



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL (PPG ECI)**

**DETERMINAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ E ENERGIA INCORPORADA DE
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO NA FASE DE EXECUÇÃO: ESTUDO DE
CASO DE FOZ DO IGUAÇU**

ISADORA GHELLERE SLOVINSKI

Foz do Iguaçu
2021



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTUR E TERRITÓRIO
(ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL (PPG ECI)**

**DETERMINAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ E ENERGIA INCORPORADA DE
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO NA FASE DE EXECUÇÃO: ESTUDO DE CASO
DE FOZ DO IGUAÇU**

ISADORA GHELLERE SLOVINSKI

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito à obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^a. Dr. Ana Carolina Parapinski dos Santos

Co-orientadores: Prof^a. Dra. Katia Regina Garcia Punhagui e Prof. Dr. César Winter de Mello.

Foz do Iguaçu
2021

ISADORA GHELLERE SLOVINSKI

**DETERMINAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ E ENERGIA INCORPORADA DE
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO NA FASE DE EXECUÇÃO: ESTUDO DE CASO
DE FOZ DO IGUAÇU**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito à obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof^a. Dra. Ana Carolina Parapinski dos Santos
UNILA

Prof^a. Dra. Katia Regina Garcia Punhagui
UNILA

Prof^a. Dra. Edna Possan
UNILA

Prof. Dr. Sérgio Cirelli Angulo
(USP-SP)

Foz do Iguaçu, 09 de novembro de 2021.

Dedico esse trabalho a todos os seres que de uma forma ou de outra, buscam, mesmo em um momento tão desanimador, uma sociedade e um planeta melhor.

Ao meu sogro, José Ernesto, que faleceu devido a complicações do Sars-Covid-19, e a todos que perderam a vida devido ao vírus.

Catálogo elaborado pelo Setor de Tratamento da Informação
Catálogo de Publicação na Fonte. UNILA - BIBLIOTECA LATINO-AMERICANA - PTI

S634d

Slovinski, Isadora Ghellere.

Determinação das emissões de CO₂ e energia incorporada de argamassas de revestimento na fase de execução: estudo de caso de Foz do Iguaçu / Isadora Ghellere Slovinski. - Foz do Iguaçu, 2021.

107 fls.: il.

Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território (ILATIT), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPG ECI).

Orientador: Prof^ª. Dr. Ana Carolina Parapinski dos Santos.

1. Argamassa. 2. Revestimentos - Processos. 3. Gases do efeito estufa. I. Santos, Ana Carolina Parapinski dos.
II. Título.

CDU 624.012.45

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, INTELIGÊNCIA AMOROSA UNIVERSAL, que maravilhosamente tornou esse mundo visível. Entendo que para tudo exista um propósito maior.

Ao meu grande amor, meu marido Pedro Ernesto, pela calma, paciência, empatia, cuidado e amor, eu te amo de todo meu coração, sem você nesse processo sinto que o resultado final não seria o mesmo.

Agradeço de todo coração a minha família, Pai, Mãe, Heron e Heitor, vocês são meu porto seguro, meu consolo e segurança, e minha principal inspiração.

Aos meus grandes amigos, antes colegas de curso, Luana, Lucca, Thais, e a todos e estiveram comigo nessa jornada, agradeço imensamente pela nossa amizade, companheirismo, incentivo e apoio.

Agradeço a minha professora orientadora Dr. Ana Carolina Parapinski dos Santos não só pela constante orientação neste trabalho, mas, sobretudo por me acompanhar nessa jornada, acreditando no meu trabalho, me dando espaço para demonstrar meus conhecimentos e potenciais e por sempre cobrar o meu melhor.

A minha professora co-orientadora Dra. Katia Regina Garcia Punhagui agradeço ao incentivo na participação de cursos e grupos de pesquisa da ACV, pelas contribuições assíduas no trabalho e pela paciência na resposta de todos os meus questionamentos.

Ao meu professor co-orientador Dr. César Winter de Mello pela disponibilidade total de auxílio e acompanhamento desse trabalho, visando sempre oferecer seus conhecimentos de forma cordial e acessível.

A todos os professores do Programa de Mestrado PPG-ECI pela disseminação do conhecimento de forma íntegra e eficiente, contribuindo para mudança da minha visão como engenheira civil, auxiliando na minha formação como profissional.

Agradeço muito, muito mesmo a Beatriz e Anderson, alunos de iniciação científica do curso de Engenharia Civil da Unila, que me acompanharam na saga de visitação em todas as obras em fase de reboco da cidade de Foz do Iguaçu-Pr. Foram meses no processo de coletas de dados, entre entrevistas e ensaios em obra, organizando e limpando equipamentos, indo e voltando por vários locais. Muito obrigada.

Agradeço a Lidi e a Carol do grupo de pesquisa da POLI/USP, por todas as reuniões pra discussões da minha metodologia e dos meus resultados da pesquisa, além da troca de experiência.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para que este trabalho pudesse ser realizado.

RESUMO

As argamassas mistas de revestimento são consideradas como potencial fonte de emissões de CO₂, devido ao processo produtivo dos materiais presentes em sua composição, como cimento e cal. No Brasil, o uso desses materiais para a produção das argamassas de revestimento em obra, ainda é realizada de forma convencional, com baixo nível de industrialização, com influência pessoal da mão de obra. Tal processo de produção é caracterizado por maiores consumos de materiais, devido ao desconhecimento das propriedades e características do revestimento, interferindo de forma negativa em aspectos ambientais. Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar as emissões de CO₂ e a energia incorporada na fase de execução das argamassas de revestimento em obras na cidade de Foz do Iguaçu-Pr. Para isto, executou-se um estudo inventário baseado no pensamento do Ciclo de Vida, segundo a NBR ISO 14044, com dados primários de 12 obras residenciais de médio e baixo padrão. As informações sobre consumos dos materiais, dos combustíveis para transporte até a obra, da energia elétrica para produção dos revestimentos, da água de lavagem da betoneira e as perdas incorporadas devido a sobrespessura, foram coletadas por meio de visita e acompanhamento dos processos de produção e aplicação dos revestimentos *in loco*. Os resultados mostraram que os traços utilizados apresentam variações, entre 1:0,5:6 e 1:2,8:6,8 (cimento:cal:areia). O consumo de cimento foi de 2,4 e 8 kg/m², da cal de 0,7 e 9,6 kg/m², do filito de 1,2 a 2,6 kg/m² e da areia 13 e 56 kg/m². Com isto as emissões de CO₂ variaram de entre 3 e 29 kgCO₂/m² em traços com o uso de cal na composição, e entre 2 e 7 kgCO₂/m² com o uso de filito. A energia incorporada variou entre 12 a 171 MJ/m² quando empregada a cal e 8 a 40 MJ/m² quando empregado filito. As perdas incorporadas variaram de 17 e 151% equivalentes a 1 e 25 kgCO₂/m² e 5 e 146 MJ. Identificou-se ainda que, revestimentos com maior resistência de aderência a tração aos sete dias de cura, não necessariamente necessitam de maiores consumos de cimento e cal nos traços. Para melhorar o uso dos recursos materiais mais emitentes é necessário um maior controle tecnológico nos processos em obra, através da definição de premissas na produção e aplicação dos revestimentos. Estas contemplam a orientação da mão de obra responsável pela produção, principalmente sobre ordem do emprego dos materiais na mistura, do tempo de mistura e da espessura necessária de aplicação do revestimento.

Palavras-chave: Argamassa, emissões de CO₂, energia incorporada.

ABSTRACT

Mixed coating mortars are considered a potential source of CO₂ emissions, due to the production process of the materials present in their composition, such as cement and lime. In Brazil, the use of these materials for the production of coating mortars on site is still carried out in a conventional way, with a low level of industrialization, with the personal influence of the labour. This production process is characterized by higher consumption of materials, due to the lack of knowledge of the properties and characteristics of the coating, negatively interfering with environmental impacts. Thus, the objective of this work was to determine the CO₂ emissions and the incorporated energy in the execution phase of coating mortars in construction at Foz do Iguaçu-Pr city. For this, a study was carried out based on the Life Cycle thinking, according to NBR ISO 14044, with primary data from 12 medium and low standard residential construction. Information on consumption of materials, fuel for transport to the work, electricity for the production of coatings, water for washing the concrete mixer and the losses incorporated due to over-thickness were collected through visits and monitoring of production processes and application of coatings on-site. The results showed that the mixes used present variations, between 1:0.5:6 and 1:2.8:6.8 (cement:lime:sand). The consumption of cement was 2,4 and 8 kg/m², for lime 0,7 and 9,6 kg/m², for phyllite 1,2 to 2,6 kg/m² and for sand 13 and 56 kg/m². Thus, CO₂ emissions ranged from 3 to 29 kgCO₂/m² in traces with the use of lime in the composition, and between 2 and 7 kgCO₂/m² with the use of filite. The embodied energy ranged from 12 to 171 MJ/m² when lime was used and from 8 to 40 MJ/m² when filite was used. The incorporated losses ranged from 17 and 151% equivalent to 1 and 25 kgCO₂/m² and 5 and 146MJ. It was also identified that coatings with higher tensile bond strength at seven days of curing do not necessarily require higher consumption of cement and lime in the traces. In order to improve the use of the most issuing material resources, greater technological control is needed in the on-site processes, through the definition of premises in the production and application of coatings. These include the orientation of the labor responsible for the production, mainly on the order of use of the materials in the mixture, the mixing time and the necessary thickness of application of the coating.

Key words: Mortar, CO₂ emissions, embodied energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fluxograma do método de pesquisa	24
Figura 2.2 - Método de medida da areia (a) padiola (b) pás.	27
Figura 2.3 - Processo de validação da mistura das argamassas estudadas.....	28
Figura 2.4 - Aplicação manual das argamassas de revestimento (a) sem chapisco (b) com chapisco na preparação do substrato.....	29
Figura 2.5 - Reaproveitamento de argamassa residual de sarrafeamento.....	30
Figura 2.6 - Exemplo pontos de coleta de espessura em parede	30
Figura 2.7 - Método de secagem da areia através de frigideira e fogareiro	32
Figura 2.8 - Aparelho Vicat Modificado para Ensaio Penetração de Cone - NBR 16607 (ABNT 2018)	32
Figura 2.9 - Ensaio Penetração de Cone - ASTM C 780 (ASTM INTERNATIONAL, 2019).....	33
Figura 2.10 – Método pressiométrico para determinação do teor de ar incorporado - NBR NM 47	33
Figura 2.11 - Ensaio de resistência de aderência à tração.....	34
Figura 2.12 - Volume em m ³ de argamassa necessário para revestir 1 m ² de parede	35
Figura 2.13 - Espessura média dos revestimentos das obras estudadas	41
Figura 2.14 - Perdas incorporadas de argamassa (kg/m ²) devido a sobresspessura do revestimento.....	43
Figura 2.15- Consumo real de materiais por m ³ de argamassa das obras estudadas	44
Figura 2.16- Consumo de aditivos (litros/m ³) nas argamassas estudadas.....	47
Figura 2.17 - Consumo de materiais por m ² de revestimento aplicado (mm).....	49
Figura 2.18 – Consistência das argamassas versus a) consumo de água de amassamento; b) consumo de aditivo; c) teor de ar incorporado; d) consumo de cimento e e) consumo de cimento e cal.	53
Figura 2.19 - Teor de ar incorporado versus a) consumo de aditivo; versus b) resistência de aderência à tração.....	54
Figura 2.20- Teor de ar incorporado x densidade de massa	55
Figura 2.21- Resistencia a aderência x consumo de cimento nos revestimentos de argamassa mista das obras estudadas.....	56

Figura 3.1 - Fronteira do sistema de produto das argamassas mistas de revestimento produzidas em obra da cidade de Foz do Iguaçu-Pr.....	67
Figura 3.2 - Energia incorporada total (MJ/m ²) nas argamassas mistas de revestimento	78
Figura 3.3 - Energia incorporadas por fases	79
Figura 3.4 - Emissões de CO ₂ totais (kg/m ²) nas argamassas mistas de revestimento	81
Figura 3.5 - Emissões de CO ₂ por fases (kgCO ₂ /m ²)	83
Figura 3.6 - Emissões de CO ₂ mínimas e máximas x resistência de aderência à tração	84
Figura 3.7 - Energia incorporada e espessura do revestimento	86
Figura 3.8 - Emissões totais de CO ₂ e espessura do revestimento	86
Figura 3.9 - Resumo do processo de emissão e captura do CO ₂	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Identificação das obras estudadas	25
Tabela 2.2 - Ensaio de caracterização das argamassas e seus materiais	31
Tabela 2.3 – Caracterização das argamassas mistas de revestimento estudadas ...	37
Tabela 2.4 - Traço declarado e traço real (em volume)	39
Tabela 2.5 - Consumos de materiais para produção de argamassas mistas de revestimento apresentados na literatura	45
Tabela 2.6 - Consumo de aditivo ideal conforme fabricantes para as obras estudadas (litros/m ³ argamassa)	47
Tabela 2.7 - Consumo de argamassa em m ³ por m ² de revestimento.....	48
Tabela 3.1 - Percentual de clínquer considerado em cada tipo de cimento utilizado nas obras estudadas adaptados da Adaptado de NBR 16697 (ABNT, 2018)	69
Tabela 3.2 - Emissões de CO ₂ e energia incorporada por tipo de cimento	70
Tabela 3.3 - Emissões de CO ₂ e energia incorporada no processo de produção da cal hidratada	71
Tabela 3.4 - Emissões de CO ₂ e energia incorporada no processo de extração e beneficiamento do filito.....	71
Tabela 3.5 - Dados de emissões de CO ₂ da areia encontrados em estudos nacionais	72
Tabela 3.6 - Emissões de CO ₂ e energia incorporada no processo de extração e beneficiamento da areia natural	72
Tabela 3.7 - Fator de emissão de CO ₂ e energia incorporada dos insumos energéticos considerados por unidade de referência	73
Tabela 3.8 - Consumo de materiais (kg/m ²) e espessura dos revestimentos (mm) das obras estudadas.....	74
Tabela 3.9 - Distância de transporte dos materiais até a obra.....	76
Tabela 3.10 - Consumo de diesel no transporte (l/m ²).....	76
Tabela 3.11 - Consumo energia elétrica da betoneira na produção das argamassas produzidas em obra.....	77
Tabela 3.12 - Emissões de CO ₂ argamassas mistas na literatura (kgCO ₂ /m ²).....	82

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
UNILA	Universidade Federal da Integração Latino-Americana
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
GNR	Getting the Numbers Right
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
NASA	Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
GEE	Gases de Efeito Estufa
ONU	Organização das Nações Unidas
SNIC	Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
NOAA	Administração Oceânica e Atmosférica Nacional
CRU	Climatic Research Unit Temperature
USGCRP	Programa de Pesquisa de Mudança Global dos Estados Unidos
NSIDC	Centro de informação dos Estados Unidos da América
WBCDS	World Business Council for Sustainable
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

LISTA DE ABREVIações

CO ₂	Dióxido de carbono
Kg	Quilograma
M ²	Metro quadrado
M ³	Metro cúbico
C_c	Consumo cimento
γ_c	Massa específica cimento
C_p	Consumo cal
γ_p	Massa específica cal
p	Traço da cal (massa)
C_q	Consumo de agregado
γ_q	Massa específica agregado
q	Traço do agregado (massa)
ar	Ar incorporado
a/c	Relação água cimento
γ_{arg}	Massa específica argamassa
km	Quilômetros
FC	Fator de conversão
MPa	Megapascal
FE_{CIM}	Emissões para produção do cimento
$E_{CLINQUER}$	Emissões do clínquer
$\%C_{CIMENTO}$	Percentual de clínquer contido no cimento;
$C_{ENERG.ELÉTRICA}$	Consumo de energia elétrica por tonelada de cimento
FE	Fator de emissão da energia elétrica consumida
$C_{ENERG.TÉRMICA}$	Consumo de energia térmica por tonelada de cimento
FE	Fator de emissão da energia elétrica consumida

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVO GERAL	18
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	19
1.3.1	LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	19
1.4	REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO	20
2	PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS MISTAS DE REVESTIMENTO	22
2.1	OBJETIVO DO CAPÍTULO	23
2.2	MÉTODO	24
2.2.1	Levantamento de dados.....	25
2.2.2	Validação de dados.....	27
2.2.2.1	<i>Traço, volume e mistura da argamassa</i>	27
2.2.2.2	<i>Aplicação</i>	28
2.2.2.3	<i>Reaproveitamento de argamassa residual</i>	29
2.2.2.4	<i>Espessura do revestimento</i>	30
2.2.3	Avaliação das argamassas e seus materiais constituintes.....	31
2.2.4	Determinação dos consumos.....	34
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
2.3.1	Traço declarado x traço real (em volume).....	39
2.3.2	Aplicação do revestimento	41
2.3.3	Consumo dos materiais para produção das argamassas	43
2.3.4	Propriedades das argamassas.....	51
2.3.4.1	<i>Consistência</i>	51
2.3.4.2	<i>Ar incorporado e densidade de massa</i>	54
2.3.4.3	<i>Resistência de aderência à tração</i>	56
2.4	CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO	58
2.5	REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO	59
3	EMISSÕES DE CO₂ E ENERGIA INCOPORADA	64
3.1	OBJETIVO DO CAPÍTULO	65
3.2	MÉTODO	65
3.2.1	Objetivo.....	66
3.2.2	Escopo.....	66

3.2.3	Diesel para transporte dos materiais até a obra.....	68
3.2.4	Energia elétrica em obra	68
3.2.5	Pressupostos de cálculo	68
3.2.5.1	<i>Cimento</i>	69
3.2.5.2	<i>Cal</i>	70
3.2.5.3	<i>Filito</i>	71
3.2.5.4	<i>Areia</i>	72
3.2.5.5	<i>Combustíveis</i>	73
3.2.6	Cálculo das emissões de CO ₂ e energia incorporada	73
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	76
3.3.1	Diesel para transporte dos materiais até a obra.....	76
3.3.2	Energia elétrica em obra	77
3.3.3	Emissões de CO ₂ e energia incorporada	78
3.3.4	Emissões de CO ₂ x resistência de aderência à tração	84
3.3.5	Indicadores e espessura do revestimento.....	85
3.4	CAPTURE DE CO ₂	87
3.5	CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO	90
3.6	REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO	91
4	CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O TEMA	96
4.1	DIFICULDADES ENCONTRADAS NAS OBRAS ESTUDADAS PARA O USO EFICIENTE DE MATERIAIS	97
4.1.1	Projeto de Revestimentos	98
4.1.2	Legislações e Fiscalização	98
4.1.3	Controle de Qualidade	98
4.1.4	Dependência da Mão de Obra	99
4.1.5	Controle dos Processos	99
4.1.6	Deficiência na Orientação da Mão de Obra	99
4.1.7	Resistência no Uso de Argamassas Alternativas	99
4.2	AÇÕES SIMPLES EM OBRA PARA O USO EFICIENTE DE MATERIAIS	100
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	102
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	103
	APÊNDICES.....	104

1 INTRODUÇÃO

O planeta terra está sofrendo alterações na sua temperatura média devido ao aumento da emissão de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera resultante das ações antropogênicas (CRU, 2020; NASA, 2020; NOAA, 2020). Se essa tendência continuar a prospecção otimista é de que até 2100 haja um aumento de 2°C na temperatura média global em relação a níveis pré-industriais¹ (IPCC, 2018). Tais mudanças podem gerar grandes danos ambientais e climáticos, como o aumento do nível dos mares e de sua temperatura, o aumento de eventos climáticos extremos, a extinção de espécies e a diminuição do rendimento agrícola (USGCRP, 2017; IPCC, 2019; NSIDC, 2019).

Esforços globais estão sendo realizados com foco em deter as mudanças climáticas. No acordo de Paris em 2015, 195 países concordaram unir esforços para limitar o aumento da temperatura até o ano de 2050 em 1,5°C (UNFCCC, 2015). Para isso, a emissão líquida antrópica de dióxido de carbono (CO₂), um dos principais gases causadores do efeito estufa, deve ser diminuída em 45% até o ano de 2030, alcançando valor líquido zero² em 2050 (IPCC, 2018).

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estão sinergicamente ligados à limitação da temperatura do aquecimento global. Foram definidos no ano de 2015, em uma agenda mundial composta por 17 objetivos e 169 metas (AGENDA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2015). Dentro da agenda para 2030, a erradicação da pobreza, o crescimento econômico e a sustentabilidade formam um tripé que busca o desenvolvimento sustentável no planeta (ONU, 2016). O objetivo número 13, “Ação contra a Mudança Global do Clima”, está diretamente vinculado à mitigação das emissões de CO₂ na atmosfera.

Na construção civil as emissões de CO₂ estão vinculadas principalmente a produção do cimento, responsável por 5 a 8% das emissões mundiais (MÜLLER; HARNISCH, 2008; SCRIVENER, 2014; SNIC, 2019). A média global de geração de CO₂ por tonelada de clínquer produzido é de 834 kg, e no Brasil chega a 832 kg conforme dados levantados pelo GNR Project Reporting CO₂ (WBCDS, 2019) devido a ações de mitigação de emissões de CO₂ adotadas pelo país (SNIC, 2019). Em 2019 a produção mundial de cimento estimada chegou a 4,1 Gt (URGS, 2020) responsável pela emissão de 0,54 GtCO₂

¹ Período por volta de 1750 em que a atividade industrial em grande escala não existia.

² Valor alcançado quando das emissões antrópicas se equiparam as remoções antrópicas de CO₂.

na atmosfera (WBCDS, 2019). Com o aumento da necessidade de infraestrutura mundial, a estimativa em um cenário de crescimento de demanda é de que até 2050 a produção de cimento chegue entre 3,69 Gt (baixa demanda) até 4,40 Gt (alta demanda) de toneladas, gerando emissões entre 2 a 2,5 GtCO₂ ao ano (WBCSD, 2009).

No que se refere às argamassas mistas de revestimento, compostas por cimento, cal e areia (CARASEK, 2010), a cal também é considerada fonte de emissão de CO₂ (CETESB, 2013; JOHN; PUNHAGUI; CINCOTTO, 2014). Da mesma forma que o cimento, sua emissão está relacionada com o processo de calcinação/descarbonatação da rocha calcária e a queima de combustíveis fósseis para geração de energia térmica aos fornos (SOARES, 2007; SNIC, 2019). A produção da cal virgem cálcica emite 785 kg de CO₂ por tonelada, enquanto a cal virgem dolomítica emite 913 kg de CO₂ por tonelada de material produzido (JOHN; PUNHAGUI; CINCOTTO, 2014).

A adoção de medidas alternativas para minimizar a geração de CO₂ na fase de produção dos materiais está voltada principalmente à indústria do cimento, através do melhoramento da eficiência energética dos fornos, do uso de combustíveis alternativos e da substituição do clínquer por adições (SNIC, 2019). Na fase de uso dos materiais, alguns melhoramentos na execução dos revestimentos argamassados vem sendo realizados, como o uso de aditivos no traço das argamassas convencionais, a utilização de argamassas industrializadas (CALDAS; CARVALHO; TOLEDO FILHO, 2020) e a modificação do processo de aplicação do revestimento de forma manual para mecanizada (ALBUQUERQUE; LIRA; SPOSTO, 2018). São poucos os trabalhos atualmente que buscam um uso eficiente do cimento e da cal na fase de utilização como potencialidade de mitigação de emissões de CO₂ (JOHN et al., 2018).

Utilizando como base o pensamento do método de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), é possível estimar potenciais impactos ambientais de um produto ao longo do seu ciclo de vida, por meio da análise dos fluxos de entrada e saída. Este, quando aplicado de forma simplificada, viabiliza a determinação de prerrogativas e ações de melhoras nos sistemas de forma pontual. Para tal é necessário conhecer os consumos presentes no processo de fabricação e aplicação das argamassas de revestimento, uma vez que na literatura estes são considerados através de traços pré-determinados ou por metodologias de dosagens racionais³.

³ Método de dosagem que considera em geral as características dos materiais empregados nos traços das argamassas, e as propriedades no estado fresco e endurecido necessárias as adequadas condições de uso e aplicação das argamassas de revestimento (SANTOS et al., 2018).

O contexto encontrado nas obras da cidade de Foz do Iguaçu-Pr apresenta em sua grande maioria a produção da argamassa de revestimento de forma convencional, com baixo nível de industrialização, e com influência pessoal da mão de obra. Como não foram encontrados estudos que façam um levantamento do consumo de cimento e cal, principalmente em argamassas na região, não é possível estimar os valores reais de emissão de CO₂ para as argamassas feitas em obras na cidade, nem a variabilidade deles. Assim, justifica-se quantificar os consumos dos materiais que compõem as argamassas mistas de revestimento e estimar as emissões de CO₂ vinculadas para propor medidas potenciais de mitigação de CO₂.

1.1 OBJETIVO GERAL

Estimar as emissões de CO₂ e energia incorporada na fase de execução e aplicação de argamassas de revestimento produzidas em obras na cidade de Foz do Iguaçu-Pr.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar os consumos efetivos dos materiais empregados nas argamassas de revestimento nas obras de Foz do Iguaçu-Pr;
- Avaliar algumas propriedades físicas e mecânicas das argamassas mistas de revestimento;
- Estimar as emissões de CO₂ e a energia incorporada, na fase de execução e aplicação das argamassas mistas de revestimento;
- Avaliar a influência da variabilidade das argamassas feitas em obra (traço, materiais, espessura de aplicação, etc.) e dos indicadores ambientais estudados (energia incorporada e perdas) nas emissões de CO₂.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta pesquisa está dividida em cinco capítulos. No primeiro tem-se a introdução e justificativas, os objetivos, a presente estrutura do trabalho, e as limitações encontradas durante seu desenvolvimento.

No capítulo 2 são apresentadas as análises das argamassas de revestimento produzidas em 12 obras residenciais de Foz do Iguaçu-Pr verificando os traços usuais, o consumo efetivo dos materiais componentes, bem como as propriedades físico-mecânicas das argamassas. Desta forma, foi possível caracterizar o objeto de estudo e subsidiar as informações relacionadas à composição e desempenho das argamassas para o cálculo de emissões de CO₂.

No capítulo 3 são apresentadas as emissões de CO₂ e a energia incorporada das argamassas de revestimento da amostra. Para isto, adotou-se como base o pensamento da avaliação do ciclo de vida, até a fase de inventário. Além da avaliação quantitativa, fez-se uma análise qualitativa de relação entre as informações geradas no capítulo 02 e 03 da pesquisa.

O capítulo 4 aborda as considerações gerais sobre os capítulos 2 e 3, com a intenção de demonstrar dificuldades encontradas em relação ao uso eficiente dos materiais e discutir algumas possibilidades de mitigação das emissões de CO₂ das argamassas de revestimento, feitas em obra, na fase de execução e aplicação.

O capítulo 5 aborda as considerações finais sobre a pesquisa, apresentando as principais conclusões obtidas ao longo do trabalho. Também são apresentadas sugestões para trabalhos futuros.

1.3.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A resistência de aderência a tração foi determinada aos 7 dias devido a ajustes de cronograma da obra. Isso porque, tal ensaio é destrutivo e gera retrabalhos, não sendo vantajoso para os responsáveis dos empreendimentos autorizar a espera de 28 dias.

A determinação do desempenho dos revestimentos estudados se limitou ao ensaio de resistência a aderência a tração dos revestimentos. Entende-se que este deve ser ampliado a outros aspectos como a fissuração, durabilidade, permeabilidade a água, entre outros.

