEIRA, G. W. P.; PADOVAN, L.D. G.; FONTES, M.S. G. C. Fachada Verde e Conforto Térmico em Escritório Universitário. **Revista Nacional De Gerenciamento De Cidades**, v. 7, p. 40-55, 2019.

STACHERA JR, T. **Avaliação de emissões de CO<sub>2</sub> na construção civil**: um estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção [...]. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008

TYASA. **Steel wire rod manufactured from steel scrap by T A 2000**. The International EPD System. S-P 00703. Mexico, 2018.

THOMAZ, E.; MITIDIARI, V. C.; CLETO, R. F.; CARDOSO, F.F. **Código de Práticas n. 1 - Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2009.

UNEP. **Buildings and Climate Change**: Summary for Decision-Makers. United Nations Environment Programme- Sustainable Buildings & Climate Initiative. UNEP DTIE - Sustainable Consumption & Production Branch. Paris, França, 2009.

VOTORANTIM CIMENTOS. **EPD**: Environmental Product Declaration. CEMENTS CP II E 40, CP III-40 RS and CP V-ARI. The International EPD System. S-P 00895. Brazil, 2016.

WHITTINGHILL, L. J.; D. ROWE, D. B.; SCHUTZKI, R.; CREGG, B. M. Quantifying carbon sequestration of various green roof and ornamental landscape systems. **Landscape and Urban Planning**. v.123, p. 41-48. Mar. 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204613002296> Acesso em 10 janeiro de 2020.