1.4 REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO

AGENDA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.** Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>>. Acesso em: 8 maio. 2020.

ALBUQUERQUE, H. R.; LIRA, J.; SPOSTO, R. M. Emissões de CO₂ de sistemas de revestimento de argamassa: estudo de caso de aplicação de argamassa projetada comparativamente à aplicação convencional. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 4, p. 377-393, out. 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212018000400377&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 5 out. 2021.

CALDAS, L. R.; CARVALHO, M. T. M.; TOLEDO FILHO, R. D. Avaliação de estratégias para a mitigação dos impactos ambientais de revestimentos argamassados no Brasil. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 3, p. 343-362, jul. 2020. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212020000300343&tlng=pt>. Acesso em: 5 out. 2021.

CARASEK, H. Argamassas. In: **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. IBRACON.** Capítulo 28. [s.l.] Geraldo Cechella Isaia, 2010.

CETESB. **Emissões do Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos.** São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2013.

CRU. The CRUTEM4 Land-Surface Air Temperature Data Set: Construction, Previous Versions and Dissemination via Google Earth. **Earth System Science Data**, v. 6, n. 1, p. 61-68, 2020.

IPCC. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas: Aquecimento Global de 1,5° C. p. 28, 2018.

IPCC, I. P. on C. C. **Climate Change and Land**, 2019. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/srccl/>>. Acesso em: 15 mar. 2020.

JOHN, V. M. et al. **POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DE CO₂ DE MATERIAIS CIMENTÍCIOS NA FASE DE USO.** In: ENTAC. Foz do Iguaçu-Pr / PR, 2018.

JOHN, V. M.; PUNHAGUI, K. R.; CINCOTTO, M. A. **ECONOMIA DE BAIXO CARBONO: AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DE RESTRIÇÕES E PERSPECTIVAS TECNOLÓGICAS: PRODUÇÃO DE CAL.** [s.l.: s.n.].

MÜLLER, N.; HARNISCH, J. **A blueprint for a climate friendly cement industry**, 2008. Disponível em: <www.panda.org/climatesavers>.

NASA. Improvements in the GISTEMP Uncertainty Model. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 124, n. 12, p. 6307-6326, 2020.

NOAA, N. O. and A. A. **Global Climate Change Indicators** National Centers for Environmental Information, 15 mar. 2020. Disponível em:

<<https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/faq/indicators.php>>.

NSIDC. **SOTC: Sea Ice | National Snow and Ice Data Center**. Disponível em: <https://nsidc.org/cryosphere/sotc/sea_ice.html>. Acesso em: 8 maio. 2020.

ONU. **Roteiro para a Localização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Implementação e Acompanhamento no nível subnacional**, 2016.

SANTOS, W. J. dos et al. Proposta de método de dosagem para argamassas de revestimento com areia artificial de britagem. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 1, p. 225-243, mar. 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212018000100225&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 14 set. 2021.

SCRIVENER, K. L. Options for the Future of Cement. p. 11, 2014.

SNIC. **ROADMAP TECNOLÓGICO DO CIMENTO: Potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050 / coordenado por Gonzalo Visedo e Marcelo Pecchio**. Rio de Janeiro, 2019.

SOARES, B. D. **Estudo da produção de óxido de cálcio por calcinação do calcário: Caracterização dos sólidos, decomposição térmica e otimização paramétrica**. 2007. Universidade Federal de Uberlândia / Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Uberlândia - MG, 2007.

UNFCCC. **Conference of the Paris**, 2015.

URGS. **Cement Statistics and Information: World Cement Production by Country**, 2020. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-cement.pdf>>.

USGCRP. **Climate Science Special Report**. Disponível em: <<https://science2017.globalchange.gov/>>. Acesso em: 8 maio. 2020.

WBCDS. **GNR Project Reporting CO₂**. Disponível em: <<https://gccassociation.org/gnr/>>. Acesso em: 18 ago. 2021.

WBCSD. **Cement Technology Roadmap 2009: Carbon emissions reductions up to 2050.**, 2009.

2 PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS MISTAS DE REVESTIMENTO

As argamassas mistas de revestimento são constituídas por cimento, cal, areia e água (CARASEK, 2010). Estas têm como função proteger e conservar as edificações, oferecendo funções de melhoria do conforto térmico e acústico, estanqueidade e durabilidade (CALDAS; TOLEDO FILHO, 2018; SALOMÃO; BAUER; KAZMIERCZAK, 2018). As principais propriedades solicitadas em estado fresco a esse material estão relacionadas a sua aplicação, sendo elas: coesão, retenção de água, plasticidade e adesão inicial; e em estado endurecido: resistência à tração na flexão, baixa permeabilidade de água, capacidade de absorver deformações, baixa retração e aderência (CARASEK, 2010; SANTOS et al., 2018). Os fatores que mais impactam nas propriedades das argamassas estão relacionados aos materiais constituintes do traço, a forma de produção, aplicação do revestimento e o tipo de substrato (SOUSA; BAUER, 2002).

A produção de argamassas no Brasil ainda é realizada de forma convencional em 53% das obras, e em 2050 estima-se que uma parcela de 36% manterão o uso do mesmo método (ALBUQUERQUE; LIRA; SPOSTO, 2018; JOHN et al., 2018). Este é caracterizado pela dependência no conhecimento empírico, ausência de controle tecnológico e de qualidade, com resultados imprevistos que podem impactar diretamente no desempenho dos revestimentos durante sua vida útil (ABCP, 2002; ARAUJO JR, 2004; BAUER et al., 2005; PARAVISI, 2008).

Estudos nacionais comparam a emissão de CO₂ de diferentes argamassas, e mostram que a argamassa mista produzida em obra é responsável por maiores emissões devido ao processo produtivo dos materiais presentes na composição, principalmente o cimento e a cal (ALBUQUERQUE; LIRA; SPOSTO, 2018; DE FARIA; REALES; FILHO, 2019). Como alternativa para diminuição das emissões de CO₂ o uso mais eficiente dos materiais que compõem argamassas pode ser considerado (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018; DE FARIA; REALES; FILHO, 2019).

Os métodos de dosagem disponíveis atualmente para a produção de argamassas são limitados, tendo em vista uma aplicabilidade restrita, principalmente devido aos materiais disponíveis em diferentes regiões do país (SANTOS et al., 2018). O traço mais comum para produção das argamassas é 1:1:6 (cimento:cal:areia) que se tornou muitas vezes 1:3 (aglomerante:areia)(CARASEK, 2010). Através do traço base são realizados reajustes conforme necessidade identificada in loco. Tais ajustes podem gerar maior variabilidade nos traços, além do consumo desnecessário de materiais na mistura,

como forma de compensação do desconhecimento das propriedades dos materiais (GOMES; NEVES, 2002; COSTA, 2005; PARAVISI, 2008; JOHN et al., 2018).

O conhecimento dos princípios do comportamento reológico das argamassas no estado fresco é importante pois influencia na concepção de argamassas trabalháveis, no momento em que é realizado seu manuseio, assim como na escolha do método de aplicação (MATTANA; PEREIRA, 2013). Os requisitos de desempenho das argamassas estão comumente relacionados ao seu estado endurecido, porém, com um melhor uso na fase fresca pode-se obter um máximo potencial das propriedades de desempenho final do revestimento (CARASEK, 2010; MATTANA; PEREIRA, 2013).

A resistência de aderência à tração tem como finalidade absorver tensões normais ou tangenciais entre o substrato e o revestimento (CARASEK, 2010; MACIEL et al., 2018). Quando verificada de forma microscópica, é advinda da penetração dos cristais de etringita nos poros das argamassa e do substrato base (GALLEGOS, 1995), apresentando dependência das interações entre as camadas dos sistema de revestimento (CARASEK, 2010). Tem influência de fatores relacionados ao projeto, aos materiais empregados no traço e o método de aplicação (IOPPI (1995) apud MURRAY (1983).

Como não foram encontrados estudos que façam um levantamento dos traços e das propriedades das argamassas na região de Foz do Iguaçu, não é possível estimar os valores reais de emissão de CO₂ para as argamassas feitas em obras na cidade, nem a variabilidade deles. Assim, justifica-se quantificar os consumos de cimento de cal para futuramente ter os meios para propor medidas potenciais de mitigação de CO₂.

2.1 OBJETIVO DO CAPÍTULO

O objetivo desse capítulo é determinar o consumo dos materiais empregados nos traços das argamassas de revestimento e suas propriedades em obras de Foz do Iguaçu-PR.

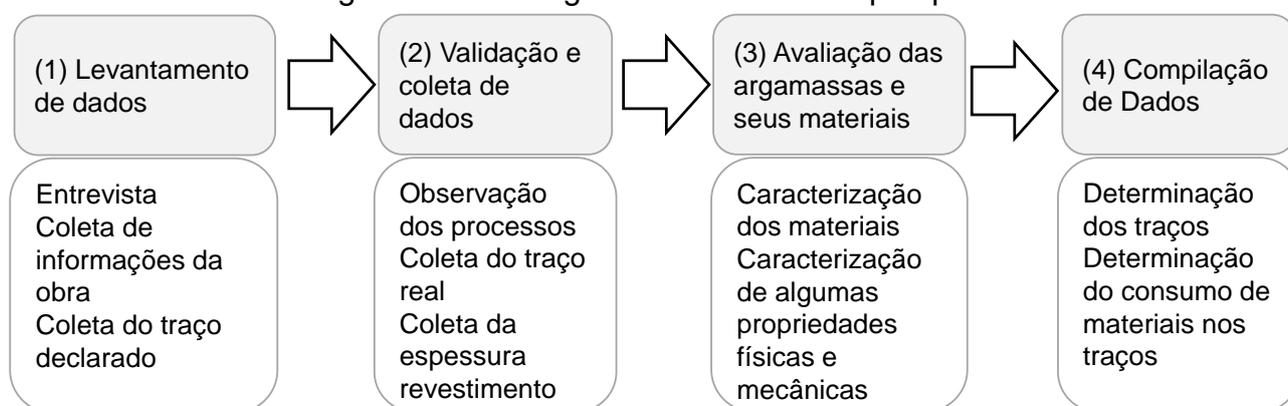
Desta forma, os objetivos específicos são:

- Determinar o consumo dos materiais empregados nos traços das argamassas de revestimento e suas propriedades;
- Determinar a espessura real dos revestimentos aplicados;
- Determinar a resistência de aderência à tração das argamassas produzidas em obra.

2.2 MÉTODO

O estudo foi realizado em 12 obras na cidade de Foz do Iguaçu-PR. O método empregado foi composto por quatro etapas: (1) entrevista dos responsáveis e coleta do traço declarado; (2) validação e coleta de dados reais; (3) avaliação das características e propriedades das argamassas mistas produzidas em obra; (4) compilação de dados da composição das argamassas. Na Figura 2.1 pode-se observar um fluxograma global do método da pesquisa empregado.

Figura 2.1 - Fluxograma do método de pesquisa



As etapas (1) e (2) foram realizadas *in loco* nas obras estudadas, assim como parte da etapa (3) para caracterização das argamassas no estado fresco e endurecido. A outra parte da etapa (3) foi realizada em laboratório, para caracterização do cimento e da areia utilizados. A etapa (4) foi realizada posteriormente à obtenção de todas as informações das etapas anteriores.

Para a realização do estudo proposto, foram definidas obras residenciais uni ou multifamiliar em alvenaria de tijolo cerâmico, em fase de revestimento executado com argamassa mista convencional não industrializada, virada em obra, em estágio de produção e aplicação em área interna ou externa.

Na Tabela 2.1 estão apresentadas as obras estudadas identificadas pelo padrão construtivo.

Tabela 2.1 - Identificação das obras estudadas

Identificação Obra	Área (m ²)	Nº de Banheiros	Enquadramento
Nº 01	250	3 (três)	Médio padrão
Nº 02	200	3 (três)	Médio padrão
Nº 03	212	3 (três)	Médio padrão
Nº 04	180	3 (três)	Médio padrão
Nº 05	186	3 (três)	Médio padrão
Nº 06	280	3 (três)	Médio padrão
Nº 07	41,87	1 (um)	Baixo padrão
Nº 08	92,5	2 (dois)	Baixo padrão
Nº 09	76	2 (dois)	Baixo padrão
Nº 10	70	2 (dois)	Baixo padrão
Nº 11	61	1 (um)	Baixo padrão
Nº 12	73	1 (um)	Baixo padrão

As obras foram identificadas entre baixo e médio padrão de acordo com o enquadramento previsto no Art.348 da Instrução Normativa nº 971/2009 da Receita Federal (RFB, 2009). Este baseia-se no número de banheiros existentes na residência. As áreas das edificações foram apresentadas apenas a nível informativo. Um mapa de localização das obras estudadas foi elaborado a partir de uma imagem de satélite da cidade de Foz do Iguaçu-PR editada em software GQIS conforme apresentado no Apêndice A.

2.2.1 Levantamento de dados

O levantamento de dados das argamassas de revestimento das obras estudadas foi realizado através de: (1) obtenção de projetos ou especificações das argamassas empregadas através do responsável técnico da obra; (2) entrevista com o mestre de obras *in loco* para levantamento de traço declarado e de informações sobre a produção das argamassas; (3) identificação *in loco* dos materiais empregados nas argamassas. Para realização da coleta dos dados em obra foi utilizado como ferramenta de pesquisa um formulário padrão de questionamentos conforme Apêndice B, preenchido pela pesquisadora durante o processo.

A existência de projeto de revestimento foi verificada junto aos responsáveis técnicos das obras estudadas. Conforme Manual de Revestimentos de Argamassas (ABCP, 2002), o projeto de revestimento tem como finalidade especificar os materiais e técnicas construtivas a serem empregados, e estabelecer diretrizes para um bom desempenho do sistema de revestimento. Dentre todas as obras visitadas, nenhuma

delas possuía projeto de revestimentos ou qualquer especificação técnica. Os responsáveis foram questionados sobre a determinação da metodologia de produção e aplicação das argamassas utilizadas, quem é o responsável pelas definições das características e do traço, e como é feito o controle de qualidade dos revestimentos.

Em entrevista como mestre de obras no local, também foram levantados questionamentos mais pontuais sobre as características das argamassas, entre eles:

- O traço declarado assumido para produção em obra;
- A presença de chapisco como forma de preparação do substrato para recebimento do revestimento;
- O funcionário responsável pela produção da argamassa de revestimento;
- A ordem da mistura dos materiais na betoneira para produção;
- A realização de ajustes no traço das argamassas quando pertinente;
- O processo de cura da argamassa de revestimento;
- O tipo de aplicação: emboço/reboco ou massa única;
- O método de aplicação: manual ou mecânica;
- Uso de argamassas alternativas;
- O local de aplicação, ambiente interno ou externo, e se são realizadas modificação de traço na troca de ambiente;
- Os fornecedores dos materiais empregados, para conhecimento da distância de transporte até o local da obra.

A identificação dos materiais utilizados na mistura da argamassa de revestimento foi realizada de forma visual pela pesquisadora. Os itens disponíveis no mercado em embalagens, como é o caso do cimento, cal, filito e aditivos, foram identificados pela marca do produto, tipo, lote, prazo de validade e local de armazenamento. A procedência da areia foi identificada, se natural ou industrializada, assim como o local de armazenamento.

Também foi verificado o acesso a água empregada no traço, se por mangueira ou bombona. A potência das betoneiras utilizadas para mistura das argamassas de revestimento foi identificada para posterior cálculo do consumo de energia para produção das argamassas.

2.2.2 Validação de dados

Para validação dos dados coletados nas entrevistas com os mestres de obras foi realizado o acompanhamento dos processos de produção e aplicação das argamassas de revestimento nas obras estudadas.

2.2.2.1 Traço, volume e mistura da argamassa

O traço real foi determinado em massa, com auxílio de uma balança de precisão de 1g, com capacidade máxima de 50 kg, coletando material com as práticas de produção das argamassas de revestimento utilizadas nas obras estudadas.

Em algumas obras a inserção da água na mistura era realizada diretamente da mangueira, sem controle quantitativo em massa ou litros, dependendo exclusivamente do olhar do funcionário responsável pela produção. Para o estudo, a mensuração da água empregada no traço foi determinada em baldes, com massa conhecida. Quando a quantidade de água pesada não foi utilizada por completa pelo operador, esta foi repesada e descontada do traço.

Usualmente no canteiro de obras a proporção de areia é medida em padiolas (caixas com volume definido, em madeira ou de metal conforme Figura 2.2, item (a)). Em outras a proporção é medida pelo número de pás despejadas diretamente na betoneira conforme Figura 2.2 item (b). Devido a esta prática, nas obras estudadas que utilizaram pás como meio de proporção, a massa de material empregado foi estimada através da média de pesagem de três pás, com o mesmo padrão volumétrico inserido no traço.

Figura 2.2 - Método de medida da areia (a) padiola (b) pás.



O processo de mistura da argamassa foi acompanhado e validado de forma visual conforme Figura 2.3, identificando a ordem e a quantidade de materiais inseridos na betoneira. O tempo de mistura foi cronometrado desde que a betoneira foi ligada até o momento em que a mesma foi desligada.

Figura 2.3 - Processo de validação da mistura das argamassas estudadas



O volume de argamassa produzido em cada betonada foi calculado pelo traço coletado em obra. O volume de argamassa produzido por dia foi determinado através do produto entre o número de betonadas/dia produzidas na obra pelo volume de argamassa produzida em cada betonada. O número de betonadas/dia foi definido pela da média de três dias de coleta.

2.2.2.2 Aplicação

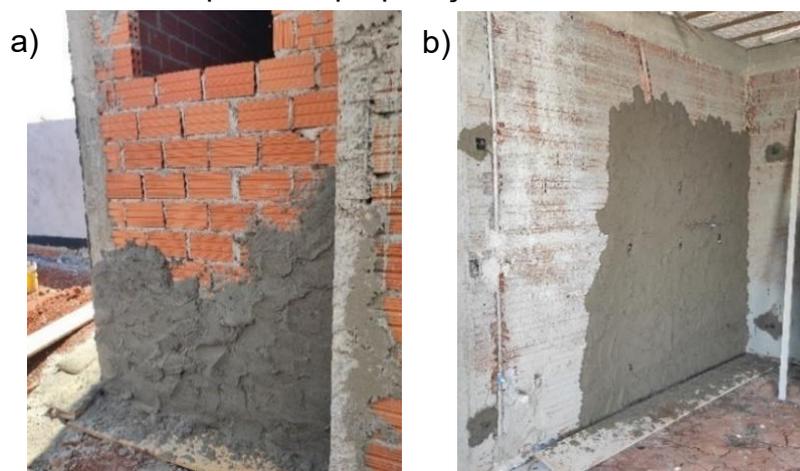
Foram levantadas informações sobre a aplicação do revestimento argamassado nas obras estudadas. Entre os itens verificados estavam:

- Local de aplicação do revestimento, área interna ou externa da edificação;

- Aplicação de chapisco anteriormente a argamassa de revestimento;
- Tipo de aplicação: emboço e reboco ou massa única;
- Método de aplicação: manual ou mecânico;
- Ajustes na massa durante o processo de aplicação.

Na Figura 2.4 podem ser verificados os diferentes tipos de aplicação das argamassas de revestimento nas obras estudadas, sendo que no item a) não foi realizada a aplicação de chapisco previamente à argamassa, e no item b) foi realizada a aplicação de chapisco previamente. Em todas as obras estudadas a forma de aplicação da argamassa de revestimento foi manual. A aplicação manual de argamassas requer da mão de obra o conhecimento para o manuseio de uma ferramenta chamada trolha, ou comumente conhecida como “colher de pedreiro” (PARAVISI, 2008; ALBUQUERQUE; LIRA; SPOSTO, 2018).

Figura 2.4 - Aplicação manual das argamassas de revestimento (a) sem chapisco (b) com chapisco na preparação do substrato



2.2.2.3 Reaproveitamento de argamassa residual

Durante a etapa de validação dos processos, foi verificado em algumas das obras estudadas, o reaproveitamento do resíduo da argamassa derivado do sarrafeamento⁴ do revestimento. Visivelmente pode-se identificar que o material apresentava perda de água, pois seu aspecto era de uma consistência menos trabalhável quando comparada a argamassa recém misturada na betoneira.

⁴ Nivelamento da superfície do revestimento com base em linhas mestras para determinação da espessura máxima do revestimento, comumente realizado em obra.

Foi usual em todas as obras estudadas, nova inserção de água na mistura, para que o material fosse reaproveitado, sendo este aplicado novamente na parede para execução de revestimento. Tal processo de mistura era realizado através da betoneira ou de forma manual conforme observado na Figura 2.5.

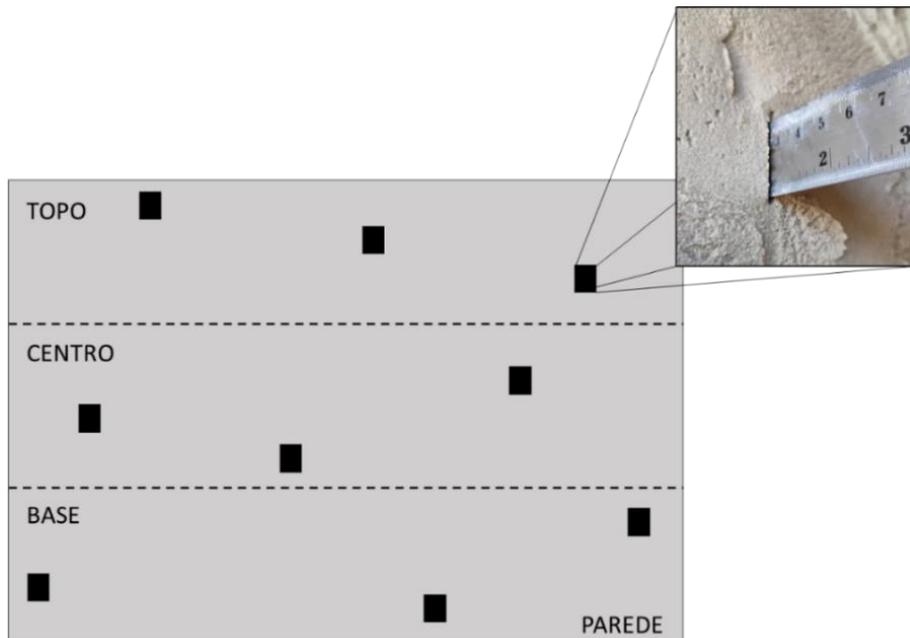
Figura 2.5 - Reaproveitamento de argamassa residual de sarrafeamento



2.2.2.4 Espessura do revestimento

Para o levantamento da espessura de argamassa aplicada em cada obra, realizou-se a medição penetrando uma régua metálica com escala milimétrica no revestimento ainda fresco, após o processo de sarrafeamento conforme Figura 2.6.

Figura 2.6 - Exemplo pontos de coleta de espessura em parede



Foram coletados 9 pontos aleatórios em três níveis da parede, topo/meio/base, em que a argamassa de revestimento foi aplicada. A média entre os valores foi considerada a espessura de revestimento utilizada na obra.

2.2.3 Avaliação das argamassas e seus materiais constituintes

Foram coletadas amostras de 300g aproximadamente de cimento e areia seca em cada uma das obras estudadas para caracterização em laboratório. Cada amostra foi devidamente armazenada em um recipiente com vedação e identificada com o nº da obra, data e nome do produto.

A avaliação das propriedades das argamassas e dos materiais coletados nas obras foi realizada por meio de ensaios descritos na Tabela 2.2 a seguir.

Tabela 2.2 - Ensaios de caracterização das argamassas e seus materiais

Ensaio	Normas (Ensaio Gerais)	Materiais		Argamassa	
		Cimento	Areia	Estado Fresco	Estado endurecido
Massa Unitária	NBR NM 45 (ABNT, 2006)		X		
Massa específica	NBR 9776 (ABNT, 1987) e NM 52 (ABNT, 2009)	X	X		
Ensaio de Penetração de Cone	Aparelho Vicat modificado NBR 16607 (ABNT 2018); ASTM C 780 (ASTM INTERNATIONAL, 2019)			X	
Teor de ar incorporado	Método Pressiométrico baseado na NBR NM 47 (ABNT, 2002)			X	
Densidade de massa	NBR 13278 (ABNT, 2005)			X	
Resistência de aderência à tração	NBR 13528-1 (ABNT, 2019)				X

A caracterização da massa unitária da areia, NBR NM 45 (ABNT, 2006), foi realizada em canteiro de obras, em duas amostras apenas uma vez, uma em estado ambiente e a outra em estado seco, através do método de secagem em frigideira conforme Figura 2.7. A quantidade de areia que passou pelo processo de secagem, variou de acordo com a capacidade da frigideira, sendo de aproximadamente 800g.

Figura 2.7 - Método de secagem da areia através de frigideira e fogareiro



O ensaio de penetração do cone, ASTM C 780 (ASTM INTERNATIONAL, 2019), possui uma aparelhagem simples e acessível possibilitando a execução do ensaio em obra, facilitando o controle da produção das argamassas produzidas *in loco* (CARASEK, 2010). O dispositivo utilizado e suas dimensões para o ensaio de penetração de cone estão apresentados na Figura 2.8 a seguir. O ensaio executado em obra está apresentado na Figura 2.9.

Figura 2.8 - Aparelho Vicat Modificado para Ensaio Penetração de Cone - NBR 16607 (ABNT 2018)

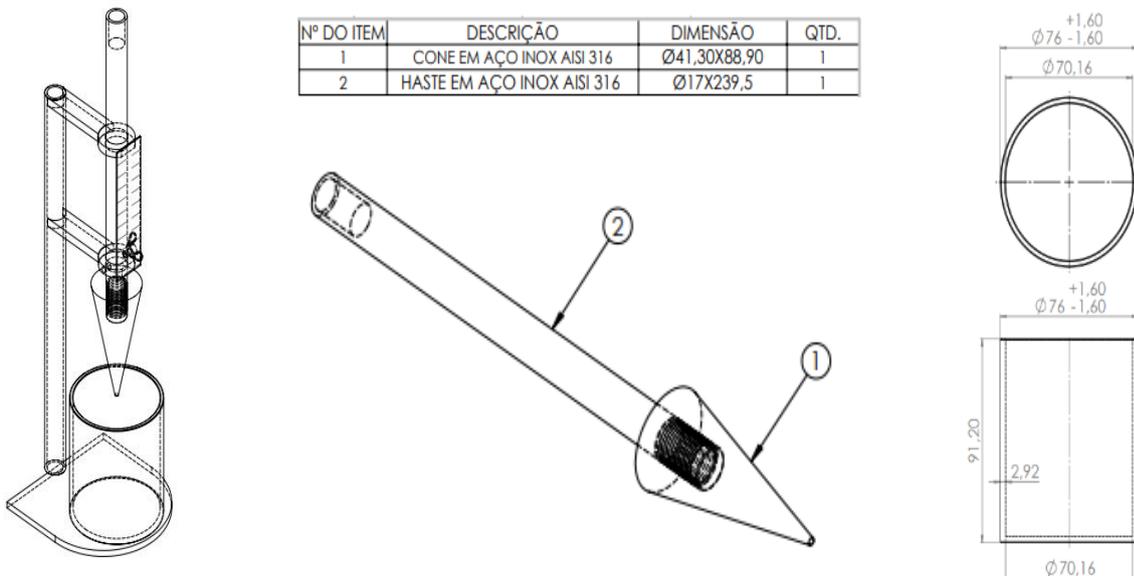


Figura 2.9 - Ensaio Penetração de Cone - ASTM C 780 (ASTM INTERNATIONAL, 2019)



Para realizar a determinação do teor de ar incorporado nas argamassas o ensaio baseado na NBR NM 47 (ABNT, 2002), foi executado assim que o processo de mistura da argamassa foi paralisado. O aparelho utilizado foi da marca SOLOTEST, com capacidade de 8 litros conforme apresentado na Figura 2.10.

Figura 2.10 – Método pressiométrico para determinação do teor de ar incorporado - NBR NM 47



O ensaio de resistência de aderência à tração, NBR 13528-1 (ABNT, 2019), foi realizado em obra após 7 a 9 dias de cura dos revestimentos, através do arrancamento de 12 pastilhas conforme Figura 2.11, no plano de parede em que foi realizado o acompanhamento do processo de aplicação das argamassas produzidas e em que foram coletadas as espessuras. A impossibilidade de realizar os ensaios no período em que preconiza a norma, em 28 dias após a aplicação, ocorreu devido logística de autorização dos responsáveis das obras.

Figura 2.11 - Ensaio de resistência de aderência à tração



Na data anterior ao ensaio, foram feitos 12 cortes aleatórios no revestimento com dispositivo de corte seco de seção circular com diâmetro de 50 mm. Uma vez realizada a limpeza da superfície foi realizada a colagem das pastilhas do ensaio sobre os cortes com cola epóxi. Foram introduzidos nos cortes tiras de papelão para suporte das pastilhas durante a secagem da cola. Para o ensaio, foi utilizado aparelho da marca SOLOTEST com taxa de carregamento constante.

2.2.4 Determinação dos consumos

Os consumos foram determinados em duas unidades de medida, primeiramente em metros cúbicos (m^3) de argamassa produzida e posteriormente em metros quadrados (m^2) a partir da espessura do revestimento aplicado.

Os consumos de cimento (C_C), de cal (C_p) e de agregado miúdo (C_q) nas argamassas foram calculados por meio da determinação do traço real em massa de cada obra estudada. O cálculo do consumo em volume de cada material foi realizado utilizando o método explicado detalhadamente por Carasek (2010), conforme as Equações 1, 2 e 3.

$$C_C = \frac{\gamma_{arg}}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{p}{\gamma_p} + \frac{q}{\gamma_q} + a/c} = \frac{1000 - ar}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{p}{\gamma_p} + \frac{q}{\gamma_q} + a/c} \quad (1)$$

$$C_p = C_C \times p \quad (2)$$

$$C_q = C_C \times q \quad (3)$$

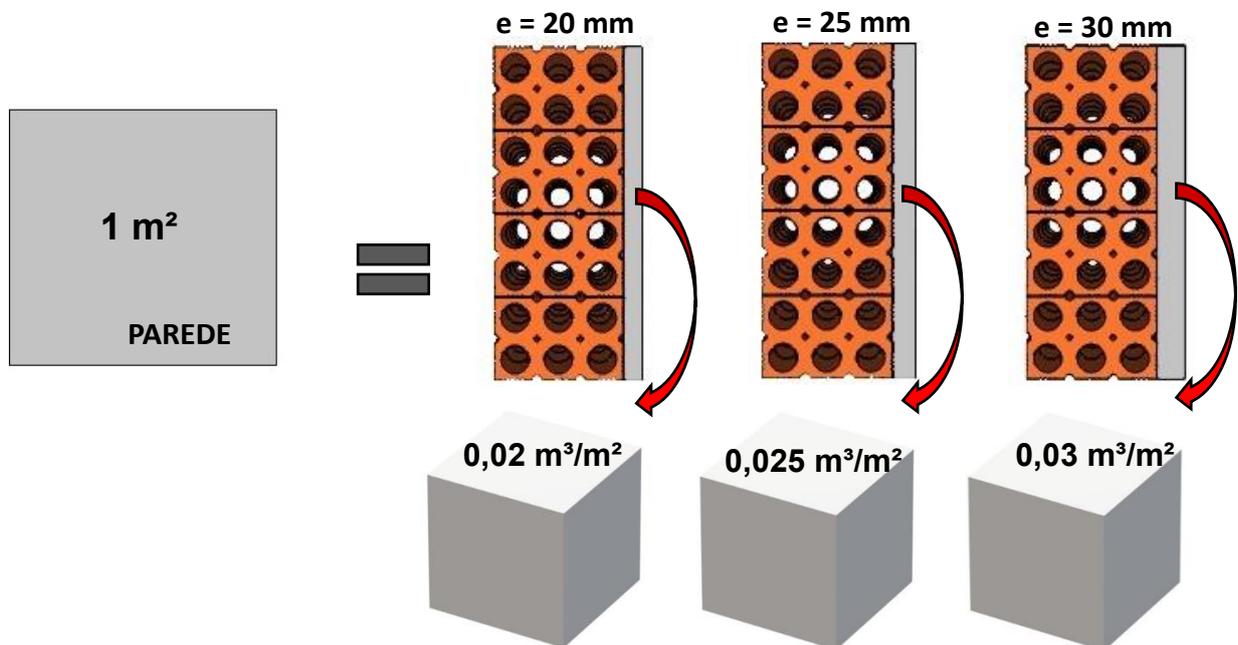
Onde:

C_c = consumo de cimento	γ_{arg} = massa específica argamassa
C_p = consumo cal	γ_c = massa específica cimento
C_q = consumo agregado	γ_p = massa específica cal
ar = teor de ar (%)	γ_q = massa específica agregado
p = traço da cal (massa)	q = traço do agregado (massa)
a/c = relação água cimento	

A massa específica do cimento e da areia foram determinadas em laboratório através das normas NBR 9776 (ABNT,1987) e NM 52 (ABNT, 2009). Já para a cal e o filito foram adotados os dados apresentados pelo fabricante. O percentual de ar incorporado foi determinado em obra de acordo com a NBR NM 47 (ABNT, 2002).

Para a determinação da quantidade de material necessária para revestir 1 m² de parede conforme Figura 2.12, o consumo dos materiais em m³/m² foi determinado sendo este o quociente entre o consumo em m³ pela espessura real do revestimento aplicado.

Figura 2.12 - Volume em m³ de argamassa necessário para revestir 1 m² de parede



2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As propriedades das argamassas estudadas, dentre elas os materiais empregados no traço, preparação do substrato, local de aplicação do revestimento, propriedades no estado fresco e endurecido e o consumo de materiais, podem ser observadas na Tabela 2.3.

Analisando a Tabela 2.3, verifica-se que os cimentos observados nas obras estudadas, utilizados na produção das argamassas, são cimentos compostos. Em oito obras (N. °01, 03, 04, 05, 07, 08, 09, 11 e 12), foi utilizado o cimento CII Z 32 que possui adição de pozolana em sua composição. Em 2 obras (N. °02 e N. °06) foi utilizado o cimento CII F 32, com adição de filler calcário e na obra N. °10 utilizou-se o cimento CII E 32 com adição de escória de alto forno. A utilização de adições de pozolana e escória de alto forno nos cimentos também agregam reações pozolânicas, com menor liberação de calor na fase de hidratação, e reações mais lentas no desenvolvimento da resistência (MEHTA; MONTEIRO, 2006). Já nos cimentos com adições de filler calcário, material inerte com baixa reatividade (GARTNER et al., 2001), a reação de hidratação é acelerada pelo fenômeno de nucleação, devido a sua maior área superficial disponível, favorecendo o ganho de resistência nas primeiras idades (TAYLOR, 1997).

O armazenamento dos sacos de cimento em algumas obras era feito em área coberta, porém, sem isolamento, ocasionando possível exposição a umidade, não atendendo a NBR 12655 (ABNT, 2015). Foram verificadas as datas de validade dos cimentos, estando todos dentro do prazo exceto da obra N. °09, que estava no mês de vencimento, identificando que o controle dos lotes não foi realizado em obra.

Em todas as obras foi utilizada areia natural na composição das argamassas como agregado miúdo. A umidade da areia tem relação direta com o traço em volume, uma vez que esta interfere no inchamento dos grãos do agregado, impactando na quantidade em massa inserida no traço.

A cal hidratada foi utilizada nas composições de todas as argamassas mistas estudadas, sendo esta a dolomítica CH-III, conforme a NBR 6473 (ABNT, 2003), armazenada em área interna coberta, porém, sem isolamento, ocasionando possível exposição a umidade. Em nenhuma das obras foi utilizada a cal virgem no traço das argamassas produzidas. A cal tem como finalidade oferecer coesão e retenção de água necessária para os revestimentos argamassados (SANTOS et al., 2019).

Tabela 2.3 – Caracterização das argamassas mistas de revestimento estudadas

OBRA Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MATERIAIS EMPREGADOS NA COMPOSIÇÃO DAS ARGAMASSAS												
CIMENTO												
CPII Z 32	X	-	X	X	X	-	X	X	X	-	X	X
CPII F 32	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
CP II E 32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
Densidade (g/cm ³)	3,1	3,05	3,04	3,02	2,97	3,01	2,96	2,95	2,94	3,01	2,92	2,91
Massa unitária (g/cm ³)	1,39											
CAL												
CAL CH III	X	X	X	X	-	X	X	X	-	X	X	X
Densidade aparente seca (g/cm ³)	0,6											
Densidade (g/cm ³)	1,8											
FILITO												
LIGA BRANCA	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-
Densidade (g/cm ³)	1,8											
AREIA												
Densidade (g/cm ³)	2,67	2,67	2,66	2,65	2,67	2,66	2,66	2,65	2,66	2,66	2,65	2,68
Massa unitária SECA (g/cm ³)	1,72	1,71	1,64	1,73	1,72	1,72	1,74	1,72	1,74	1,72	1,66	1,74
Massa unitária AMBIENTE (g/cm ³)	1,33	1,34	1,37	1,33	1,35	1,6	1,31	1,34	1,41	1,29	1,33	1,31
ADITIVOS												
Plastificante	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X
Densidade (g/cm ³)	1,002 a 1,004											
Adesivo	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Densidade (g/cm ³)	1,02 g/cm ³											
Impermeabilizante	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
Densidade (g/cm ³)	1,05 g/cm ³											
PREPARAÇÃO DO SUBSTRATO												
Aplicação de chapisco	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X
LOCAL DE APLICAÇÃO DO REVESTIMENTO												
Revestimento Interno	X	-	-	-	-	-	X	-	X	X	X	-
Revestimento Externo	-	X	X	X	X	X	-	X	-	-	-	X
CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS												
ESTADO FRESCO												
Teor de ar incorporado (%)	7,25	12	12,5	10,5	13	10	13	12	12,25	5,95	5,45	11
Consistência Pen. de Cone (mm)	57	63	68	59	67	66	48	70	64	73	70	54
Densidade (g/m ³)	2,063	1,917	1,914	2,014	1,943	2,003	1,900	1,960	1,989	2,006	2,126	1,960
ESTADO ENDURECIDO												
Resistência aderência à tração (MPa)	0,21	-	0,18	0,12	0,1	0,19	0,22	0,17	0,14	0,1	0,26	0,24
CONSUMO DE MATERIAIS (kg/m³)												
Cimento	212,5	227,4	272,5	279,1	282,2	214,2	256,5	270,7	317,3	202,4	266,1	324,7
Cal	170	273	109	112	-	171	205	54	-	162	106	130
Filito	-	-	-	-	95,96	-	-	-	126,9	-	-	-
Areia	1425	1483	1400	1413	1419	1518	1421	1565,1	1374	1480	1477	1336
Aditivo	0,425	0,455	4,361	0,167	1,129	0,793	1,077	0,514	1,713	3,481	0,266	0,520
A/C	1,39	0,9	0,96	1,08	1,08	1,18	0,98	1,06	0,92	1,53	1,08	0,94

As obras N^o.05 e N^o.09 utilizaram o filito em sua composição em substituição a cal hidratada. Este material oferece uma melhora da plasticidade e trabalhabilidade das argamassas assim como o ligante aéreo, porém, não apresentando propriedades aglomerantes, sendo estas supridas pelo cimento na composição (JOHN, 2003; ROMANO; CAMPORA et. al, 2011).

O aditivo incorporador de ar tem como composição básica o resinato de sódio, que é considerado pelo fabricante como forma de substituição da cal nas argamassas de revestimento, ou utilizado em conjunto na mistura. Este material pertence a classe química dos tensoativos, e são insolúveis a água, auxiliando na incorporação de pequenas bolhas de ar no sistema através da mistura mecânica dos materiais na argamassa, melhorando a retenção de água e a adesão inicial (ALVES, 2002). As recomendações dos fabricantes indicam seu uso para argamassas e rebocos convencionais, nas quais o chapisco deve ser preparado anteriormente com um composto de alto desempenho, e ter no mínimo 3 (três) dias de cura (VEDACIT, 2021a), o que não foi executado em nenhuma das obras estudadas.

O aditivo hidrofugante, tem como composição básica silicatos, conforme ficha técnica do fabricante. Este de maneira geral atua impedindo a entrada de água por absorção ou sucção nas argamassas, que geralmente ocorre devido a umidade, agindo sobre a estrutura capilar da pasta de cimento. Conforme Gava, Gasques e Rigo (2016), o uso do aditivo não causa grandes modificações nas propriedades frescas e endurecidas das argamassas, e muitas vezes nem atendem à demanda a qual são solicitados, que é a diminuição da absorção de água por capilaridade.

O adesivo de alto desempenho tem como composição básica copolímero vinílico. Conforme fabricante, é uma resina sintética que auxilia na aderência da argamassa ao substrato, devendo ser aplicado em uma quantidade 400 g/m²/cm, na água do amassamento. Sua utilização não é recomendada com cimento tipo CPIII. O traço indicado de utilização é 1:3 (cimento:areia) (VEDACIT, 2021b). Na obra N^o 03, única em que o aditivo foi utilizado, foi empregada quantidade acima do especificado pelo fabricante, em conjunto com o aditivo incorporador de ar.

2.3.1 Traço declarado x traço real (em volume)

Nas obras estudadas constatou-se que o traço de argamassa é único para todas as aplicações, uma vez que não há modificação em função da condição de exposição climática (interno-protégido ou externo- exposto às intempéries).

A massa unitária da areia para determinação do volume do traço real foi considerada conforme ensaio realizado em obra, com material coletado no local.

O consumo de água de amassamento depende do funcionário que produz a argamassa de revestimento, conforme informado pelo mestre de obras, sendo ajustada para que atinja visualmente a propriedade de aplicação (trabalhabilidade) requerida. Assim, a quantidade de água de amassamento foi determinada durante o processo de execução do traço real. Os traços declarados, coletados através de entrevista com o mestre de obras, e os traços reais, validados em obra, estão apresentados na Tabela 2.4 a seguir.

Tabela 2.4 - Traço declarado e traço real (em volume)

Obra Nº	Traço declarado					Traço real					
	Cimento	Cal	Filito	Areia	Aditivo	Cimento	Cal	Filito	Areia	Aditivo	A/C
01	1,0	1,9	-	7,0	0,003	1,0	1,9	-	7,0	0,003	1,39
02	1,0	1,9	-	6,0	*	1,0	2,8	-	6,8	0,003	0,9
03	1,0	1,9	-	4,0	0,003	1,0	0,9	-	5,2	0,022	0,96
04	1,0	0,9	-	4,6	0,003	1,0	0,9	-	5,3	0,001	1,08
05	1,0	-	0,8	5,2	0,006	1,0	-	0,8	5,2	0,006	1,08
06	1,0	1,9	-	5,9	0,003	1,0	1,9	-	6,1	0,005	1,18
07	**	-	-	-	-	1,0	1,9	-	5,9	0,006	0,98
08	1,0	0,5	-	6,0	0,003	1,0	0,5	-	6,0	0,003	1,06
09	1,0	-	1,4	3,7	0,003	1,0	-	0,9	4,3	0,008	0,92
10	1,0	***	-	6,0	***	1,0	1,9	-	7,9	0,024	1,53
11	1,0	0,9	-	5,0	0,001	1,0	0,9	-	5,8	0,001	1,08
12	1,0	1,9	-	7,4	0,003	1,0	0,9	-	4,4	0,002	0,94

* obra N°. 02 o traço foi passado apenas em volume de secos

**obra N°. 07 não havia responsável em obra para coletar a informação do traço declarado

*** obra N. °10 o traço passado foi em volume 1:6, sem indicação da quantidade de cal e aditivo

Quando comparados os traços declarados x reais observa-se que a maioria não apresenta equivalência, entendendo assim que o que é executado *in loco* nem sempre é de conhecimento do mestre de obra responsável. Os únicos traços que convergem são da obra N. ° 01 e N. °08.

Tal constatação indica que a orientação sobre o traço em obra é falha, entre mestre e funcionários responsáveis pela produção, sendo geralmente o servente. Quando questionados os responsáveis técnicos sobre como é feita a definição do traço e as características do revestimento aplicado, materiais escolhidos etc., a resposta geral foi que

se é confiado na experiência dos funcionários em obra.

Os traços empregados para a produção das argamassas estudadas foram executados tendo como unidades de medidas os sacos de cimento e de cal, com massa conhecida, e o volume de areia inserida por pás ou padiolas. A quantidade de massa de areia contida no volume de uma pá depende do seu teor de umidade, propriedade conhecida como inchamento dos grãos, modificando o volume devido a tensão superficial da água (MEHTA; MONTEIRO, 2006). Assim, o consumo de areia depende da umidade da areia que interfere no traço e nas propriedades do revestimento produzido.

Em estudos verificados na literatura, os consumos das argamassas estudadas são baseados no traço 1:1:6 em volume, como é o caso do estudo de Gama Junior (2013). Também, existem traços predeterminados de argamassa mistas com base em manuais e instituições técnicas e estudos em diferentes regiões nacionais. No estudo de Souza (2019) foi definido o traço de 1:1,08:4,41 em volume como referência para produção de argamassas mistas em obra. Para Cirilo e Melo (2018) traços mais comuns empregados em obras são 1:1:6 e 1:2:6 em áreas externas, e 1:1:9 e 1:2:9 em áreas internas. No estudo de Caldas, Carvalho e Toledo Filho (2020) os traços das argamassas de camada única consideradas foram de 1:2:8, 1:2:9 e 1:3:12, sem utilização de aditivos na composição.

Para Carasek (2010) a maioria dos traços em volume apresentam como padrão 1:3 (cimento+cal):areia. No entanto estes devem ser ajustados conforme os materiais existentes em cada local, que diferem muito de região para região, principalmente o agregado miúdo (granulometria, teor de finos, natureza mineralógica, etc)(CARASEK, 2010).

Como a inserção em obra da areia e da água no traço da argamassa se dão em volume, as quantidades inseridas são ajustadas com base na experiência do operador responsável pela mistura, ocasionando uma variabilidade considerável. Portanto, entende-se que a mudança do funcionário que executa o traço, acarreta na mudança do traço executado.

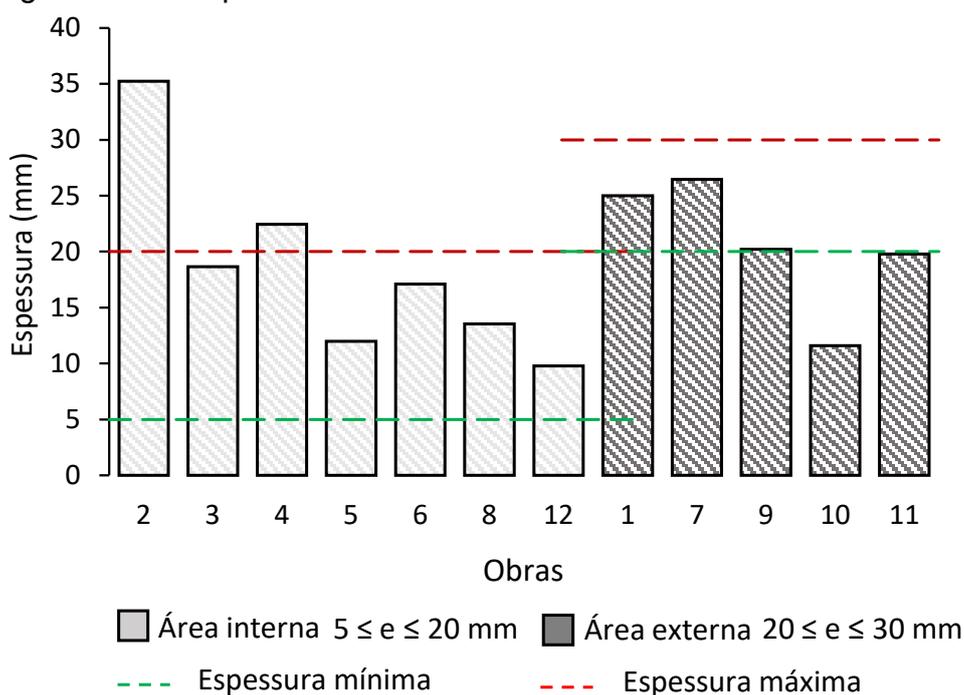
2.3.2 Aplicação do revestimento

Para a preparação do substrato, em todas as obras estudadas foi aplicado chapisco anteriormente a execução do reboco, exceto a obra N. °09. O chapisco não é considerado como uma camada de revestimento, este tem como finalidade oferecer rugosidade ao substrato, além de auxiliar na absorção de água e reduzir a porosidade (BAUER, 2005).

Em todas as obras estudadas o revestimento foi aplicado em forma de camada única. Esse método trás economia e agilidade ao serviço, pois a aplicação é realizada de forma única, reduz custos de mão de obra, não depende da cura de camadas anteriores, além do chapisco, para concluir o revestimento (BAUER et al., 2005; CARASEK, 2010).

Em cinco obras (N. °01, N. °07, N. °09, N. °10 e N. °11) o revestimento foi aplicado na área externa da edificação, enquanto em sete obras (N. °02, N. °03, N. °04, N. °05, N. °06, N. °08 e N. °12) este foi aplicado na área interna. A NBR 13749 (ABNT, 2013) determina que para revestimentos de paredes internas as espessuras devem estar entre $5 \leq e \leq 20$ mm e $20 \leq e \leq 30$ mm para paredes em área externas. A mesma aponta que as áreas externas são mais suscetíveis a agentes agressivos como chuva e sol, enquanto as áreas internas não são expostas a tais condições, podendo ter um revestimento com uma espessura menor, apenas para regularização e estética.

Figura 2.13 - Espessura média dos revestimentos das obras estudadas



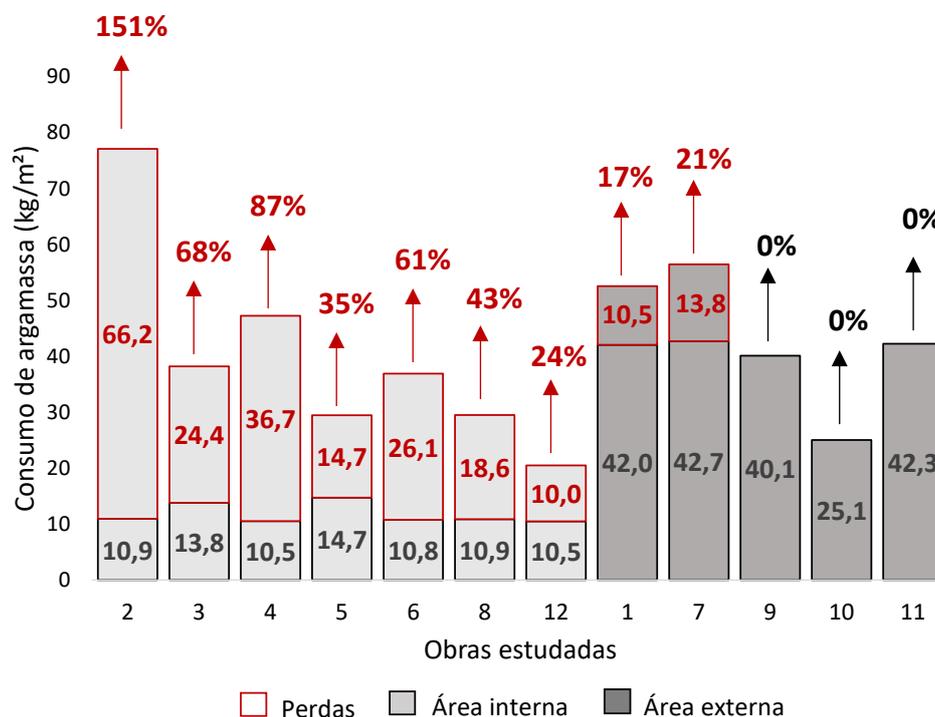
Observa-se que existem variações entre as espessuras dos revestimentos das obras estudadas mesmo aplicados em ambientes iguais, sendo estas áreas internas ou externas. Em todas as obras os revestimentos foram aplicados de forma manual, método caracterizado pela dependência do funcionário responsável pela aplicação. Mesmo com o emprego de linhas mestras de argamassa através de taliscas para delimitar a espessura do plano do revestimento, esta pode variar acima ou abaixo da espessura determinada.

As obras com aplicação na área interna tiveram uma espessura média de 18,4 mm e as para área externa 21 mm. Já a mediana das espessuras esteve em 17,1 mm nos revestimentos das obras internas e 20 mm nas áreas externas. No estudo de Gama Junior (2013) coletou-se a espessura média em toda a área interna de uma edificação, esta chegou a 28,2 mm, consumindo mais materiais para revestir o m² de parede do que nas obras estudadas. Albuquerque, Lira e Sposto (2018) obtiveram uma espessura validada in loco média de 16,5 mm sendo essa menor do que a das obras estudadas.

Na obra N. °10, verificou-se uma espessura de 11,6 mm aplicada em ambiente externo, sendo menor do que o mínimo admitido pela mesma norma para tal ambiente, com um percentual de material faltante de 40%. No restante das obras, em todos os revestimentos estudados foram identificadas espessuras com dimensões acima do valor mínimo exigido por norma. Entendesse que tal valor não é exequível, 5 mm, uma vez que a argamassa de revestimento tem como finalidade principal nivelar a parede de vedação a qual foi aplicada. Tais excessos são considerados como perdas incorporadas, também chamados de perda devido a sobresspessuras de revestimento. Algumas vezes, ocorrem devido a inconformidades as dimensões dos tijolos empregados, quando de baixa qualidade, necessitando de maior espessura para garantir o nivelamento da parede. Ainda, podem ocorrer devido a problemas nos serviços que antecedem o revestimento, como o desaprumo das estruturas e/ou a falta de modularidade e compatibilização entre as estruturas (PALIARI, 1999). Estes podem gerar de sobrecargas no revestimento quando a espessura for acima de 50 mm, além de retração e provável fissuração do revestimento argamassado (BAUER, 2005).

As perdas incorporadas, em kg/m² de argamassa determinada através da somatória do consumo dos materiais para produção, devido a sobresspessura do revestimento, estão apresentadas conforme apresentado na Tabela 2.4.

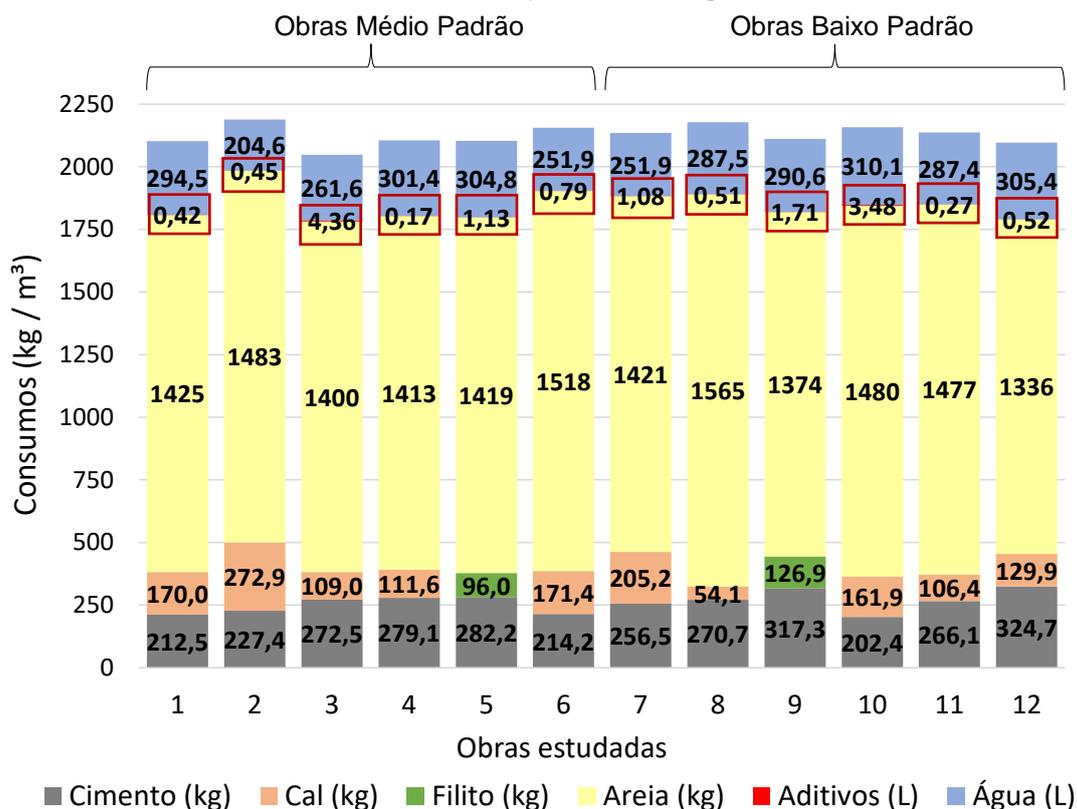
Figura 2.14 - Perdas incorporadas de argamassa (kg/m^2) devido a sobresspessura do revestimento



Quando comparado com a Figura 2.13 observa-se que consumo de materiais para revestimento em m^2 das paredes é diretamente proporcional a maior espessura dos revestimentos. As perdas incorporadas nas obras com revestimento aplicado na área interna variaram entre 24% e 151%, pois como já apontado, a espessura mínima do revestimento nesse ambiente é de 5 mm. Já nas obras com aplicação do revestimento em área externa, as perdas variaram entre 17% e 21%, a espessura mínima preconizada por norma nesse ambiente é de 20 mm. Verifica-se que obras com revestimento aplicado em áreas internas das obras apresentam maiores perdas quando comparadas as áreas externas.

2.3.3 Consumo dos materiais para produção das argamassas

Os consumos de materiais baseados nos traços reais validados nas obras para produção das argamassas de revestimento estão apresentados na Figura 2.15, entre eles estão o cimento, a cal ou filito, areia natural, aditivos e água. Estes não foram separados por local de aplicação (interno x externo) devido a uniformização do traço para ambos os locais de aplicação em todas as obras estudadas.

Figura 2.15- Consumo real de materiais por m³ de argamassa das obras estudadas

De forma geral, pode-se observar que nas obras de baixo padrão houve em média um maior consumo de cimento (273Kg/m³) na composição das argamassas quando comparadas com as obras de médio padrão (248kg/m³). Nas obras de médio padrão houveram maiores teores de cal (167,1 kg/m³) empregados nos traços, quando comparadas com as de baixo padrão (131,7 kg/m³). O consumo de areia foi similar na produção de argamassa das obras de baixo e médio, de aproximadamente 1445 kg/m³. Os consumos de cimento nas obras estudadas variaram entre 202,4 kg/m³ a 324,7 kg/m³. O consumo de cal nas obras estudadas variou entre 54,1 a 272,9 kg/m³. O consumo de areia variou entre 1336 a 1565 kg/m³.

Na Tabela 2.5 estão apresentados os consumos de materiais considerados nos trabalhos buscados em literatura. Verifica-se que o consumo de cimento na produção das argamassas nas obras estudadas é maior do que o indicado na literatura. O alto consumo de cimento contribui para o aumento da resistência da matriz cimentícia, porém em excesso pode tornar o sistema pouco deformável contribuindo para aparecimento de fissurações (MEHTA; MONTEIRO, 2006). Ainda conforme Maciel et al. (2018) o aumento do teor de cimento gera aumento na resistência do revestimento, porém, estas não necessitam de elevada resistência mecânica para sua aplicação, que é sua finalidade

principal. Assim, o maior emprego de cimento das argamassas não necessariamente produzem revestimentos duráveis e adequados ao uso pretendido (ARAUJO JR, 2004).

Tabela 2.5 - Consumos de materiais para produção de argamassas mistas de revestimento apresentados na literatura

Autor	Método	Traço	Consumos (kg/m ³)		
			Cimento	Cal	Areia
Gomes e Neves (2002)	CETA-BA	1:1,31:6,47	160 a 210	-	-
Araujo Jr. (2004)	SELMO (1989)	1:2:9	127 a 163	120 a 140	-
Caldas e Toledo Filho (2018)	SINAPI	1:2:9	169	177	1995
	SINAPI	1:3:12	127	199	1980
Caldas, Carvalho e Toledo Filho (2020)	SINAPI	1:2:8	181	189	2016
Mazurana (2019)	-	1:1:6	225	225	1350
	-	1:2:6	190	380	855
Antônio (2018)	-	1:1:6	218	218	1310

O emprego de cal nas argamassas estudadas apresentou uma grande faixa, sendo o teor mínimo abaixo do que é indicado na literatura e o teor máximo acima. No uso da areia, as obras estudadas apresentam consumos menores do material, produzindo argamassas com menores relações de areia/cimento, apresentando maiores teores de cimento na mistura, gerando impactos no revestimento já citados acima. Nesse trabalho não foi realizado ensaio de granulometria, mas em função de outros trabalhos do grupo de pesquisa (ANTONIO, 2018; PEDRY, 2020), identifica-se que a areia natural do rio paraná utilizada, possui grãos mais finos, gerando maior compactação da matriz cimentícia, com menor porosidade e maior fluidez.

Em algumas obras a cal foi substituída pelo filito, variando seu teor entre 4,6% e 6% nas obras N. 05 e N. 09 respectivamente (96,1 kg/m³ e 127,1 kg/m³ respectivamente). Verifica-se em alguns estudos apresentados na literatura que o uso do filito em revestimentos apresentam manifestações patológicas no estado endurecido (RIBEIRO; VIEIRA; VIEIRA, 2016).

O consumo de água de amassamento nos traços das obras estudadas variou entre 204,7 litros/m³ a 311,1 litros/m³. O consumo médio de água de amassamento

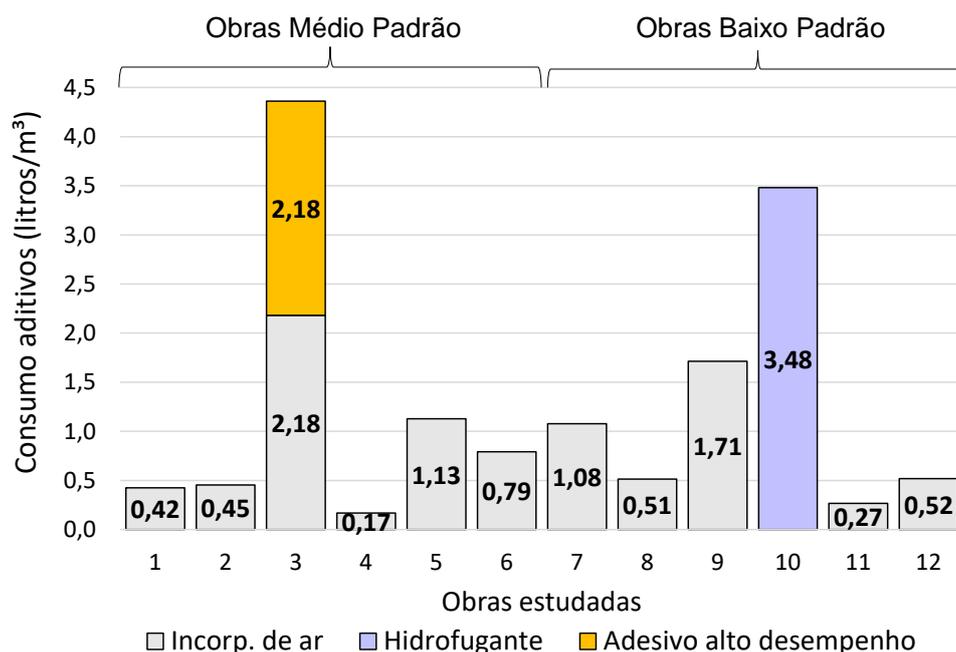
nas obras de médio padrão foi de 270,15 litros/m³ e nas obras de baixo padrão foi de 289,16 litros/m³. Observa-se que existem variações na quantidade de água nas obras estudadas, devido principalmente ao método de inserção no traço. O teor de água nas argamassas altera as propriedades do revestimento. Sendo assim, o controle da relação a/c nas argamassas é essencial para o desempenho dos revestimentos.

Um estudo da Cirilo e Melo (2018), que coletou o teor de água empiricamente, demonstra um consumo médio nas argamassas de revestimento virados em obra de 414 litros/m³. A grande diferença no consumo de água comparada com o que foi coletado nas obras estudadas não pode ser explicada até o momento, devido à falta de dados. No estudo de De Faria et. al. (2019) este foi de 230 litros/m³, adotado no traço teórico para cálculo da emissão de CO₂ da argamassa, apresentando similaridade com os consumos identificados nas obras estudadas.

Tais constatações referentes ao consumo de materiais nos traços das argamassas mistas de revestimento, indicam divergências nos consumos de materiais nas obras estudadas quando comparadas entre si e com a literatura. Verifica-se que estes comportamentos ocorrem devido a dependência do olhar e da experiência da mão de obra responsável para produção da argamassa de revestimento e das condições de umidade da areia, sendo importante um maior controle tecnológico dos materiais e dos processos de produção o ou qualquer orientação sobre o uso dos materiais de forma eficiente. Este é dependente do operador que realiza a produção da argamassa.

Na Figura 2.16 estão apresentados os consumos de aditivos empregados nas argamassas estudadas, conforme nome comercial. Verifica-se que na grande maioria das obras foi empregado o aditivo incorporador de ar na mistura das argamassas de revestimento, associado a cal ou filito. Entretanto, na obra N.º03 este foi inserido junto com o aditivo adesivo de alto desempenho (Bianco). Já na obra N.º10 foi empregado na mistura apenas o aditivo do tipo hidrofugante. Sobre a utilização conjunta de aditivos, as fabricantes não apresentam contraindicação, apenas sobre o contato com ácidos e contaminantes.

Nas obras N.º 04 e N.º 10 foi utilizada a menor quantidade de aditivo incorporador de ar na composição da argamassa, esta de 0,170 litros/m³ e 0,27 litros/m³. Já nas obras N.º 05, N.º 07 e N.º 09 foram utilizados maiores teores de aditivo incorporador de ar de todas as obras estudadas.

Figura 2.16- Consumo de aditivos (litros/m³) nas argamassas estudadas

A recomendação do fabricante é utilizar 100 ml a cada 50 kg de cimento empregado na mistura, podendo haver variações devido a fatores de uniformidade e umidade da superfície, temperatura, condições climáticas, além da habilidade do aplicador, entre outros. Tal proporção comparada aos consumos de cimento por m³ de argamassa das obras estudadas resultariam em um consumo ideal de aditivo conforme Tabela 2.6.

Tabela 2.6 - Consumo de aditivo ideal conforme fabricantes para as obras estudadas (litros/m³ argamassa)

OBRA Nº	Proporção Fabricantes	Proporções Obra		
		Inc. de ar	Hidrofugante	Adesivo alto desempenho
01	0,43	0,42	-	-
02	0,46	0,45	-	-
03	0,55	2,18	2,18	-
04	0,56	0,17	-	-
05	0,56	1,13	-	-
06	0,43	0,79	-	-
07	0,51	1,08	-	-
08	0,54	0,51	-	-
09	0,64	1,71	-	-
10	0,41	-	-	3,48
11	0,53	0,27	-	-
12	0,65	0,52	-	-

Verifica-se que nas obras N.º 05, N.º 07 e N.º 09 a quantidade empregada na mistura é de aproximadamente 50% acima do recomendado. O uso de aditivos gera ganhos a mistura, porém, quando empregados em excesso podem prejudicar o revestimento ao longo da sua vida útil (MATTANA; PEREIRA, 2013). A principal manifestação patológica relacionada está vinculada ao excesso de ar incorporado na mistura, que pode interferir na aderência da argamassa com o substrato (CARASEK, 2011). Nesse caso, a análise de tais propriedades serão apresentadas no item 2.3.4 Propriedades das argamassas a seguir. Na Tabela 2.7 a seguir estão apresentados os volumes por m² de argamassa com base na espessura real dos revestimentos determinada nas obras estudadas. Tais valores foram determinados através da espessura média dos revestimentos coletada *in loco* conforme apresentado no item 2.2.2.2 Aplicação.

Tabela 2.7 - Consumo de argamassa em m³ por m² de revestimento

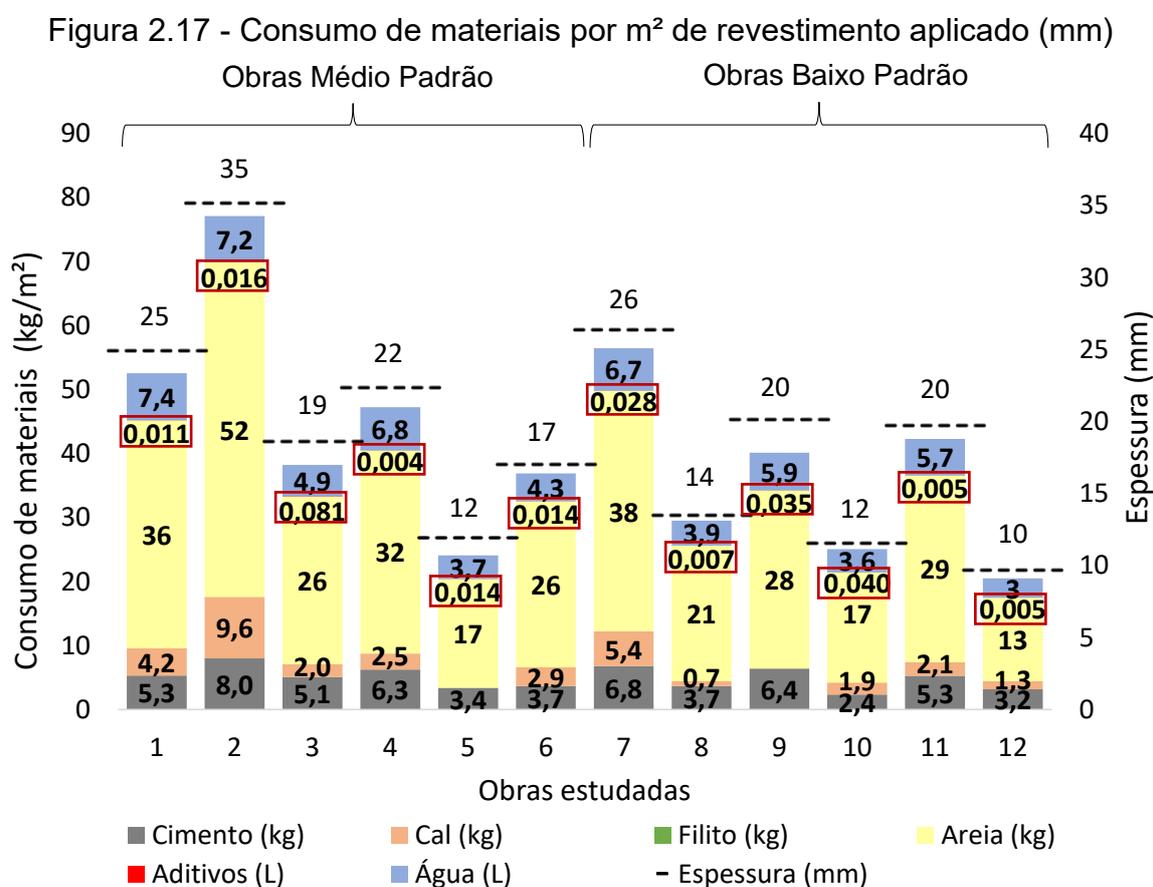
Obra Nº	Obras internas		Obras Externas	
	Espessura no local	NBR 13749 (ABNT, 2013)	Espessura no local	NBR 13749 (ABNT, 2013)
01	-		0,025	
02	0,035		-	
03	0,019		-	
04	0,022		-	
05	0,012		-	
06	0,017		-	
07	-	0,005	0,026	0,020
08	0,014		-	
09	-		0,020	
10	-		0,012	
11	-		0,020	
12	0,010		-	

Observa-se como já apontado nos itens anteriores, que maiores espessuras de revestimento demandam maior consumo de argamassa por m². Conforme Santos (2008 apud SOUZA e FRANCO (1997), o consumo de argamassa por m² de construção nas obras brasileiras chega a 0,045 m³ para revestimento interno e 0,030 m³ para revestimento externo. Com base nas espessuras mínimas apresentadas na NBR 13749 (ABNT, 2013) tem-se um consumo de 0,005 m³ para revestimentos aplicados em áreas internas e 0,020 m³ para revestimentos aplicados em áreas externas.

Na Figura 2.17 estão apresentados os respectivos consumos dos materiais para obtenção das argamassas por metro quadrado de revestimento, determinados através do consumo de materiais por m³ de argamassa, multiplicado pelos valores da Tabela 2.7.

Verifica-se que nas obras com maior espessura de revestimento existem

maiores consumos de materiais para a composição do traço. Como é o caso das obras de médio padrão que apresentaram menores consumos de cimento por m³ de argamassa (média 248 kg/m³), porém devido a maiores espessuras médias dos revestimentos (média 22 mm), apresentaram maiores consumos por m² (média 5,3 kg/m²). O consumo médio de cimento por m³ nas obras de baixo padrão foi de 276 kg/m³, com espessuras médias de 17 mm, apresentaram um consumo por m² de 4,6 kg/m² de cimento. Desta maneira, verifica-se que mesmo empregando um traço racional para a execução do revestimento, deve ser controlada a espessura dos revestimentos aplicados.



Tal comportamento também pode ser identificado nas obras N. °02 e N. °07 em que se verificou as maiores espessuras médias do revestimento, de 35,2 mm e 26,4 mm, tendo um consumo total dos materiais na argamassa de 77,1 kg/m² e 56,5 kg/m² respectivamente. Na obra N. °08 a espessura do revestimento aplicado foi de 9,8 mm, menor entre todas, verificando-se um menor consumo total de 20,51 kg/m².

Quando analisados o consumo de materiais separadamente, verificamos que na obra N. °02 foi identificado o maior consumo de cimento de 8 kg/m² e da cal hidratada

de 9,6 kg/m² para o traço da argamassa de revestimento, considerados os maiores responsáveis pela emissão de CO₂ nas argamassas de revestimento produzidas em obra. Na obra N. °07, segunda com maior consumo total de materiais para produção dos revestimentos, foi utilizado 6,8 kg/m² de cimento e 5,4 kg/m² da cal. Em ambas o consumo de areia foi proporcional aos outros materiais, 52,3 kg/m² e 37,6 kg/m², também sendo estas as obras em mais se consumiu o material. Na obra N. ° 10 teve-se o menor consumo de cimento por metro quadrado de argamassa, mesmo não tendo a menor espessura, de 11,8 mm, para aplicação em área externa. Porém, como já apontado anteriormente, sua espessura ficou abaixo do que preconizado em norma. Na obra N.° 12, que apresentou menor espessura do revestimento, de 9,8 mm, para área interna, o consumo de cimento foi o segundo menor de 3,2 kg/m² e o menor consumo de areia de 13,1 kg/m².

O consumo médio de cimento para a produção das argamassas entre as obras com aplicação interna e externa ficou de 4,75 e 5,23 kg/m² respectivamente. O consumo de cal por m² variou entre 0,7 kg/m², na obra N. ° 08, e 9,6 kg/m² na obra N. ° 03. O consumo médio de cal nas obras de médio padrão foi de 4,3 kg/m² e nas de baixo padrão foi de 2,3 kg/m². O consumo de areia nos traços variou entre 13,1 kg/m² e 52,3 kg/m². O consumo médio de areia nas obras de médio padrão foi de 31,5 kg/m² e nas de baixo padrão foi de 24,4 kg/m².

Na obra N. °03 foram utilizados maiores consumos de aditivos na composição da argamassa, um total de 0,081 litros/m², sendo metade referente ao aditivo incorporador de ar e a outra metade referente ao adesivo de alto desempenho. Na obra N. ° 04 verificou-se a menor utilização de aditivo incorporador de ar, de 0,004 litros/m². O consumo médio de aditivo incorporador de ar nas obras de médio padrão foi de 0,012 litros/m² e nas de baixo padrão foi de 0,020 litros/m².

O consumo de água de amassamento nos traços variou entre 3 litros/m², na obra N. ° 12, e 7,4 litros/m² na obra N. ° 01. O consumo médio de água de amassamento nas obras de médio padrão foi de 5,7 litros/m² e nas de baixo padrão foi de 4,8 litros/m².

De forma geral, verifica-se que existem variações nas quantidades de materiais para composição das argamassas estudadas, mesmo estas sendo produzidas para um mesmo fim em obra. Portanto, entende-se que a composição do traço e a espessura do revestimento, são especificações que devem ser gerenciadas em obra.

2.3.4 Propriedades das argamassas

A NBR 13281 (ABNT, 2005) apresenta classificações e requisitos para argamassas de assentamento e revestimento. Estes podem ser utilizados em projeto e em obra como forma de padronização, com base nas propriedades demandadas pelo revestimento, substituindo a apresentação do traço por si só (BAUER et al., 2013).

Porém, conforme verificado em obra, as propriedades demandadas pelas argamassas de revestimento não são determinadas por meio de ensaios técnico ou normativo. Estas são avaliadas de forma empírica pela mão de obra, que busca a trabalhabilidade como principal característica para manuseio. Assim, para conhecimento das propriedades das argamassas estudadas, foram realizados ensaios de fácil execução em obra.

2.3.4.1 *Consistência*

Através do método de penetração de cone, considerado simplificado e de fácil reprodutibilidade (BAUER; SOUSA; GUIMARÃES, 2005; CASCUDO; CARASEK, 2007), foi determinada a correlação entre a consistência das argamassas e a profundidade de penetração das 12 obras estudadas, conforme apresentado na Tabela 2.3.

A consistência está diretamente relacionada com o uso e aplicação das argamassas, isso porque é considerada como um dos principais parâmetros vinculados a trabalhabilidade (SOUSA, 2005). Porém esta não define por si só a trabalhabilidade, uma vez que possam haver duas argamassas com a mesma consistência, sendo uma trabalhável e a outra não (CASCUDO; CARASEK, 2007). Estudo mais profundos da reologia do material podem determinar mais assertivamente tal propriedade.

As argamassas das obras estudadas tiveram uma variação na profundidade da penetração de cone entre 47 e 73 mm. Sousa (2005) identificou em seu trabalho uma faixa entre 45 e 55 mm como indicativo de consistência adequado para oferecer trabalhabilidade as argamassas mistas com o processo de aplicação manual. Já Cascudo e Carasek (2007) apresentam uma faixa aceitável de 47 a 63 mm, enquanto Bauer, Sousa e Guimarães (2005) apresentam 50 a 65 mm para argamassas com controle em laboratório.

A inserção de água na mistura das argamassas tem relação quase direta com os valores da consistência obtidos através do ensaio de penetração de cone

Sousa (2005), como também o tempo de mistura da argamassa na betoneira Cascudo e Carasek (2007). Isso porque, conforme Haach, Vasconcelos e Lourenço (2011) a consistência da argamassas é maior quanto maior a relação A/C.

Na Figura 2.18 estão apresentadas as consistências das argamassas estudadas através a profundidade da penetração do cone, em relação ao consumo de água de amassamento; consumo de aditivo; teor de ar incorporado; consumo de cimento e consumo de cimento e cal. Observa-se que não existem relações entre os consumos em questão, se devendo possivelmente pela diferença dos materiais, traços, e aplicações de cada obra.

Na Figura 2.18 item a) verifica-se que em obras com maior consumo de água não foi observado maiores profundidades da penetração de cone. Como é o caso da obra N^o. 12, com consumo de água de amassamento de 305 litros/m³ e 54 mm de penetração. Quando comparada com a obra N^o. 10, com consumo de 310 litros/m³ e 73 mm de penetração, notam-se diferenças na consistência da argamassa, mesmo apresentando consumos de água similares.

Na Figura 2.18 item b) verifica-se que em obras com maior consumo de aditivos não se observam profundidades de penetração de cone similares. Como é o caso da obra N^o. 12, com consumo de aditivo incorporador de ar de 0,52 litros/m³ e 54 mm de penetração. Quando comparada com a obra N^o. 08, com consumo similar de 0,54 litros/m³ e 70 mm de penetração, notam-se diferenças na consistência da argamassa.

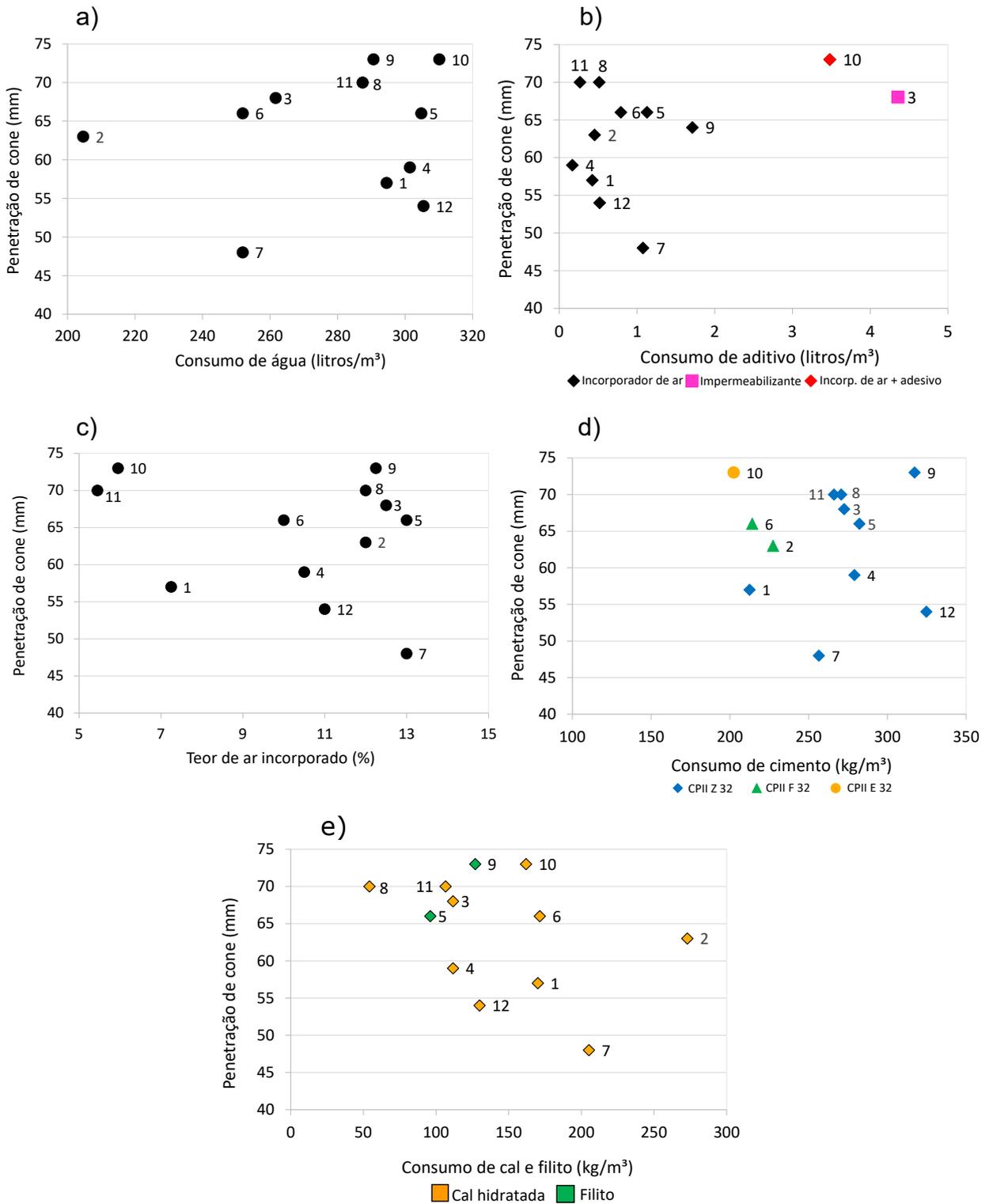
Na Figura 2.18 item c) verifica-se que em obras com maiores teores de ar incorporado não foi observado maior profundidade de penetração de cone. Como é o caso da obra N^o. 07, com teor de ar incorporado de 13% e 48 mm de penetração. Quando comparada com a obra N^o. 09, com teor de ar incorporado similar de 12,25% e 64mm de penetração, notam-se diferenças na consistência da argamassa.

Na Figura 2.18 item d) verifica-se que em obras com o mesmo consumo de cimento apresentaram consistências diferentes. Como é o caso da obra N^o. 09, com consumo de cimento de 317 kg/m³ e 48 mm de profundidade de penetração. Quando comparada com a obra N^o. 12, com consumo de cimento similar de 325 kg/m³, esta apresentou 64mm de penetração, notando-se diferenças na consistência da argamassa.

Na Figura 2.18 item e) verifica-se que em obras com o mesmo consumo de cal apresentaram consistências diferentes. Como é o caso da obra N^o. 01, com consumo de cal de 170 kg/m³ e 57 mm de profundidade de penetração. Quando comparada com a obra N^o. 10, com consumo de cal similar de 162 kg/m³, esta apresentou 73 mm de

penetração, notando-se diferenças na consistência da argamassa.

Figura 2.18 – Consistência das argamassas versus a) consumo de água de amassamento; b) consumo de aditivo; c) teor de ar incorporado; d) consumo de cimento e e) consumo de cimento e cal.

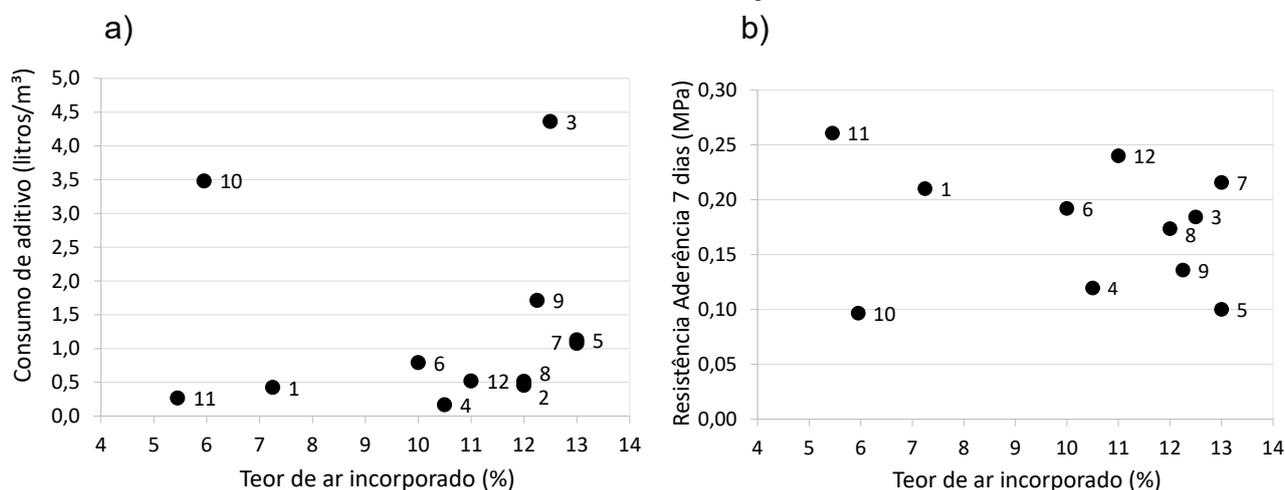


Entende-se que existem muitas variáveis que podem interferir na consistência das argamassas produzidas em obra, portanto, mesmo que os consumos sejam similares, as características das mesmas são produto do processo de produção.

2.3.4.2 Ar incorporado e densidade de massa

Na Figura 2.19 está apresentado o teor de ar incorporado na mistura versus a) os teores de aditivos inseridos nos traços das argamassas; e b) a resistência aderência à tração dos revestimentos aos 7 dias.

Figura 2.19 - Teor de ar incorporado versus a) consumo de aditivo; versus b) resistência de aderência à tração.



Conforme apresentado no item 2.3.3 Consumo dos materiais para produção das argamassas, o percentual de aditivo incorporador de ar recomendados para inserção no traço de argamassas é de aproximadamente a 0,5 litros/m³ de argamassa. Pode-se observar que o uso de aditivos incorporadores de ar (plastificante) acima do recomendado na mistura das argamassas apresenta teores de ar incorporado até 13%. Como é o caso da argamassa da obra N. ° 03, em que se verificou 12,5% de ar incorporado, sendo empregado nesta aproximadamente quatro vezes mais aditivo do que o recomendado pelo fabricante.

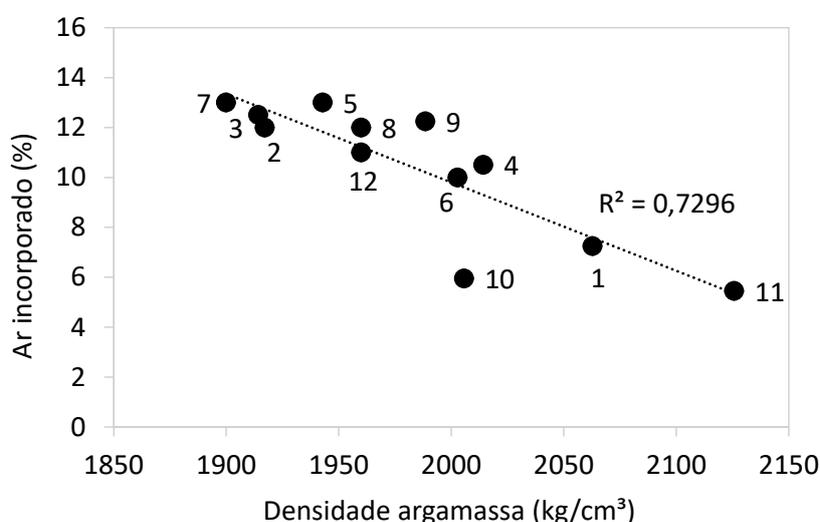
Nos traços das argamassas da obra N. ° 11 verificou-se o emprego de uma quantidade de aditivo incorporador de ar abaixo do recomendado pelas fabricantes do material, sendo verificado o menor teor de ar incorporado de todos os revestimentos das obras estudadas, este de 5,5%.

Nas argamassas das obras N. ° 05 e N. ° 09 foram identificados altos teores de aditivo nos traços, acima do recomendado pelo fabricante, e ainda houve a substituição da cal hidratada pelo filito. Na obra N. ° 08, a argamassa apresentou um teor de ar incorporado de 12%, sendo que no traço foi empregado 54 kg/m² de cal e um teor de aditivo incorporador de ar de 0,5 litros/m³ de acordo com o recomendado pelo fabricante (0,5 litros/m³). Pode-se observar, neste caso, que não houve diminuição do ar incorporado devido a diminuição da cal no traço, isso porque o aditivo incorporador de ar tem como função no estado fresco do revestimento, auxiliar no ar incorporado da massa.

Observa-se que as argamassas com teor de ar incorporado acima de 10% não apresentam, em sua grande maioria, resistência maiores do que 0,24 MPa aos 7 dias de cura do revestimento. Também, não foi identificada relação entre os teores de ar incorporado na mistura e a resistência aderência à tração dos revestimentos estudados.

Na Figura 2.20 a seguir está apresentada a relação entre o teor de ar incorporado x densidade da massa.

Figura 2.20- Teor de ar incorporado x densidade de massa



O teor de ar incorporado pode reduzir a necessidade de água na mistura das argamassas, oferecendo uma mesma consistência com uma menor densidade de massa (SOUSA, 2005). Conforme Stolz (2011), quanto maior a quantidade de aditivo incorporador de ar na mistura da argamassa de revestimento, menor o valor da densidade da massa. Neste trabalho, tal relação se dá quando o teor de ar incorporado é maior. O uso elevado de aditivo não apresentou diferenças significativas na densidade da massa.

Na Tabela 2.3 estão apresentadas as densidades das argamassas mistas

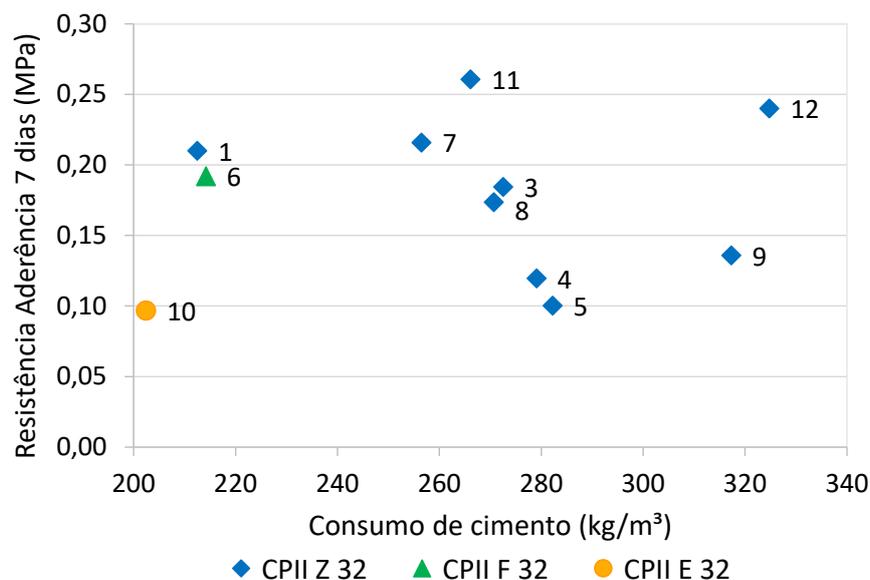
estudadas. Estas não tiveram grande variação, estando entre 1900 e 2126 kg/m³. Para Carasek (2010), a densidade das argamassas deve ser levada em consideração contando que quanto mais leve mais trabalhável a longo prazo e maior a produtividade do operário.

Nos estudos da Votorantim (2016) a densidade média das argamassas mistas é de 2070 kg/m³, enquanto as argamassas industrializadas apresentam uma densidade média de 1800 kg/m³. Já Araujo Jr (2004), determinou em laboratório a densidade de quatro argamassas mistas que variaram entre 1890 a 2050 kg/m³, a densidade de uma argamassa industrializada também foi determinada, apresentando 2530 kg/m³. Para argamassas mistas com mesma granulometria de areia e diferentes consumos de cal e cimento não houve variações representativas entre as densidades.

2.3.4.3 Resistência de aderência à tração

Na Figura 2.21 pode ser verificada a relação da resistência a aderência x consumo de cimento nos revestimentos de argamassa mista das obras estudadas. Os resultados da obra N. °02 foram desconsiderados devido a maior parte das rupturas terem ocorrido entre a cola/pastilha, indicando imperfeição na colagem, conforme preconizado na NBR 13528-1(ABNT, 2019).

Figura 2.21- Resistência a aderência x consumo de cimento nos revestimentos de argamassa mista das obras estudadas



Pode-se observar que não houve uma relação entre o consumo de cimento e o ganho de resistência de aderência aos 7 dias. Na obra N. ° 09 em que houveram maiores consumos de cimento de 317 kg/m^3 para produção das argamassas, a resistência a aderência foi de 0,14 MPa, abaixo comparado a revestimento de obras com consumo similar. Tal comportamento pode ser explicado devido ao não emprego de chapisco na preparação do substrato da obra N. ° 09 (além do uso do filito). Conforme Candia e Franco (1998) a aplicação do chapisco é de grande relevância na resistência de aderência à tração dos revestimentos estudados. Mas não necessariamente garantem uma maior resistência, isso porque existem outros aspectos que podem interferir em tal propriedade, como o tipo do cimento, e a mão de obra responsável pela aplicação (ARAUJO JR, 2004). Mesmo nas obras com uso do mesmo tipo de cimento, o comportamento da resistência a aderência aos 7 dias não foi similar.

Nas argamassas da obra N. ° 12 com o maior consumo de cimento de todas as argamassas estudadas, este de 325 kg/m^3 , apresentou resistência a aderência de 0,24 MPa. O aumento do teor de cimento teoricamente gera aumento da resistência, porém, seu ganho pode apresentar períodos diferentes, dependendo do cimento utilizado.

O reaproveitamento das perdas das argamassas gerado após sarrafeamento do revestimento pode ter interferido nas propriedades finais dos revestimentos argamassados. Conforme apresentado no estudo de Freitas Junior (2017), a resistência a aderência de argamassas de reaproveitamento do sarrafeamento tiveram uma diminuição de 38% quando comparadas com argamassas produzidas na betoneira. São poucos os trabalhos na literatura que demonstrem as propriedades da reutilização das argamassas de resíduo de sarrafeamento.

Como neste trabalho não houve controle na aplicação do tipo de argamassa aplicada em todo plano da parede, se de sarrafeamento ou misturada em betoneira, portanto, não é possível constatar tal influência nas propriedades das argamassas.

2.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

O consumo dos materiais empregados nos traços das argamassas mistas de revestimento estudadas foi determinado, existindo variações entre as obras estudadas. Para o cimento houve variações entre 202 e 317 kg/m³, apresentando maiores consumos por m³ de argamassa nas obras de baixo padrão. Para a cal houve variação entre 106 e 273 kg/m³, apresentando maiores consumos por m³ de argamassa nas obras de médio padrão. Nas obras em que foi utilizado filito em substituição da cal, o consumo variou entre 54 e 96 kg/m³. O consumo da areia variou entre 1336 e 1565 kg/m³. O consumo de aditivo incorporador de ar nos traços variou entre 0,3 e 3,5 litros/m³. A água de amassamento adicionada nas argamassas variou entre 205 e 310 litros/m³.

As espessuras dos revestimentos das obras estudadas variaram entre 12 e 35mm nas áreas internas (média de 18,4 mm) e entre 12 e 26mm para áreas externas (média de 21 mm). Nas obras de baixo padrão a média das espessuras dos revestimentos foi de 17 mm e as obras de médio padrão 22 mm. Quanto ao consumo de materiais por m² determinado através das espessuras médias dos revestimentos estudados, o cimento apresentou uma variação de 2,4 e 8 kg/m², a cal 0,7 e 9,6 kg/m², o filito 1,2 e 2,6 kg/m² e a areia 13 e 52 kg/m². As perdas incorporadas dos traços estudados variaram entre 24 e 151%. Estas ocorreram devido a sobresspressuras nos revestimentos estudados, sendo estes maiores do que o mínimo preconizado na NBR 13749 (ABNT, 2013), de 5 mm nas obras com revestimento aplicado em área interna, e 20 mm nos ambientes externos. Obras com maiores consumos de cimento no traço das argamassas por m³ não necessariamente consumiram mais material por m², pois este depende da espessura empregada na execução. Concluindo-se que mesmo com o emprego de traços mais racionais, com menores consumos de materiais para o mesmo fim, maiores espessura do revestimento aplicado favorecem maiores consumos dos materiais.

A resistência de aderência à tração das obras estudadas não apresentou proporcionalidade com o consumo de cimento, possivelmente devido a pouca idade de hidratação de 7 dias. O reaproveitamento das perdas das argamassas gerado após sarrafeamento do revestimento pode ter interferido nas propriedades finais dos revestimentos argamassados. Porém este não pode ser estimado devido a não ter sido realizado o controle do que foi aplicado no plano de parede estudado, uma vez que foi acompanhado apenas parte da produção de argamassa e sua aplicação. Entende-se que a aplicação do chapisco é de grande relevância na resistência de aderência à tração dos

revestimentos estudados. Mas estes não garantem uma maior resistência, isso porque existem outros aspectos que podem interferir em tal propriedade.

Verificou-se nas obras estudadas a inexistência de projetos de revestimento, documentos técnicos, controle tecnológico, ou até mesmo orientações para com a mão de obra para a produção e aplicação das argamassas mistas de revestimento. É confiado plenamente no conhecimento do funcionário que está executando a produção da argamassa. Os traços declarados x reais foram comparados verificando uma compatibilidade entre a maioria dos traços declarados coletados através de entrevista com o mestre de obras e o traço real validado durante o processo de mistura. É importante salientar que o acompanhamento dos processos de produção e aplicação das argamassas pelo responsável técnico ou mestre de obras é esporádico, e muitas vezes inexistente. Dessa maneira pode-se observar o desconhecimento das características das argamassas empregadas nas obras da cidade de Foz do Iguaçu-PR.

2.5 REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO

ABCP. **Manual de Revestimentos de Argamassa**. [s.l.] Associação Brasileira de Cimento Portland, 2002.

ALBUQUERQUE, H. R.; LIRA, J.; SPOSTO, R. M. **Emissões de CO₂ de sistemas de revestimento de argamassa: estudo de caso de aplicação de argamassa projetada comparativamente à aplicação convencional**. Ambiente Construído, v. 18, n. 4, p. 377–393, out. 2018.

ALVES, Nielsen José Dias. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. 2002. Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

ANTONIO, I. D. O. **AVALIAÇÃO DA CAPTURA DE CO₂ DEVIDO À CARBONATAÇÃO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO PRODUZIDAS COM RCD**. 2018. Universidade Federal da Integração Latino-Americana Instituto de Tecnologia, Infraestrutura e Território Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura, Foz do Iguaçu, PR, 2018.

ARAÚJO JR, J. M. de. **Contribuição ao Estudo das Propriedades Físico-Mecânicas das Argamassas de Revestimento**. 2004. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia., Brasília, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9776: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6473:2003 Cal virgem e cal hidratada - Análise química**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

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 NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52:2009 Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16607: Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528-1: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2019.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM C780: Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry** West Conshohocken, PA, 2019.

BAUER, E. et al. **REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA: CARACTERÍSTICAS E PECULIARIDADES**. 1. ed ed. Brasília: SINDUSCON-DF/LEM-UnB: Elton Bauer, 2005. v. 1

BAUER, E. **REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA: CARACTERÍSTICAS E PECULIARIDADES**. 1ª Edição ed. [s.l: s.n.]

BAUER, E. et al. **Análise das argamassas de revestimento (industrializadas e usinadas), empregadas em obras do Distrito Federal, quanto aos requisitos e ao desempenho**. p. 10, 2013.

BAUER, E.; SOUSA, J. G. G.; GUIMARÃES, E. A. VI SBTA. Em: **ESTUDO DA CONSISTÊNCIA DE ARGAMASSAS PELO MÉTODO DE PENETRAÇÃO ESTÁTICA DE CONE**, Florianópolis, SC. Anais... Em: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS. Florianópolis, SC: 2005.

CALDAS, L. R.; CARVALHO, M. T. M.; TOLEDO FILHO, R. D. **Avaliação de estratégias para a mitigação dos impactos ambientais de revestimentos argamassados no Brasil**. Ambiente Construído, v. 20, n. 3, p. 343–362, jul. 2020. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212020000300343&tlng=pt>. Acesso em: 5 out. 2021.

CALDAS, L. R.; TOLEDO FILHO, R. **Avaliação do Ciclo de Vida de materiais cimentícios utilizados no Brasil: estudo para argamassas, graute e bloco de concreto**. v. 2, n. 2, p. 34–61, 2018.

CANDIA, M. C.; FRANCO, L. S. **Contribuição ao Estudo das Técnicas de Preparo da Base no Desempenho dos Revestimentos de Argamassa.** EPUSP, 1998.

CARASEK, H. Argamassas. Em: **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** IBRACON. Capítulo 28. [s.l.] Geraldo Cechella Isaia, 2010.

CARASEK, H. Revista Materiais de Construção Civil, São Paulo: IBRACON. **Patologia das argamassas de revestimento.**, 2011. Disponível em: <<https://ecivilufes.files.wordpress.com/2011/03/patologias-em-argamassa.pdf>>.

CASCUDO, O.; CARASEK, H. **Controle de Produção de Argamassas Industrializadas em Obra Empregando o Método de Penetração do Cone.** n. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, p. 12, 2007.

CIRILO, F.; MELO, A. T. S. **COMPARATIVO DE DESEMPENHO AMBIENTAL ENTRE ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA E ARGAMASSA VIRADA EM OBRA.** Em: Anais do VI Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida, Brasília. Anais... Em: VI CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO DO CICLO DE VIDA. Brasília: 2018.

COSTA, F. N. **Processo de Produção de Revestimento de Fachada de Argamassa: Problemas e Oportunidades de Melhoria.** 2005. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre - RS, 2005.

DE FARIA, F. S.; REALES, O. A. M.; FILHO, R. D. T. **REDUÇÃO POTENCIAL DO IMPACTO AMBIENTAL DE ARGAMASSAS ATRAVÉS DO USO DE CCA E MUDANÇA DO MÉTODO PRODUTIVO.** p. 11, 2019.

FREITAS JÚNIOR, A. M. D. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS PRODUZIDA EM OBRA E DE SARRAFEAMENTO.** 2017. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - CENTRO MULTIDISCIPLINAR, PAU DOS FERROS, RN, 2017.

GALLEGOS, H. **Adhesion entre el mortero y las unidades de albañilería.** Em: **Goiânia: UFG/ANTAC.** Anais... Em: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. Goiânia: UFG/ANTAC: 1995.

GAMA JUNIOR, A. C. D. A. **DIRETRIZES COM BASE EM AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA PARA REDUÇÃO DE EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO EM REVESTIMENTO DE ARGAMASSA.** 2013. Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil (EEC), Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil – Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Goiânia, GO, 2013.

GARTNER, E. et al. **Structure and Performance of Cements,** Second Edition. 2 edition, 2001.

GAVA, G. P.; GASQUES, E. G. F.; RIGO, E. Revista Técnico-Científica do CREA-PR. **AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE ADITIVOS HIDROFUGANTES/IMPERMEABILIZANTES NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS,** n. Edição especial, p. 9, 2016.

GOMES, A. de O.; NEVES, C. M. M. **Proposta de método de dosagem racional de argamassas contendo argilominerais**. Porto Alegre. v. v. 2, p. 12, 2002.

HAACH, V. G.; VASCONCELOS, G.; LOURENÇO, P. B. **Influence of Aggregates Grading and Water/Cement Ratio in Workability and Hardened Properties of Mortars**. Construction and Building Materials, v. 25, n. 6, p. 2980–2987, jun. 2011. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061810005398>>. Acesso em: 14 set. 2021.

IOPPI, P. R. **Estudo de Aderência de Argamassa de Revestimento em Substratos de Concreto**. 1995. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1995.

JOHN, V. M. et al. **POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DE CO₂ DE MATERIAIS CIMENTÍCIOS NA FASE DE USO**. Em: ENTAC. Foz do Iguaçú / PR, 2018.

MACIEL, M. H. et al. **Efeito da variação do consumo de cimento em argamassas de revestimento produzidas com base nos conceitos de mobilidade e empacotamento de partículas**. Ambiente Construído, v. 18, n. 1, p. 245–259, mar. 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212018000100245&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 14 set. 2021.

MATTANA, A. J.; PEREIRA, E. PUBLICATIO UEPG. **INFLUÊNCIA DOS CONSTITUINTES DO REVESTIMENTO DE ARGAMASSA SOBRE AS SUAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS**, p. 11, 2013. Disponível em: <<http://www.revistas2.uepg.br/index.php/exatas>>.

MAZURANA, L. **CAPTURE DE CO₂ EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO ATRAVÉS DA CARBONATAÇÃO NATURAL**. 2019. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira/PR, 2019.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: microstructure, properties, and materials**. 3rd ed. [fully rev. and updated] ed. New York: McGraw-Hill, 2006.

PALIARI, J. C. **Metodologia para a coleta e análise de informações sobre consumos e perdas de materiais e componentes nos canteiros de obras de edifícios**. 1999. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-09052003-102247/>>. Acesso em: 14 set. 2021.

PARAVISI, S. **AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE REVESTIMENTOS DE FACHADA COM APLICAÇÃO MECÂNICA E MANUAL DE ARGAMASSA**. 2008. 2008.

PEDRY, G. R. **AVALIAÇÃO DO EFEITO DA PROTEÇÃO SUPERFICIAL (PINTURA) NA CAPTURE DE CO₂ DEVIDO À CARBONATAÇÃO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**. 2020. Universidade Federal da Integração Latino-Americana Instituto de Tecnologia, Infraestrutura e Território Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura, Foz do Iguaçú, PR, 2020.

RFB. 971. **INSTRUÇÃO NORMATIVA RFB Nº 971, DE 13 DE NOVEMBRO DE 2009. TÍTULO IV - DAS NORMAS E PROCEDIMENTOS APLICÁVEIS À ATIVIDADE DE CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2009, Sec. Seção Única.

RIBEIRO, D.; VIEIRA, S.; VIEIRA, R. **CORRELAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES FÍSICOS DE ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM DIFERENTES MATERIAIS INERTES, AS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E AS PROPRIEDADES DO REVESTIMENTO**. Em: Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções - CBPAT 2016, Anais... Em: CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES - CBPAT 2016. 2016.

SALOMÃO, M. C. de F.; BAUER, E.; KAZMIERCZAK, C. de S. **Drying Parameters of Rendering Mortars**. Ambiente Construído, v. 18, n. 2, p. 7–19, abr. 2018.

SANTOS, W. J. dos et al. **Proposta de método de dosagem para argamassas de revestimento com areia artificial de britagem**. Ambiente Construído, v. 18, n. 1, p. 225–243, mar. 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212018000100225&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 14 set. 2021.

SANTOS, W. J. dos et al. **Análise da influência do tipo de agregado miúdo nas características e dosagem de argamassas mistas**. Ambiente Construído, v. 19, n. 4, p. 271–288, dez. 2019. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212019000400271&lng=pt>. Acesso em: 19 jul. 2021.

SANTOS, M. L. L. D. O. **Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a construção civil**. 2008. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE, Natal, RN, 2008.

SCRIVENER, K. L.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. M. **Eco-Efficient Cements: Potential Economically Viable Solutions for a Low-CO₂ Cement-Based Materials Industry**. Cement and Concrete Research, v. 114, p. 2–26, dez. 2018.

SOUSA, J. G. G.; BAUER, E. **ESTUDO DA REOLOGIA DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO NO ESTADO FRESCO**. Em: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Natal. Em: CBECIMAT. Natal: 2002.

SOUSA, J. G. G. D. **Contribuição ao Estudo das Propriedades das Argamassas de Revestimento no Estado Fresco**. 2005. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental., Distrito Federal, 2005.

SOUZA, A. T. **ANÁLISE COMPARATIVA DE PROPRIEDADES MECÂNICAS E DE DURABILIDADE DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO MISTAS E ADITIVADAS**. 2019. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte, 2019.

STOLZ, C. M. **INFLUÊNCIA DA INTERAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS REOLÓGICOS DE ARGAMASSAS E A ÁREA POTENCIAL DE CONTATO DE SUBSTRATOS NA ADERÊNCIA DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**. 2011. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, RS, 2011.

TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry**. 2 edition ed. London: Thomas Telford Publishing, 1997.

VEDACIT. **FICHA TÉCNICA - VEDALIT ADITIVO PLASTIFICANTE PARA ARGAMASSA**. Disponível em: <<https://www.vedacit.com.br/vedacit-pro/produtos-e-solucoes/aditivos/vedalit-aditivo-plastificante-para-argamassa>>. Acesso em: 21 set. 2021a.

VEDACIT. **FICHA TÉCNICA: BIANCO - VEDALIT**, 2021b. Acesso em: 21 set. 2021.

3 EMISSÕES DE CO₂ E ENERGIA INCOPORADA

Em um panorama mundial a indústria cimenteira é responsável por aproximadamente 5 a 8% das emissões globais de CO₂, tendo grande contribuição na geração de impactos ambientais (MÜLLER; HARNISCH, 2008; SCRIVENER, 2014; SNIC, 2019). A produção total de cimento no Brasil nos últimos cinco anos chegou a 65 milhões de toneladas, estando entre os 10 maiores produtores de cimento do mundo (STATISTA, 2020). Cerca de 90% das emissões de carbono do setor estão relacionadas com a produção da matéria-prima do cimento (clínquer). Os processos responsáveis por esse percentual de emissão são a calcinação/descarbonatação da rocha calcária (CaCO₃) e a queima de combustíveis fósseis para o aquecimento dos fornos. Os outros 10% advêm do transporte e energia elétrica utilizada nas fabricas (ABDI, 2012; CETESB, 2013; SNIC, 2019).

O concreto e a argamassa são os principais produtos que utilizam o cimento como componente fundamental em sua composição. No Brasil, 90% do cimento é direcionado para esse fim, o qual 35% é empregado na produção de concreto armado e 55% na de argamassas (JOHN et al., 2018). A utilização do cimento para produção das argamassas ainda é realizado de forma convencional, uma vez que seu uso nas argamassas industrializadas correspondem a uma parcela muito pequena de 2 a 3% do mercado, sendo empregado através de métodos com baixo ou nulo conhecimento, sem equipamentos especializados, sendo pouco eficiente no uso dos materiais (SNIC, 2019). Em 2013, 29% das cales produzidas no Brasil foram destinadas a construção civil (ABPC apud JOHN; PUNHAGUI; CINCOTTO, 2014). O tipo de cal, a quantidade de impurezas na matéria prima, sua granulometria, o tipo de forno utilizado na produção, a temperatura do forno, entre outros pontos, tem influência na emissão de CO₂ emitida na produção das cales (SILVA, 2009).

As argamassas mistas de revestimento, quando dosadas em obra, com base em um traço convencional 1:1:6, verifica-se que a cal é responsável por 51,76% das emissões totais das argamassas, o cimento por 43,48% e a areia 3,80%, equivalendo a 317,4 kg de CO₂ para a produção de 1m³ de argamassa (DE FARIA; REALES; FILHO, 2019). A cal e o cimento, necessitam de intensa energia no processo de fabricação para aquecimento dos fornos, advinda do uso de combustíveis fósseis ou do coprocessamento de resíduos utilizados como combustíveis alternativos (MÜLLER; HARNISCH, 2008; SNIC, 2019).

Portanto, nota-se que estimar as emissões de CO₂ junto à energia incorporada das argamassas de revestimento é importante para colaborar com a formação de conhecimento e base de dados que possam suportar políticas públicas de mitigação de CO₂ e melhor uso dos recursos naturais. Na fase de produção em obra estão processos passíveis de melhora que precisam ser medidos, analisados para serem aperfeiçoados ou mudados.

3.1 OBJETIVO DO CAPÍTULO

Este capítulo tem como objetivo quantificar as emissões de CO₂ e energia incorporada vinculadas ao processo de produção e aplicação em obra das argamassas mistas de revestimento produzidas em obras na cidade de Foz do Iguaçu-Pr.

3.2 MÉTODO

Para alcançar o objetivo proposto para este capítulo tomou-se por base o pensamento da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), normatizado pela NBR ISO 14044 (ABNT, 2009). É um método robusto e amplamente difundido que prevê a estimativa de indicadores e impactos ambientais relacionados a processos e produtos. Está dividido em 4 partes de acordo com a NBR ISO 14040, onde: 1) refere-se à definição do objetivo e escopo, 2) análise do inventário, 3) avaliação de impactos e 4) interpretação (ABNT, 2009b).

Para este estudo utilizou-se como base o pensamento do método de forma simplificada considerando as fases 1 e 2. O método simplificado é um modo de viabilizar estudos com menor complexidade, tempo, custo ou que queiram responder perguntas objetivas em relação a critérios específicos através do uso de dados secundários e/ou redução do escopo (TODD; CURRAN, 1999; HUR et al., 2005).

Baseado no modelo do Inventário do Ciclo de Vida (ICV), para as argamassas de revestimento de obras em Foz do Iguaçu-Pr considerou-se dados primários (consumo dos materiais para produção das argamassas, do diesel para o transporte das fábricas até a obra, da energia elétrica para mistura do revestimento em betoneira e as perdas incorporadas devido à sobresspessura⁵) e dados secundários (fatores de conversão de emissões de CO₂ e energia incorporada dos combustíveis, da energia elétrica e da

⁵ Sobresspessura: termo utilizado para caracterizar excessos de espessuras empregadas no revestimento

descarbonatação da rocha calcária para produção do clínquer e da cal) detalhados na sequência.

3.2.1 Objetivo

O estudo tem o *objetivo* de estimar as emissões de CO₂ e energia incorporada de 1 m² de argamassas de revestimento mistas de camada única produzidas em obra na cidade de Foz do Iguaçu-Pr. A *aplicação pretendida* do estudo está relacionada ao potencial de mitigação das emissões de CO₂ vinculadas a produção e aplicação das argamassas mistas de revestimento. A *razão da realização* do estudo é devido ao processo de produção em obra das argamassas mistas de revestimento, em que geralmente não existe controle tecnológico dos processos, dependendo basicamente da experiência da mão de obra, sendo desconhecido o método de uso de materiais intensos em carbono como o cimento e a cal.

O *público-alvo* do estudo engloba tanto profissionais acadêmicos, com fins de colaborar com estudos sobre o uso eficiente de produtos; quanto aqueles que atuam na construção civil, que podem beneficiar-se com informações para o melhor aproveitamento dos recursos materiais componentes das argamassas.

O *estudo poderá ser utilizado* para compor banco de dados sobre desempenho ambiental de produtos da construção, como subsídio para outras pesquisas que tratam da ecoeficiência de materiais, bem como para melhoramento de processos de produção de argamassa de revestimento.

3.2.2 Escopo

O *sistema de produto* estudado foi o revestimento de argamassa mista utilizado como reboco executados em camada única em obras de alvenaria convencional⁶. Este têm como *função* proteger e conservar as edificações, melhorando o conforto térmico e acústico, oferecendo estanqueidade e durabilidade, visando o seu melhor comportamento em uso (CALDAS; TOLEDO FILHO, 2018; SALOMÃO; BAUER; KAZMIERCZAK, 2018).

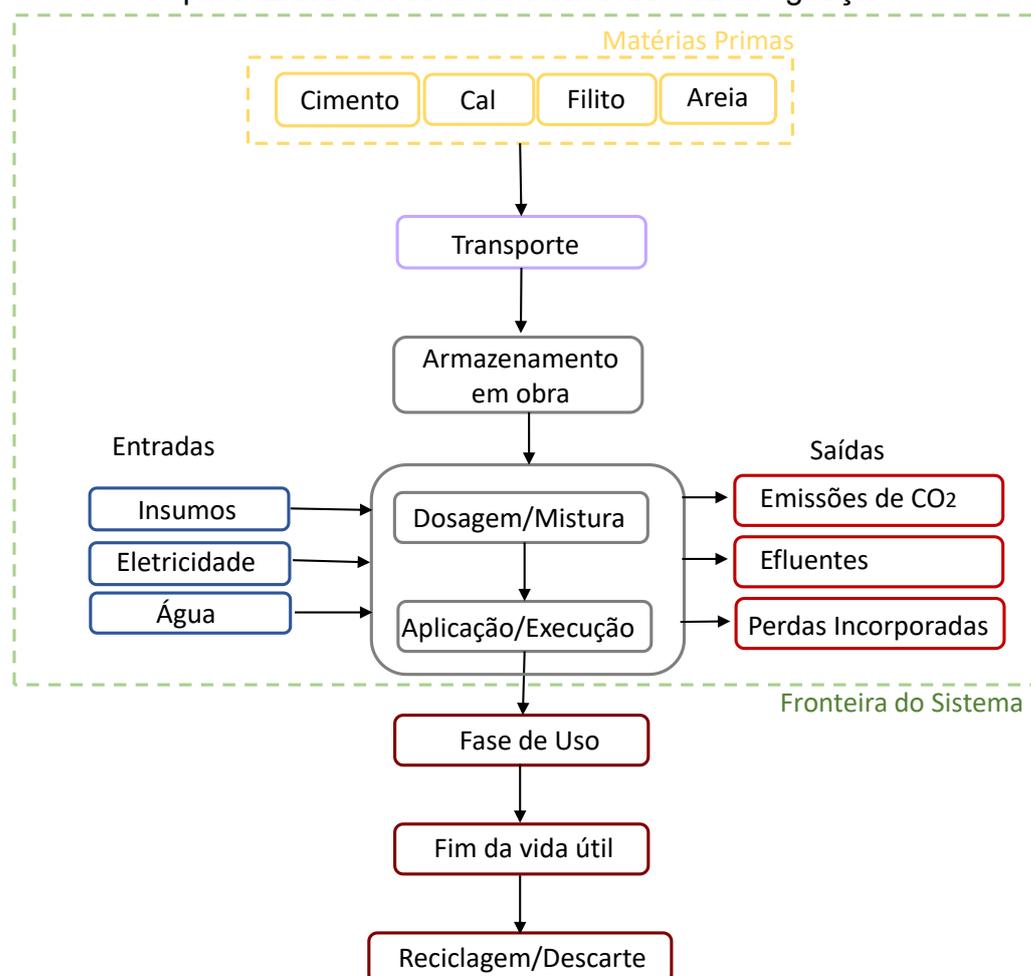
A *unidade funcional* definida foi de 1m² de argamassa mista de

⁶ Alvenaria convencional: sistema de vedação vertical executada em blocos cerâmicos unidos com argamassa de assentamento, comumente utilizada em obras.

revestimento com espessura média coletada nas respectivas obras estudadas.

A fronteira do sistema de produto considerada foi do portão das fábricas de cimento, cal e areia ao portão da obra (gate-to-gate) conforme Figura 3.1. Foram consideradas as fases⁷ de Fabricação (A1-A3), Transporte (A4) e Construção (A5).

Figura 3.1 - Fronteira do sistema de produto das argamassas mistas de revestimento produzidas em obra da cidade de Foz do Iguaçu-Pr



Todos os fluxos de entrada e saída foram calculados utilizando a unidade por m³ de argamassa. Posteriormente, através das espessuras médias coletadas foram determinados os fluxos pela unidade funcional 1m² de parede rebocada.

⁷ Conforme apresentadas na EN 15978 (CEN, 2011) e na EN 15804 (CEN, 2013).

3.2.3 Diesel para transporte dos materiais até a obra

Utilizando a ferramenta Google Maps, a partir das informações coletadas durante a identificação das obras (o endereço das obras, das distribuidoras dos materiais e das fábricas), foram determinadas as distâncias de transporte da fábrica até a obra, passando pelo centro de distribuição quando assim realizado.

Através do cálculo do produto dos consumos de materiais utilizados para produção de 1 m³ de argamassa em toneladas, e das distâncias de transporte apenas da viagem de ida, a quantidade de material transportada (t/km) foi definida. Para a determinação do consumo de diesel em l/t.km foram utilizados os fatores de conversão (FC) mínimos e máximos, estes de 0,006 a 0,022 l/t.km apresentados no trabalho de Campos (2012). Para determinar o diesel consumido para revestir o m² de parede com argamassa de revestimento, o volume em m³ foi multiplicado pelo volume em m² de argamassa necessário em função da espessura do revestimento.

3.2.4 Energia elétrica em obra

O consumo de energia elétrica para produção da argamassa de revestimento foi determinado através do quociente da potência da betoneira pela eficiência de 100% do motor, sendo este 80,5 (WEG, 2021), multiplicado pelo tempo em que a betoneira ficou ligada para a mistura da argamassa, conforme “Equação (1)” apresentada no estudo de Quattrone, Ângulo e John (2014).

Através do volume produzido na betoneira e do consumo de energia para produção da argamassa, a estimativa do consumo de energia elétrica por m³ de argamassa foi determinada. E através desse, multiplicado pelo volume necessário para revestir o m² de parede relacionado às espessuras dos revestimentos determinadas em obra, o consumo de energia elétrica por m² de revestimento foi determinado.

3.2.5 Pressupostos de cálculo

Os dados utilizados para realização dos cálculos das emissões de CO₂ e energia incorporada das argamassas mistas de revestimento serão apresentados a seguir.

3.2.5.1 Cimento

Através da Equação 1 adaptada de Mazurana (2019), foram estimadas as emissões de CO₂ dos cimentos empregados nas obras estudadas.

$$FE_{CIM} = E_{CLINQUER} \times \%C_{CIMENTO} + C_{ENERG. ELÉTRICA} \times FE + C_{ENERG. TÉRMICA} \times FE \quad (1)$$

FE_{CIM} = emissões para produção do cimento (kgCO₂/t_{cimento});

$E_{CLINQUER}$ = emissões do clínquer (kgCO₂/t_{clínquer});

$\%C_{CIMENTO}$ = percentual de clínquer contido no cimento;

$C_{ENERG. ELÉTRICA}$ = Consumo de energia elétrica por tonelada de clínquer (kWh/t_{clínquer});

FE = fator de emissão da energia elétrica consumida (kgCO₂/kWh);

$C_{ENERG. TÉRMICA}$ = Consumo de energia térmica por tonelada de clínquer (MJ/t_{clínquer});

FE = fator de emissão da energia elétrica consumida (kgCO₂/MJ);

Para a emissão do clínquer a média ponderada do Brasil de 832 kgCO₂/t foi adotada, referente ao ano de 2019, na plataforma GNR Project (WBCDS, 2019). O percentual de clínquer considerada foi definido conforme NBR 16697 (ABNT, 2018) que determina os percentuais mínimos e máximos das composições dos cimentos brasileiros. Foi subtraído 5% de sulfato de cálcio (gesso) incorporado ao clínquer, empregado afim de controlar a pega precoce e o comportamento endurecido do cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2006). Na Tabela 3.1 estão apresentados os percentuais mínimos e máximos adotados.

Tabela 3.1 - Percentual de clínquer considerado em cada tipo de cimento utilizado nas obras estudadas adaptados da Adaptado de NBR 16697 (ABNT, 2018)

Tipo de cimento	% Clínquer*	
	mín.	máx.
CPII Z 32	66%	89%
CPII F 32	70%	84%
CPII E 32	46%	89%

*percentual de clínquer presentes nos cimentos desconsiderando 5% de sulfato de cálcio.

Para o consumo da energia elétrica foi considerada a média ponderada até e incluindo a produção de clínquer cinza e branco, e para o consumo de energia térmica foi considerada a média ponderada incluindo a secagem de combustíveis para a produção do clínquer cinza, ambos no ano de 2019 na plataforma GNR Project (WBCDS, 2019). Para

determinação das emissões referentes a energia térmica, verifica-se que 78% do total consumido corresponde ao coque de petróleo (SNIC, 2019), sendo a biomassa e os resíduos empregados no aquecimento dos fornos como combustíveis alternativos considerados neutros em carbono⁸. Os fatores de emissão das fontes de energia consideradas nos cálculos estão apresentados no item 3.2.5.5 Combustíveis.

Embora a energia incorporada (EI) não seja o foco central da pesquisa, foi estimada pois precede e colabora na determinação das emissões de CO₂. Para o cálculo de EI no processo de produção do clínquer os mesmos consumos foram considerados, em unidade padrão (MJ) convertidos através dos fatores apresentados no item 3.2.5.5 Combustíveis.

As emissões de CO₂ mínimas e máximas e a energia incorporada para produção dos cimentos empregados por tonelada de clínquer podem ser observados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Emissões de CO₂ e energia incorporada por tipo de cimento

Tipo	Emissões CO ₂ (kgCO ₂ /t clínquer)		Energia (MJ/t clínquer)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
CPII Z 32	603,1	813,2	2520,3	3398,6
CPII F 32	639,6	767,5	2673,0	3207,7
CPII E 32	420,3	813,2	1756,6	3398,6

3.2.5.2 Cal

Todas as cales utilizadas na composição das argamassas das 12 obras estudadas são do tipo dolomítica, conforme determinado no processo de validação dos materiais junto aos laboratórios das fábricas dos materiais. Os dados de emissão de CO₂ e energia incorporada considerados são os apresentado no cenário de referência do Relatório Final de Produção da Cal, Economia de Baixo Carbono (JOHN; PUNHAGUI; CINCOTTO, 2014). Sendo que, para as emissões de CO₂ referentes ao processo de calcinação foram considerados valores da cal dolomítica hidratada mínimos 429 kgCO₂ e máximos 694 kgCO₂ por tonelada de cal, respectivamente. E para as emissões referentes ao

⁸ Carbono neutro: materiais considerados com fatores de emissão igual a zero devido a serem subprodutos de outro sistema de produto.

aquecimento dos fornos, foram considerados dados dos fornos em alvenaria (semi- contínuos) utilizados predominantemente no estado do Paraná, que apresentam uma emissão mínima de 479 kgCO₂ e máxima de 1.475 kgCO₂ ambas por tonelada de cal. Para a energia incorporada o consumo mínimo adotado foi de 5.234 MJ e máximo de 13.162 MJ por tonelada de cal produzida.

As emissões de CO₂ e energia incorporada mínimas e máximas consideradas para produção da cal podem ser observados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Emissões de CO₂ e energia incorporada no processo de produção da cal hidratada

Emissões CO ₂ (kgCO ₂ /t cal)			Energia (MJ/t cal)		
Tipo	Mín.	Máx.	Tipo	Mín.	Máx.
Dolomítica	908	2.169	Forno de barranco	5.234	13.162

Fonte: (JOHN; PUNHAGUI; CINCOTTO, 2014).

3.2.5.3 Filito

Os dados adotados são referentes ao beneficiamento do talco, encontrados no Relatório Técnico 47 - Perfil do talco, pirofilita e agalmatolito (MME, 2009). As conversões das emissões e energia incorporada no processo foram calculados através dos fatores apresentados no item 3.2.5.5 Combustíveis. As emissões CO₂ e a energia incorporada devido ao processo de extração e beneficiamento do filito estão apresentados na Tabela 3.4 a seguir.

Tabela 3.4 - Emissões de CO₂ e energia incorporada no processo de extração e beneficiamento do filito

Etapa	Emissões CO ₂ (kgCO ₂ /t filito)	Energia (MJ/t filito)
Extração	4,4	60,4
Beneficiamento	14,1	648,0
Total	18,5	708,4

Fonte: (MME, 2009)

3.2.5.4 Areia

Souza (2012) indica que 90% da extração da areia realizada no Brasil, utiliza o método de extração em leito de rio. Este é realizado através do processo de bombeamento por dragagem, classificação e estocagem do material (GAMA JUNIOR, 2013). As emissões de CO₂ e a energia incorporada no processo estão relacionados ao consumo de combustível utilizado nas bombas de dragagem e no barco de transporte até o armazenamento.

Para determinação das emissões de CO₂ mínimas e máximas dos cálculos, foram consideradas em valores levantados em estudos nacionais, apresentados na Tabela 3.5 a seguir.

Tabela 3.5 - Dados de emissões de CO₂ da areia encontrados em estudos nacionais

Emissões CO₂ (kgCO₂/t areia)	Local	Fonte
3,55	Santa Maria/RS	(SANTORO; KRIPKA, 2016)
2,055	Goiânia/GO	(GAMA JUNIOR, 2013)
10,95	Porto Alegre/RS	(CUNHA, 2016)
7,54	Paraná/PR	(STACHERA JR, 2008)

As conversões das emissões e energia incorporada no processo foram calculados através dos fatores apresentados no item 3.2.5.5 Combustíveis. As emissões CO₂ e a energia incorporada devido ao processo de extração da areia estão apresentados na Tabela 3.6 a seguir.

Tabela 3.6 - Emissões de CO₂ e energia incorporada no processo de extração e beneficiamento da areia natural

Tipo	Emissões CO₂ (kgCO₂/t areia)		Processos	Energia Incorporada (MJ/t areia)	
	Mín.	Máx.		Mín.	Máx.
Areia natural	2,06	10,95	Extração/Lavagem	29,82	47,05

3.2.5.5 Combustíveis

Os dados de conversão referentes ao fator de emissão de CO₂ e a energia incorporada das fontes energéticas consideradas nesse estudo foram obtidos na literatura e estão apresentados na Tabela 3.7 a seguir. A conversão da energia do coque de petróleo, biomassa e dos resíduos não foi realizada no estudo pois os dados adotados já estavam na unidade padrão MJ. A biomassa e os resíduos empregados no aquecimento dos fornos como combustíveis alternativos foram considerados neutros em carbono⁹ (WBCSD, 2015; SNIC, 2019).

Tabela 3.7 - Fator de emissão de CO₂ e energia incorporada dos insumos energéticos considerados por unidade de referência

Fonte	Ud	Energia incorporada (MJ/Ud)	Emissão de CO ₂ (kgCO ₂ /Ud)	Fonte: Energia incorporada	Fonte: Fator de emissão de CO ₂
Eletricidade	kWh	3,6	0,075	BEN, 2020	MCTIC, 2019
Coque de petróleo	t	-	0,0275	-	MCTI, 2010
Diesel	l	35,5	3,676	BEN, 2020	SILVA, 2013

3.2.6 Cálculo das emissões de CO₂ e energia incorporada

Todos os insumos empregados, cimento, cal, filito e areia, foram calculados utilizando a mesma unidade de referência sendo esta tonelada por metro cúbico (t/m³) de argamassa produzida. Posteriormente, estes foram estimados conforme o volume necessário para revestir 1m² de parede, utilizando as espessuras médias aplicadas nas obras estudadas. Espessuras acima do mínimo da norma NBR 13749 (ABNT, 2013) foram consideradas perdas incorporadas.

Os consumos dos materiais (kg/m²) e a espessura dos revestimentos (mm), apresentados no Capítulo 2, estão apresentados na Tabela 3.8 a seguir. Estes foram multiplicados pelos fatores de conversão apresentados no item 3.2.5 Pressupostos de cálculo para determinação dos indicadores de emissões de CO₂ e energia incorporada.

⁹ Carbono neutro: materiais considerados com fatores de emissão igual a zero devido a serem subprodutos de outro sistema de produto.

Tabela 3.8 - Consumo de materiais (kg/m²) e espessura dos revestimentos (mm) das obras estudadas

Item	OBRA Nº											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cimento	5,3	8,0	5,1	6,3	3,4	3,7	6,8	3,7	6,4	2,4	5,3	3,2
Cal	4,2	9,6	2,0	2,5	-	2,9	5,4	0,7	-	1,9	2,1	1,3
Filito	-	-	-	-	1,2	-	-	-	2,6	-	-	-
Areia	35,6	52,3	26,1	31,7	17,0	26,0	37,6	21,2	27,8	17,2	29,2	13,1
Aditivos*	0,011	0,016	0,081	0,004	0,014	0,014	0,028	0,007	0,035	0,040	0,005	0,005
Água *	7,4	7,2	4,9	6,8	3,7	4,3	6,7	3,9	5,9	3,6	5,7	3,0
Espessura revestimentos	25	35	19	22	12	17	26	14	20	12	20	10

*Os aditivos e a água de amassamento foram desconsiderados nos cálculos do capítulo.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.3.1 Diesel para transporte dos materiais até a obra

As distâncias de transporte da fábrica até a obra, passando pelo centro de distribuição quando assim ocorreu, estão apresentadas na Tabela 3.9 a seguir.

Tabela 3.9 - Distância de transporte dos materiais até a obra

Obra Nº	Distância total até a obra (km)		
	Cimento	Cal/Filito ³	Areia
1	658	663	468 ⁴
2	1292 ¹	663	30 ⁵
3	658	662	467
4	659	663	468
5	659	643	25
6	595	664	21
7	659	646	468
8	658	646	23
9	664	648	473
10	802 ²	662	20,3
11	662	666	30
12	661	649	470

¹Cimento produzido em Arcos-MG

²Cimento produzido em Apiai-SP

³ Cal e Filito foram produzidos em Colombo-PR ou Almirante Tamandaré-PR

⁴ Areia produzida em Apucarana - PR

⁵ Areia produzida em Santa Terezinha de Itaipu-PR

Na Tabela 3.10 estão apresentados os consumos de diesel do transporte dos materiais componentes da argamassa para chegada até a obra.

Tabela 3.10 - Consumo de diesel no transporte (l/m²)

Obra Nº	Espessura revestimentos (mm)	Cimento		Cal/Filito		Areia	
		Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
1	25	0,021	0,077	0,017	0,062	0,100	0,367
2	35	0,062	0,228	0,038	0,140	0,009	0,034
3	19	0,020	0,074	0,008	0,030	0,073	0,269
4	22	0,025	0,091	0,010	0,037	0,089	0,327
5	12	0,013	0,049	0,004*	0,016	0,003	0,009
6	17	0,013	0,048	0,012	0,043	0,003	0,012
7	26	0,027	0,098	0,021	0,077	0,105	0,387
8	14	0,014	0,053	0,003	0,010	0,003	0,011
9	20	0,026	0,094	0,010*	0,037	0,079	0,289
10	12	0,011	0,041	0,007	0,027	0,002	0,008
11	20	0,021	0,077	0,008	0,031	0,005	0,019
12	10	0,013	0,046	0,005	0,018	0,037	0,135

*Uso de Filito

Observa-se que maiores consumos de diesel no transporte das matérias primas para a composição das argamassas estão relacionados a maiores distâncias das fabricas até os locais das obras, assim como maiores espessuras dos revestimentos. Estes variaram entre 0,002 e 0,105 litros/m² nos consumos mínimos e 0,027 e 0,387 litros/t.km nos consumos máximos entre todos os materiais.

3.3.2 Energia elétrica em obra

Na Tabela 3.11 estão apresentados os consumos de energia elétrica por m² de argamassa em função da espessura dos revestimentos (mm), e o tempo de mistura (minutos) em betoneira.

Tabela 3.11 - Consumo energia elétrica da betoneira na produção das argamassas produzidas em obra

Consumo de energia elétrica da betoneira em obra			
Obra Nº	Espessura revestimentos (mm)	(kWh)/m²	Tempo de mistura (minutos)
1	25	0,015	5
2	35	0,020	6,32
3	19	0,021	8,18
4	22	0,013	3,4
5	12	0,017	4,35
6	17	0,025	8,25
7	26	0,030	8,5
8	14	0,035	9,45
9	20	0,020	4,5
10	12	0,030	5,15
11	20	0,024	6
12	10	0,038	8,35

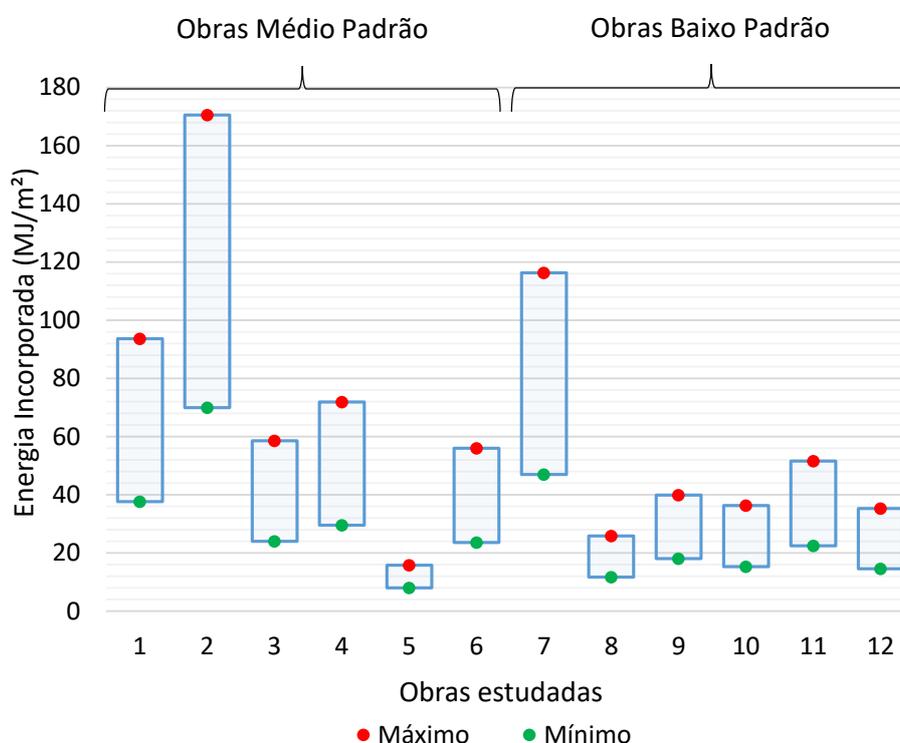
Verifica-se que nas obras em que se utiliza um maior tempo para mistura dos materiais na betoneira, os consumos de energia elétrica são maiores. Este não é referente apenas do processo de mistura, mas também devido ao equipamento ficar ligado durante outros serviços, como o transporte da massa até o local de aplicação. Ainda, observa-se que as obras com maior espessura de revestimento tiveram maiores consumos de energia elétrica, devido a maior necessidade de material para aplicação.

3.3.3 Emissões de CO₂ e energia incorporada

Foram estimadas faixas de valores mínimos e máximos das emissões de CO₂ e energia incorporada para as obras estudadas, que representam as incertezas e variações associadas aos teores de clínquer presentes nos cimentos, aos consumos de combustíveis para aquecimentos dos fornos para produção da cal, para a extração da areia natural, e para o transporte dos materiais.

A energia incorporada total caracteriza o consumo energético nos processos presentes nas fases de produção dos materiais, transporte e execução das argamassas mistas de revestimento estudadas. Na Figura 3.2 está apresentada a energia incorporada total (desde a produção dos materiais até a porta da obra, gate-to-gate) nas argamassas mistas de revestimento estudadas em MJ/m² considerando a espessura do revestimento coletada nas obras em função dos consumos de materiais nos traços (ambos apresentados na Tabela 3.8).

Figura 3.2 - Energia incorporada total (MJ/m²) nas argamassas mistas de revestimento

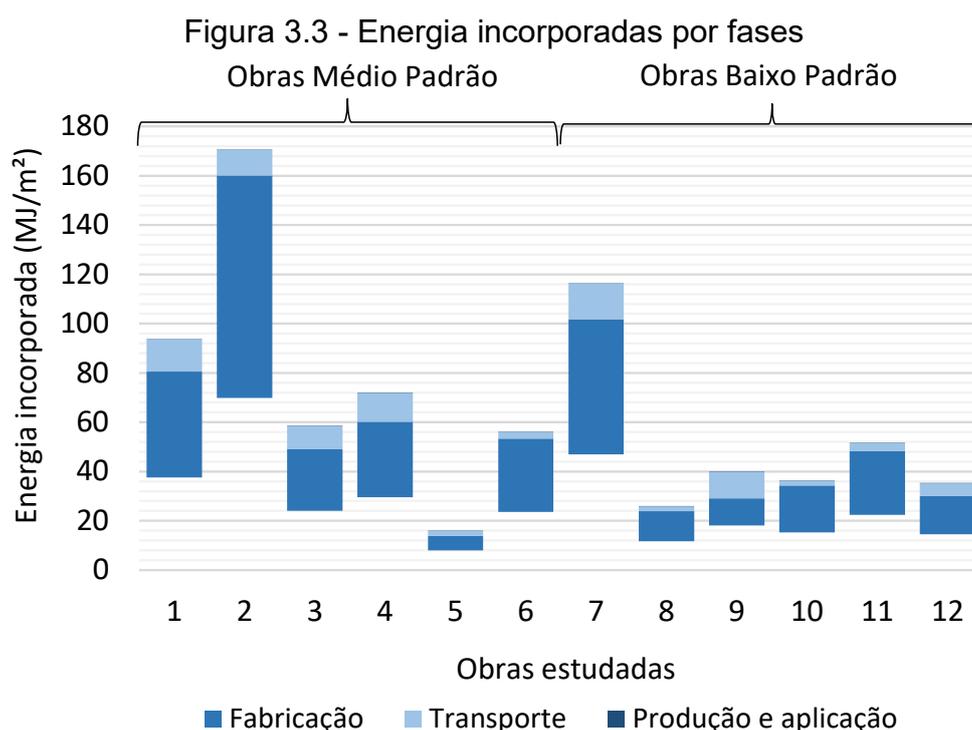


Pode-se observar que as variações da energia incorporada entre as obras estão relacionadas a maiores consumos dos materiais nos traços das argamassas estudadas (Tabela 3.8). Já, as variações entre a faixa mínima e máxima está relacionada principalmente ao processo de produção da cal, em que, obras com maior emprego do

material tem esta aumentada. Na produção do cimento, aproximadamente 40% das emissões de CO₂ estão relacionadas a energia incorporada no processo, sendo que 35% da queima de combustíveis para aquecimento dos fornos e os outros 1 a 2% da geração de energia elétrica (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018; SNIC, 2019).

Para a produção da cal, a energia incorporada está relacionada com os mesmos processos. Para a produção do filito a energia consumida é proveniente do combustível das máquinas de extração (escavadeira, trator, caminhão e pá carregadeira) e da geração de energia elétrica na usina de beneficiamento. Já na produção da areia, a energia incorporada no processo está relacionada ao consumo de combustível utilizado nas bombas de dragagem e no barco de transporte até o armazenamento.

Observa-se que a energia incorporada total nas obras estudadas variou entre as faixas mínimas e máximas de 12 a 171 MJ/m² para obras com o uso de cal, e 8 a 40 MJ/m² para obra com o uso de filito na composição das argamassas. As obras de médio padrão variaram entre 24 e 171 MJ/m², e as obras de baixo padrão entre 12 e 116 MJ/m² (excluindo o uso do filito). Verifica-se que as obras de médio padrão apresentam uma faixa de variação maior do que das obras de baixo padrão, devido a maior espessura do revestimento aplicado, somada a um maior consumo de materiais no traço. Na Figura 3.3 está apresentada a energia incorporada divididas pelas fases de fabricação dos materiais, transporte e produção e aplicação em obra.

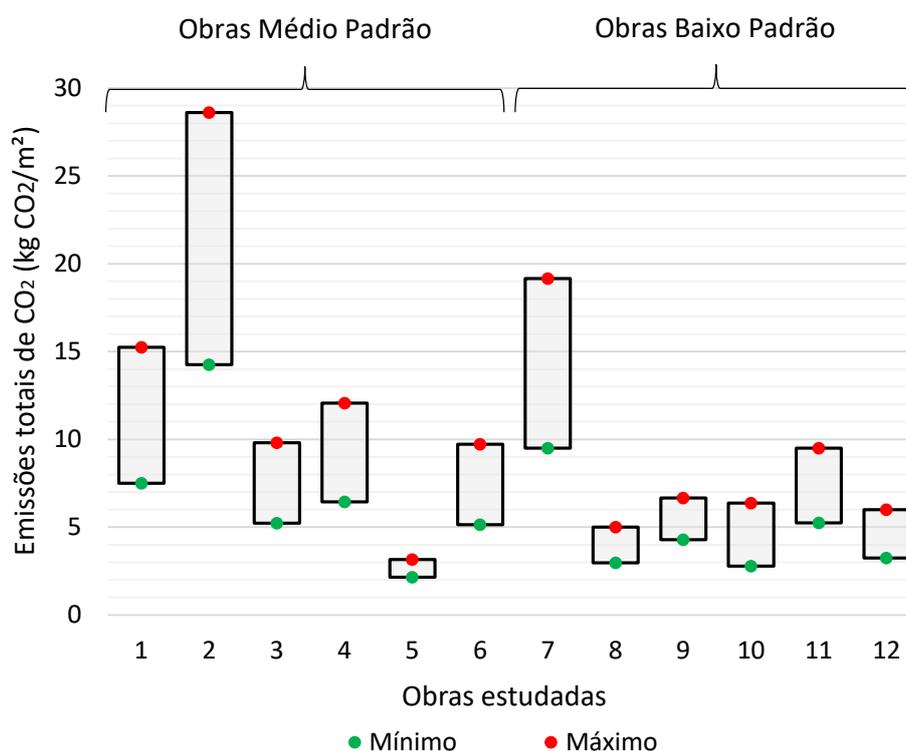


Verifica-se que os consumos de energia incorporada foram maiores na fase de fabricação dos materiais para a produção das argamassas em obra. Esta variou entre 11 e 156 MJ/m² nas obras com uso de cal, e 7 e 25 MJ/m² nas obras com uso de filito na composição do traço. Para as obras de médio padrão houve variação de 20 a 156 MJ/m², e 11 a 96 MJ/m² nas obras de baixo padrão (excluindo as obras que utilizaram filito). Observa-se que as obras de médio padrão possuem maior energia incorporada em seu processo, principalmente devido ao consumo de materiais para execução do traço das argamassas de revestimento.

Na fase de transporte a energia incorporada no processo esteve entre 1 e 20 MJ/m², sendo similar entre as obras de baixo e médio padrão. Tais variações ocorreram devido ao distanciamento dos insumos da fábrica até os centros de distribuição da cidade, e até a obra. Ainda, é importante salientar que o cálculo do consumo de combustível para o transporte dos materiais (L/t.km) foi realizado com base na quantidade de cimento, cal e areia necessária para produção de 1 m³ de argamassa, e posteriormente estimado com base no volume de argamassa necessário para aplicação em 1m² de revestimento. Dessa maneira, a quantidade de material também interfere no consumo de combustível pelo caminhão.

Na fase de produção e aplicação a energia incorporada variou entre 0,03 e 0,11 MJ/m², sendo similar entre as obras de baixo e médio padrão. Observa-se que nas obras que apresentam maior energia incorporada ocorreram devido ao período em que a betoneira funcionou para mistura da argamassa. O consumo de energia para produção das argamassas convencionais no estudo de (ALBUQUERQUE; LIRA; SPOSTO, 2018) foi de 0,0069 kWh/m², o equivalente a 0,024 MJ/m². Já no estudo de (DE FARIA; REALES; FILHO, 2019) 4,06 kWh/m³ de argamassa, sendo esta 0,0812 kWh/m², equivalente a 0,29 MJ/m².

Na Figura 3.4 estão apresentadas as emissões totais de CO₂ por m² de argamassa mista produzida determinadas com base na espessura dos revestimentos aplicados conforme identificado nas obras estudadas (Tabela 3.8).

Figura 3.4 - Emissões de CO₂ totais (kg/m²) nas argamassas mistas de revestimento

Pode-se observar que as variações das emissões de CO₂ das argamassas das obras estudadas estão relacionadas com os consumos dos materiais nos traços empregados (Tabela 3.8). As obras com maiores consumos de cimento e cal assim como maiores espessuras dos revestimentos, apresentaram maiores emissões de CO₂. As obras que utilizaram o filito em substituição da cal (N^o05 e N^o09) apresentaram menores emissões de CO₂.

As variações das emissões de CO₂ entre as obras ocorrem devido ao processo de produção dos materiais, em que a cal e o cimento são responsáveis pelas maiores emissões de CO₂, devido principalmente ao processo de decarbonatação/calцинаção da rocha calcária, ao contrário do filito que não passa por esse processo em sua produção.

As variações nos consumos dos materiais dos traços ocorrem principalmente devido à dependência na mão de obra para produção dos revestimentos e as espessuras empregadas na aplicação. Mesmo com o emprego de traços padrões, estes são modificados *in loco* conforme a necessidade “verificada” pelo do funcionário de cada uma das obras. Ainda, devido a problemas de modularidade da estrutura, desníveis na alvenaria ocasionam em uma maior espessura do revestimento para realizar o nivelamento da superfície.

Tais ajustes geram impactos tanto nas propriedades dos revestimentos como nos indicadores de energia incorporada e emissões de CO₂. A importância de um controle tecnológico das argamassas empregadas, assim como uma orientação adequada da mão de obra responsável pela produção e aplicação do produto, e a compatibilização dos elementos estruturais e da alvenaria, se faz necessário para um menor consumo de materiais.

As variações das emissões dentro de uma mesma obra, como exemplo da obra N^o.02 com a maior diferença entre os valores mínimos e máximos, ocorre devido a maiores consumos de cal no traço. Isso porque, existe uma alta variação na energia incorporada no processo na referência adotada para realização do cálculo do indicador. Ao contrário da obra N^o.05, com a menor variação nas emissões, que utilizou o filito em sua composição. Neste, não foram adotados valores mínimos e máximos no indicador de emissões e energia devido a referência não apresentar tal faixas. Na Tabela 3.12 foram adaptadas as emissões de CO₂ encontradas na literatura, através da espessura de 20 mm de revestimento.

Tabela 3.12 - Emissões de CO₂ argamassas mistas na literatura (kgCO₂/m²)

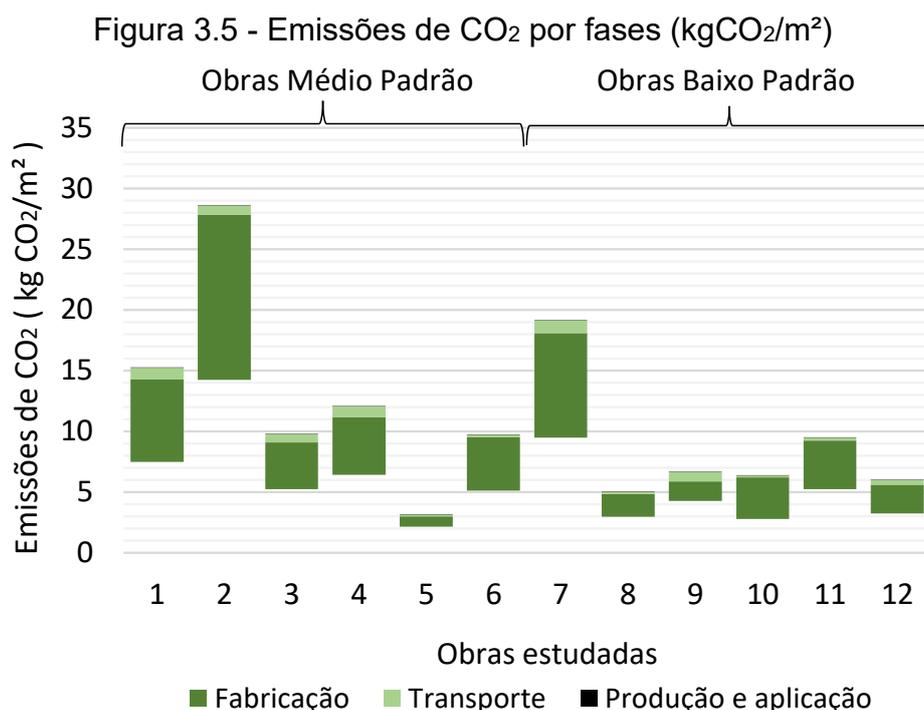
Autor	Consumos (kg/m ²)			Emissões de CO ₂
	Cimento	Cal	Areia	
Adaptado de Gama Junior (2013)	2,5	1,25	20,9	8,6
Adaptado de Mazurana (2019)*	4,5	4,5	27,0	7,6
	3,8	7,6	23,0	8,8
Adaptado de Antônio (2018)*	4,4	4,4	26,2	5,6
Adaptado de De Faria et. al (2019)	3,5	3,5	21,3	6,5

**Considerada apenas a fase de fabricação dos materiais*

As argamassas mistas de cal produzidas e aplicadas nas obras de Foz do Iguaçu-Pr emitem entre 3 e 29 kgCO₂/m² de revestimento. Já as argamassas com o uso de filito na composição dos traços emitem entre 2 e 7 kgCO₂/m². Nas obras de médio padrão as emissões foram de 5 a 29 kgCO₂/m², enquanto nas de baixo padrão foram de 3 a 19 kgCO₂/m² (excluindo as obras que utilizaram filito). Nas argamassas identificadas na literatura a faixa de emissões variou entre 5,6 a 8,8 kgCO₂/m² considerando uma espessura de 20 mm. Verifica-se que as argamassas estudadas de cal apresentam maiores emissões de CO₂ máximas enquanto as obras com filito apresentam menores emissões mínimas. Quando comparados os consumos dos materiais nos traços, tanto nas obras estudadas

quanto na literatura, verifica-se que maiores consumos de cimento e cal apresentam maiores emissões de CO₂.

Na Figura 3.5 estão apresentadas as emissões mínimas e máximas de CO₂ das obras estudadas divididas pelas fases de fabricação dos materiais, transporte e produção e aplicação em obra.



Verifica-se que a fase de fabricação dos materiais é a maior responsável pelas emissões de CO₂ das argamassas mistas de revestimento estudadas. Estas são geradas principalmente devido a descarbonatação/calcinação da rocha calcária para produção do cimento e da cal. A fase de transporte é a segunda com maiores emissões, devido a queima do diesel para combustível no transporte dos materiais até o centro de distribuição, e posteriormente até as obras. A fase de produção de fabricação tem menores emissões de CO₂ pois é considerada apenas a energia elétrica consumida para funcionamento da betoneira durante o processo de mistura dos materiais.

Na fase de fabricação dos materiais, as emissões de CO₂ variaram entre 3 e 28 kgCO₂/m² nas obras com uso de cal, e entre 2 e 6 kgCO₂/m² nas obras com uso de filito na composição das argamassas. Nas obras de médio padrão estas variaram entre 5 e 28 kgCO₂/m², enquanto as de baixo padrão variaram entre 3 e 18 kgCO₂/m² (excluindo o uso de filito). Na fase de transporte até a obra, as emissões variaram entre 0,05 e 1,5 kgCO₂/m². Na fase de uso e aplicação as emissões estiveram entre 0,001 e 0,003

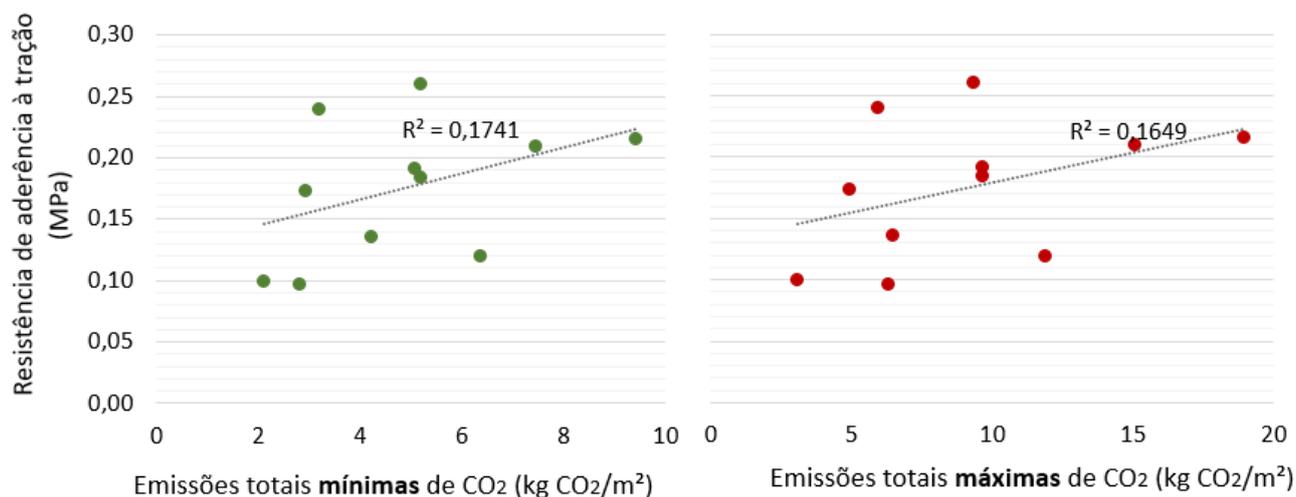
kgCO₂/m², não havendo grandes entre os padrões das obras.

Desta maneira entendessee que a fase de transporte não apresenta grande importância nas emissões de CO₂, e que a fase de produção em obra é irrelevante para as mesmas, exceto pelo consumo de materiais, principalmente do cimento e da cal, e pelas perdas incorporadas. Portanto, o uso eficiente do cimento e da cal, visando o desempenho necessário para a função do revestimento, sem perdas incorporadas, é fonte potencial de minimização das emissões de CO₂ e da energia incorporada vinculada as argamassas mistas de revestimento.

3.3.4 Emissões de CO₂ x resistência de aderência à tração

Na Figura 3.6 estão apresentadas as emissões de CO₂ das obras estudadas versus a resistência de aderência à tração dos revestimentos, sendo uma das principais propriedade ligada ao desempenho dos revestimentos. A obra N^o. 02 foi desconsiderada pois os resultados do ensaio não foram satisfatórios conforme preconizado na NBR 13528-1 (ABNT, 2019).

Figura 3.6 - Emissões de CO₂ mínimas e máximas x resistência de aderência à tração



Observa-se que a resistência de aderência a tração das argamassas estudadas não está necessariamente vinculada a maiores emissões de CO₂ das argamassas. Isso porque, um maior consumo de materiais nos traços não garante uma maior resistência de aderência à tração dos revestimentos. Entendessee que existem outros

aspectos que podem interferir em tal propriedade além do traço empregado, como a idade de cura do revestimento, o substrato aplicado, e o operador responsável pela aplicação do revestimento (CARASEK, 2010).

Verifica-se nas obras com o emprego de filito em substituição a cal (Nº. 05 e 09), que estas apresentaram as menores emissões de CO₂ em sua composição. Porém, os valores obtidos de resistência de aderência à tração ficaram na faixa de 0,1 e 0,14 MPa, similares ao estudo de Ioppi, (1995) e inferiores ao estudo de Carasek et al. (2011) que utilizaram a cal na composição das argamassas. Cabe ressaltar que o filito é um material inerte e sua incorporação não contribui com reações pozolânicas como a cal.

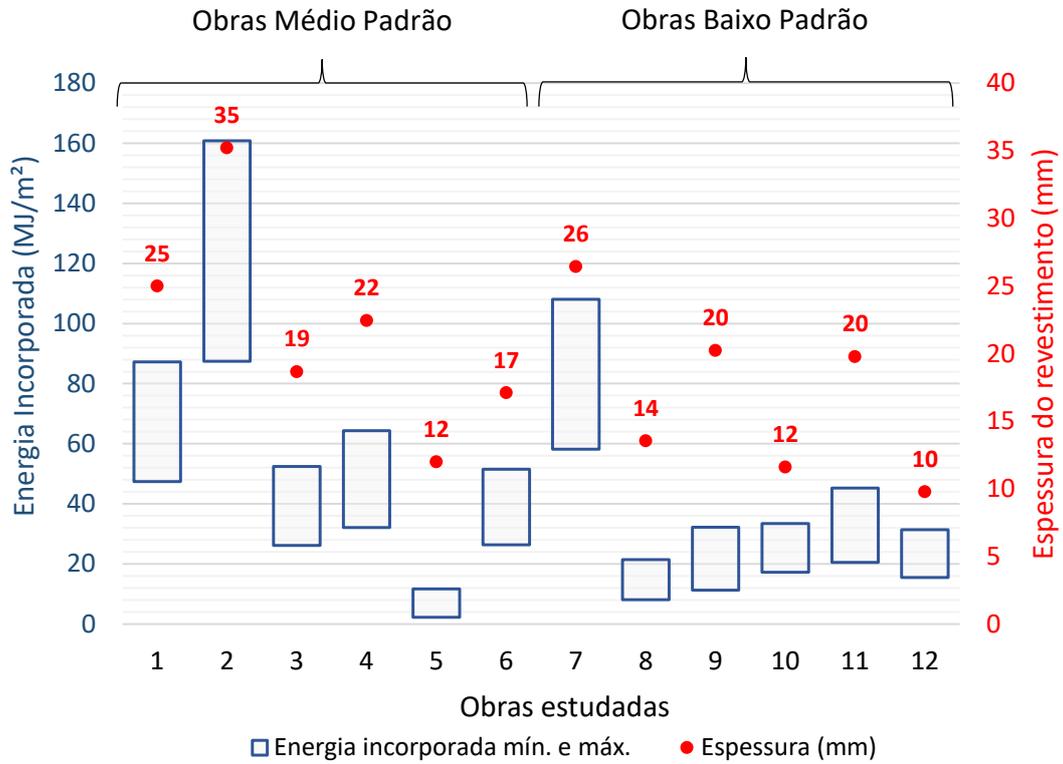
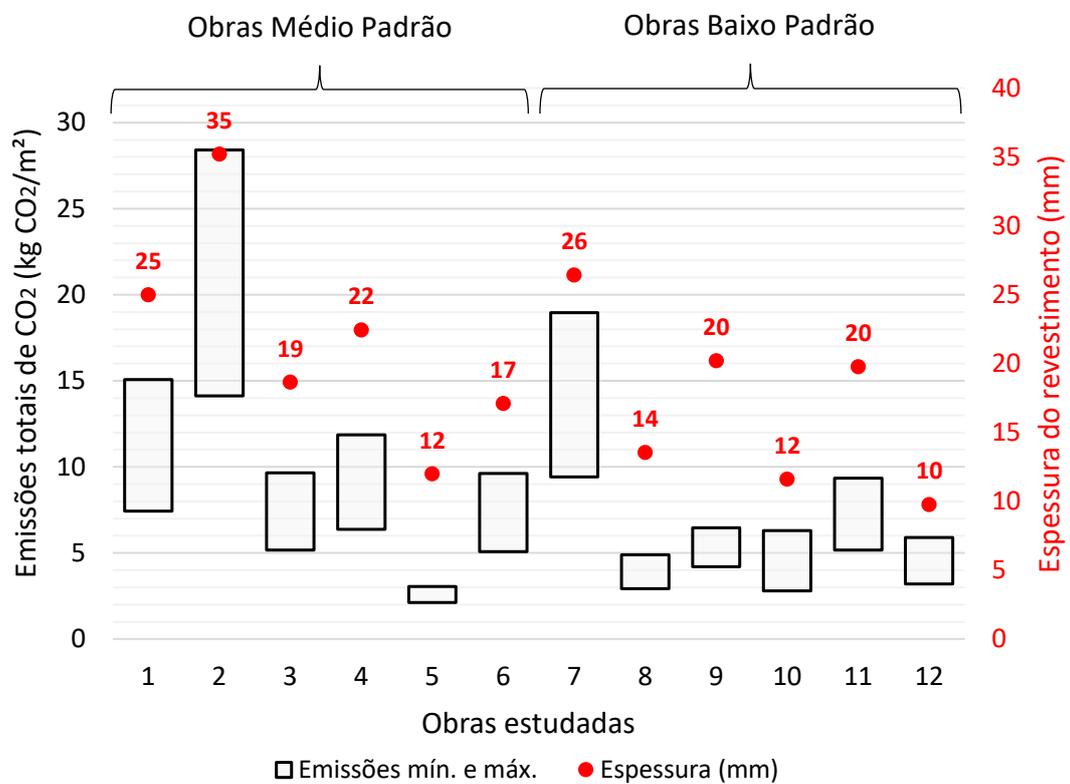
As obras com o menor emprego de cimento e cal na composição do traço (Nº. 08 e 11), com menores emissões mínimas de CO₂, apresentaram aderência ao substrato na faixa de 0,17 e 0,26 MPa. Verifica-se que suas composições são diferentes, sendo a obra Nº. 08 com um traço real de 1:0,5:6 e a obra Nº. 11 de 1:0,9:5,8. Obras com praticamente o mesmo consumo da obra Nº. 11, sendo estas a Nº. 03 e Nº. 04 apresentaram emissões máximas maiores. Tais variações ocorrem pois além do consumo de materiais no traço, as emissões referentes ao transporte dos materiais até a obra e o consumo de energia em obra também são requisitos que impactam nas emissões totais.

As obras com maiores emissões de CO₂ apresentaram os maiores consumos de materiais nos traços, maiores distâncias de transporte e maiores consumos no processo de produção e aplicação do revestimento, porém, a resistência de aderência à tração não apresentou maiores ganhos quando comparadas a obras com consumos menores.

3.3.5 Indicadores e espessura do revestimento

Nas Figura 3.7 e Figura 3.8 estão apresentadas as emissões de CO₂ e a energia incorporada das argamassas das obras estudadas baseadas nas espessuras coletadas *in loco*.

Figura 3.7 - Energia incorporada e espessura do revestimento

Figura 3.8 - Emissões totais de CO₂ e espessura do revestimento

Observa-se que as obras com maiores espessuras nos revestimentos apresentam maior energia incorporada e conseqüentemente maiores emissões de CO₂. A NBR 13749 (ABNT, 2013) determina que para revestimentos de paredes internas as espessuras devem estar entre $5 \leq e \leq 20$ mm e $20 \leq e \leq 30$ mm para paredes em área externas. Porém, nas obras estudadas, através de entrevista com o mestre de obras, verificou-se que não existem alterações nas espessuras caso estas sejam empregadas nas áreas internas ou externas, assim como não é modificado também o traço empregado.

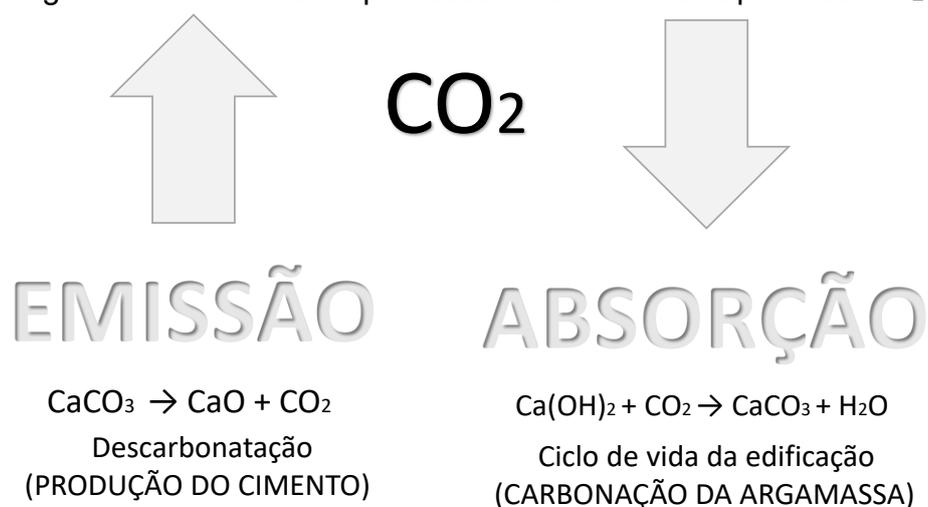
As emissões de CO₂ referente a perdas incorporadas devido a sobressessuras dos revestimentos nas obras estudadas (24 a 151%), quando consideradas as espessuras mínimas preconizadas por norma, estão entre 1 e 25 kgCO₂/m² e a energia incorporada referente elas é de 5 a 146 MJ/m². Tais diferenças nas espessuras ocorrem principalmente devido ao método de aplicação do revestimento, realizado de forma manual, ao desaprumo nas alvenarias a qual o revestimento é aplicado, ou até mesmo devido a incompatibilidade entre o projeto estrutural e as alvenarias. Em ambos os casos, verificasse a dependência na mão de obra em que executa o serviço, que muitas vezes desconhece das espessuras delimitadas por norma, para atender as áreas da edificação.

Desta maneira, entendessee que o controle das espessuras dos revestimentos em obra são uma forma de minimizar as emissões de CO₂ e a energia incorporada vinculado ao processo de aplicação dos revestimentos argamassados.

3.4 CAPTURA DE CO₂

Mesmo não sendo o objetivo deste trabalho, é importante salientar que os materiais cimentícios possuem potencialidade de captura de CO₂ através do processo da carbonatação, no qual parte do CO₂ emitido na fabricação dos materiais cimentícios é absorvido durante o ciclo de vida da edificação (PADE; GUIMARAES, 2007; ANDERSSON et al., 2013) conforme apresentado na Figura 3.9. Estimasse que em 2013, a carbonatação de materiais cimentícios foi responsável pela absorção de aproximadamente 2,5% da emissão global de CO₂, considerando todos os processos industriais e a queima de combustíveis fosseis no mesmo ano (XI et al., 2016).

Figura 3.9 - Resumo do processo de emissão e captura do CO₂



Fonte: Adaptado de (ANTONIO, 2018).

Tal processo ocorre através da penetração do CO₂ por meio dos poros na superfície exposta do material, reagindo com os produtos carbonatáveis presentes na estrutura da matriz, formando carbonato de cálcio e água (JOHANNESSON; UTGENANNT, 2001; POSSAN, 2019). Ao contrário das estruturas de concreto armado, as argamassas de revestimento não possuem contraindicações referentes a durabilidade pela ação da carbonatação, por não possuírem armadura, tornando tal efeito desejável (ANTONIO, 2018). As argamassas cimentícias de revestimento não protegidas podem absorver 97,9% das emissões geradas para sua produção durante sua vida útil e 2,1% restantes na fase de demolição (XI et al., 2016).

Entende-se que os materiais empregados no traço das argamassas geram influencia tanto nas emissões como na captura de CO₂. Como exemplo, podemos identificar no presente trabalho que as argamassas com o emprego da cal hidratada foram responsáveis por maiores emissões de CO₂ quando comparadas as com o emprego de filito. No estudo de Antonio (2018), verifica-se que as argamassas mistas (cimento:cal:areia) de revestimento apresentam uma capacidade de absorção maior entre 34 e 79% em ambiente interno quando comparadas as cimentícias. Porém, esta pode ser mais lenta devido a maior reserva alcalina disponível para reação química com o CO₂ (COSTA; PACHECO, 2018).

A espessura do revestimento argamassado, a área superficial exposta e o ambiente de aplicação das argamassas também geram influência no processo de captura. Como a penetração do CO₂ ocorre da superfície para o interior do material, quando a espessura do revestimento é maior, a velocidade de penetração é reduzida, apresentando

menor captura de CO₂ em um determinado período de tempo (DESPOTOU et al., 2016). Ainda, quando se tem uma superfície protegida com pintura, verifica-se uma redução da velocidade de penetração do CO₂ para o interior do material, devido à redução de poros disponíveis para ingresso (PEDRY, 2020; BARBOSA, 2021). O ambiente de exposição interno apresenta maiores condições de captura, devido a maior concentração de CO₂ emitido pelas pessoas que circulam no local ou veículos (MAZURANA, 2019).

Verifica-se que a captura de CO₂ faz parte do ciclo do carbono das argamassas (POSSAN, 2019), sendo considerada como processo reverso da produção dos materiais cimentícios (PADE; GUIMARAES, 2007). Entende-se que seja importante a realização do cálculo de balanço de CO₂ para conhecimento das emissões remanescentes, porém, tal processo não foi executado no presente trabalho.

3.5 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

As argamassas de revestimento produzidas e aplicadas em obras na cidade de Foz do Iguaçu-Pr, em paredes internas e externas, emitem entre 3 e 29 kgCO₂/m² com o uso da cal na composição do traço das argamassas, e 2 e 7 kgCO₂/m² com o uso de filito. As maiores emissões por metro quadrado de parede relacionam-se a maiores consumos de cimento e cal para a produção das argamassas e a maiores espessuras aplicadas dos revestimentos. Esta variabilidade é consequência de vários aspectos, entre eles da dependência da mão de obra responsável pela produção, a qual define o traço e realiza ajustes durante a mistura para atender necessidades empíricas determinadas pela experiência em obra; devido à falta de nivelamento nas paredes de alvenaria; devido à falta de compatibilidade entre as estruturas de concreto e o fechamento em alvenaria; entre outros.

Houve variação considerável de faixa de emissão entre as obras estudadas. A que menos emite (obra N^o.05), entre 2 e 3 kgCO₂/m², é devido a substituição da cal hidratada pelo filito (1,2 kg/m²), não sendo possível realizar uma avaliação aprofundada dos impactos nas propriedades do estado endurecido, devido ao curto prazo de cura do revestimento. A obra que mais emite (obra N^o.02), entre 14 e 29 kgCO₂/m² é devido ao maior consumo de cimento (8 kg/m²) e cal (9,6 kg/m²) no traço, somado as distâncias de transporte e ao consumo de energia elétrica no processo de produção das argamassas.

As perdas incorporadas devido a sobresspessura dos revestimentos nas obras estudadas (de 24 a 151%), são responsáveis por emissões de CO₂ entre 1 e 25 kgCO₂/m². Estas podem ocorrer devido à inexistência de determinação de limites na espessura dos revestimentos em obra, sendo executados de forma empírica em função do nivelamento do substrato. Ainda, entende-se que o método construtivo das obras, sendo este convencional, não apresenta modularidade no processo, muitas vezes não compatibilizado, necessitando de uma maior espessura de revestimento para o nivelamento da superfície.

Em relação à energia incorporada, as argamassas estudadas com uso de cal no traço apresentaram entre 12 a 171 MJ/m² e entre 8 a 40 MJ/m² com o uso de filito na composição dos traços. Tal discrepância nos valores ocorreu devido ao uso do filito em substituição a cal nos traços das obras N^o.05 e 09. Isso porque, o processo de produção do material é caracterizado pela extração e beneficiamento do mesmo de forma que não

necessita ser calcinado/descarbonatado como a cal. A extração é realizada por maquinário que utilizam combustível como energia, e o beneficiamento, que é o processo de secagem e britagem do mineral, utiliza como fonte energética a energia elétrica. A energia incorporada devido a perdas é de 5 a 146 MJ/m².

Entende-se que a captura de CO₂ que ocorre durante o ciclo de vida da edificação através da carbonatação, auxilia na redução das emissões do processo de produção e aplicação das argamassas de revestimento. Porém, o CO₂ capturado se refere as emissões inerentes ao processo de produção dos materiais, sendo que, emissões referentes ao aquecimento dos fornos, transporte de materiais e consumo de energia elétrica, não são absorvidas.

Assim, para uma redução geral das emissões de CO₂ é necessário o uso de traços com consumos racionais¹⁰ principalmente de cimento e cal, que atendam os requisitos de aderência a qual o revestimento é solicitado, utilizando menores espessuras conforme preconizado em norma. Adicionalmente, o uso de materiais produzidos mais próximos das obras também pode ser uma estratégia de redução das emissões de CO₂ porém de menor impacto que a quantidade de cal e cimento empregados.

3.6 REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO

ABDI. **Subsídios para a elaboração de uma estratégia industrial brasileira para a economia de baixo carbono.**: Caderno 3:Nota Técnica Cimento. São Paulo: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industria, 2012.

ALBUQUERQUE, H. R.; LIRA, J.; SPOSTO, R. M. **Emissões de CO₂ de sistemas de revestimento de argamassa: estudo de caso de aplicação de argamassa projetada comparativamente à aplicação convencional.** Ambiente Construído, v. 18, n. 4, p. 377–393, out. 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212018000400377&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 5 out. 2021.

ANDERSSON, R. et al. **Calculating CO₂ Uptake for Existing Concrete Structures during and after Service Life.** Environmental Science & Technology, v. 47, n. 20, p. 11625–11633, 15 out. 2013. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es401775w>>. Acesso em: 30 jan. 2022.

ANTONIO, I. D. O. **AVALIAÇÃO DA CAPTURA DE CO₂ DEVIDO À CARBONATAÇÃO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO PRODUZIDAS COM RCD.** 2018. Universidade Federal da Integração Latino-Americana Instituto de Tecnologia, Infraestrutura e Território

¹⁰ Método de dosagem que considera em geral as características dos materiais empregados nos traços das argamassas, e as propriedades no estado fresco e endurecido necessárias as adequadas condições de uso e aplicação das argamassas de revestimento (SANTOS et al., 2018).

Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura, Foz do Iguaçu, PR, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14044: Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida - requisitos e orientações**. Rio de Janeiro (RJ): ABNT, 2009a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528-1: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2019.

BARBOSA, M. C. **EFEITO DA PROTEÇÃO SUPERFICIAL (PINTURA) NA DIFUSÃO E CAPTURA DE CO₂ EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**. 2021. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Medianeira/PR, 2021.

BEN. **Balanco Energético Nacional 2020: Ano base 2019**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética -EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf>.

CALDAS, L. R.; TOLEDO FILHO, R. **Avaliação do Ciclo de Vida de materiais cimentícios utilizados no Brasil: estudo para argamassas, graute e bloco de concreto**. v. 2, n. 2, p. 34–61, 2018.

CAMPOS, É. F. de. **Emissão de CO₂ da madeira serrada da Amazônia: o caso da exploração convencional**. 2012. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-12062013-170523/>>. Acesso em: 21 set. 2021.

CARASEK, H. **Argamassas**. Em: *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. IBRACON. Capítulo 28. [s.l.] Geraldo Cechella Isaia, 2010.

CARASEK, H. et al. **Avaliação em obra da resistência superficial de revestimentos de argamassa**. *Revista ALCONPAT*, v. 1, n. 2, p. 115–134, 30 maio 2011. Disponível em: <<https://revistaalconpat.org/index.php/RA/article/view/10>>. Acesso em: 12 out. 2021.

CETESB. **Emissões do Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos**. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2013.

COSTA, M. do R. de M. M. da; PACHECO, A. P. G. **Avaliação do potencial de carbonatação de cales hidratadas em pasta**. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 23, n. 1, 5 mar. 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762018000100405&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 30 jan. 2022.

CUNHA, I. B. D. **QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ NA CONSTRUÇÃO DE UNIDADES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES COM DIFERENTES MATERIAIS**. 2016. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUC, Porto Alegre, RS, 2016.

DE FARIA, F. S.; REALES, O. A. M.; FILHO, R. D. T. **REDUÇÃO POTENCIAL DO IMPACTO AMBIENTAL DE ARGAMASSAS ATRAVÉS DO USO DE CCA E MUDANÇA DO MÉTODO PRODUTIVO**. p. 11, 2019.

DESPOTOU, E. et al. **Literature Study on the Rate and Mechanism of Carbonation of Lime in Mortars** v. 20, n. 2, p. 124–137, abr. 2016. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/dama.201500674>>. Acesso em: 30 jan. 2022.

GAMA JUNIOR, A. C. D. A. **DIRETRIZES COM BASE EM AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA PARA REDUÇÃO DE EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO EM REVESTIMENTO DE ARGAMASSA**. 2013. Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil (EEC), Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil – Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Goiânia, GO, 2013.

HUR, T. et al. **Simplified LCA and Matrix Methods in Identifying the Environmental Aspects of a Product System**. Journal of Environmental Management, v. 75, n. 3, p. 229–237, maio 2005. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479705000162>>. Acesso em: 4 out. 2021.

IOPPI, P. R. **Estudo de Aderência de Argamassa de Revestimento em Substratos de Concreto**. 1995. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1995.

JOHANNESSON, B.; UTGENANNT, P. **Microstructural Changes Caused by Carbonation of Cement Mortar**. Cement and Concrete Research, v. 31, n. 6, p. 925–931, maio 2001. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0008884601004987>>. Acesso em: 30 jan. 2022.

JOHN, V. M. et al. **POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DE CO₂ DE MATERIAIS CIMENTÍCIOS NA FASE DE USO**. Em: ENTAC. Foz do Iguaçu / PR, 2018.

JOHN, V. M.; PUNHAGUI, K. R.; CINCOTTO, M. A. **ECONOMIA DE BAIXO CARBONO: AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DE RESTRIÇÕES E PERSPECTIVAS TECNOLÓGICAS: PRODUÇÃO DE CAL**. [s.l: s.n.].

MAZURANA, L. **CAPTURE DE CO₂ EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO ATRAVÉS DA CARBONATAÇÃO NATURAL**. 2019. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Medianeira/PR, 2019.

MCTI, 2010. **Emissões de Dióxido de Carbono por Queima de Combustíveis: Abordagem Top-Down**. p. 85, 2010. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/proclima/2010/05/13/emissoes-de-dioxido-de-carbono-por-queima-de-combustiveis-abordagem-top-down/>>.

MCTIC. **Clima**. Disponível em: <https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html>. Acesso em: 19 ago. 2021.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: microstructure, properties, and materials**. 3rd ed. [fully rev. and updated] ed. New York: McGraw-Hill, 2006.

MME. **Relatório Técnico 47: Perfil do talco, pirofilita e agalmatolito**. [s.l.] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA: SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL-SGM, 2009.

MÜLLER, N.; HARNISCH, J. **A blueprint for a climate friendly cement industry**, 2008. Disponível em: <www.panda.org/climatesavers>.

PADE, C.; GUIMARAES, M. **The CO₂ Uptake of Concrete in a 100 Year Perspective**. *Cement and Concrete Research*, v. 37, n. 9, p. 1348–1356, set. 2007. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0008884607001317>>. Acesso em: 24 jan. 2022.

PEDRY, G. R. **AVALIAÇÃO DO EFEITO DA PROTEÇÃO SUPERFICIAL (PINTURA) NA CAPTURA DE CO₂ DEVIDO À CARBONATAÇÃO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**. 2020. Universidade Federal da Integração Latino-Americana Instituto de Tecnologia, Infraestrutura e Território Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura, Foz do Iguaçu, PR, 2020.

POSSAN. CONCRETO & Construções. **Captura de CO₂ em materiais cimentícios**, n. Ed.95, p. 72 a 78, 2019. Disponível em: <http://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/pdfs/revista95.pdf>.

QUATTRONE, M.; ANGULO, S. C.; JOHN, V. M. **Energy and CO₂ from High Performance Recycled Aggregate Production**. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 90, p. 21–33, set. 2014. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344914001323>>. Acesso em: 13 dez. 2021.

SALOMÃO, M. C. de F.; BAUER, E.; KAZMIERCZAK, C. de S. **Drying Parameters of Rendering Mortars**. *Ambiente Construído*, v. 18, n. 2, p. 7–19, abr. 2018.

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*, v. 16, n. 2, p. 35–49, jun. 2016.

SANTOS, W. J. dos et al. **Proposta de método de dosagem para argamassas de revestimento com areia artificial de britagem**. *Ambiente Construído*, v. 18, n. 1, p. 225–243, mar. 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212018000100225&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 14 set. 2021.

SCRIVENER, K. L. **Options for the Future of Cement**. p. 11, 2014.

SCRIVENER, K. L.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. M. **Eco-Efficient Cements: Potential Economically Viable Solutions for a Low-CO₂ Cement-Based Materials Industry**. *Cement and Concrete Research*, v. 114, p. 2–26, dez. 2018. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0008884618301480>>. Acesso em: 19 out. 2021.

SILVA, B. V. da. **Construção de ferramenta para avaliação do ciclo de vida de edificações**. 2013. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-15052013-103100/>>. Acesso em: 21 ago. 2021.

SILVA, J. O. da. **CONTRATO Nº 48000.003155/2007-17: DESENVOLVIMENTO DE ESTUDOS PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DUODECENAL (2010 - 2030) DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**, 2009.

SNIC. **ROADMAP TECNOLÓGICO DO CIMENTO: Potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050 / coordenado por Gonzalo Visedo e Marcelo Pecchio**. Rio de Janeiro, 2019.

SOUZA, M. P. R. **Avaliação das emissões de CO₂ antrópicas associadas ao processo de produção do concreto, durante a construção de um edifício comercial, na Região Metropolitana de São Paulo**. 2012. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2012.

STACHERA JR, T. **AVALIAÇÃO DE EMISSÕES DE CO₂ NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO DE CASO DA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NO PARANÁ**. p. 14, 2008.

STATISTA. **Major countries in worldwide cement production 2015-2019 / Published by M. Garside.**, 23 mar. 2020. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/267364/world-cement-production-by-country/>>.

TODD, J. A.; CURRAN, M. A. **STREAMLINED LIFE CYCLE ASSESSMENT: A FINAL REPORT FROM THE SETAC-NORTH AMERICA STREAMLINED LCA WORKGROUP** Society of Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC Press, Pensacola, FL, 1999. Disponível em: <<https://www.yumpu.com/en/document/read/13043874/streamlined-life-cycle-assessment-a-final-report-from-the-setac->>. Acesso em: 4 out. 2021.

WBCDS. **GNR Project Reporting CO₂**. Disponível em: <<https://gccassociation.org/gnr/>>. Acesso em: 18 ago. 2021.

WBCSD. **Recommendations on Biomass Carbon Neutrality**, 2015.

WEG. **Motor 2 cv 2P F56H 1F 110-127/220-254 V 60 Hz IC01 - ODP - Com pés | Motor de Chapa Aberto (IP21) | Uso Geral | Monofásico | Motores Elétricos | WEG - Produtos**. Disponível em: <<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-EI%C3%A9tricos/Monof%C3%A1sico/Uso-Geral/Motor-de-Chapa-Aberto-%28IP21%29/Motor-2-cv-2P-F56H-1F-110-127-220-254-V-60-Hz-IC01---ODP---Com-p%C3%A9s/p/14426841>>. Acesso em: 13 dez. 2021.

XI, F. et al. **Substantial Global Carbon Uptake by Cement Carbonation**. Nature Geoscience, v. 9, n. 12, p. 880–883, dez. 2016. Disponível em: <<http://www.nature.com/articles/ngeo2840>>. Acesso em: 30 jan. 2022.

4 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O TEMA

As argamassas de revestimento são potenciais fontes de emissões de CO₂, visto que o processo de produção dos materiais para sua composição, entre eles o cimento e a cal, são responsáveis por maiores emissões de CO₂ devido a descarbonatação da rocha calcária e o aquecimento dos fornos para produção. Alternativas para a mitigação das emissões nos processos industriais já são empregadas no Brasil, entre elas o melhoramento energético, o uso de combustíveis alternativos e a redução do teor de clínquer no cimento por adições (SNIC, 2019). A capacidade de mitigação das emissões de CO₂ na fase de uso dos materiais ainda é pouco explorada em pesquisas ou por mecanismos públicos (MÜLLER; HARNISCH, 2008; SCRIVENER, 2014).

Nos estudos de Müller e Harnisch (2008) e Scrivener (2014), a implantação de políticas de incentivo visando melhores práticas para o uso de materiais a base de cimento, através da capacitação da mão de obra e disseminação do conhecimento sobre processos e produtos, é apresentado como estratégia para diminuição das emissões de CO₂. Além disso, a definição em projeto da função a que será empregado o material, educação e conscientização dos usuários, treinamento e aprimoramento das técnicas junto a mão de obra, são meios de obtenção de um maior controle tecnológico e menor impacto ambiental (MÜLLER; HARNISCH, 2008).

Alternativas implementadas em grandes cidades, evidenciam como política pública a erradicação da disponibilidade do cimento ensacado no mercado (CEMNET, 2007; XNA, 2007). No Brasil, segundo dados de 2016, a utilização de cimento ensacado chega a 70% comparado com cimentos vendidos a granel (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018). Quando produzido em larga escala as formulações visam à seleção adequada de materiais, melhor desempenho, minimização e custos e um consumo reduzido de cimento (JOHN et al., 2018).

O melhoramento do método produtivo dos revestimentos argamassados através da industrialização, substituindo o método de produção realizado em obra por argamassas ensacadas ou estabilizadas, também é considerado como estratégia de mitigação das emissões de CO₂ (DE FARIA; REALES; FILHO, 2019). Assim como, a modificação do método de aplicação dos revestimentos em obra, substituindo a forma manual para mecanizada projetada (GAMA JUNIOR, 2013), pode auxiliar na redução de 50% das emissões de CO₂ conforme estudo de (ALBUQUERQUE; LIRA; SPOSTO, 2018).

A realidade encontrada cidade de Foz do Iguaçu, no contexto de execução

das argamassas de revestimento é a produção de forma convencional em obra, e aplicada através do método manual. Esta é caracterizada pela dependência da mão de obra, além da alta variabilidade e baixo ou nulo controle tecnológico dos processos. Desta maneira, entendeu-se que a implementação de estratégias no uso eficiente dos materiais para minimizar impactos das emissões de CO₂ é importante.

Mesmo com a existência de alternativas na literatura que apresentam estratégias eficientes para o uso eficiente dos materiais, a realidade em obra é diferente. Isso porque, existem algumas dificuldades a serem superadas, principalmente no que se refere ao que é empregado de forma usual diariamente pela mão de obra. Como a execução das obras depende desta, é importante começar com pequenas modificações e sugestões de melhoramento dos processos, para que a longo prazo estas possam se tornar mudanças efetivas.

Assim, nesse capítulo, buscou-se apresentar as dificuldades encontradas no âmbito das obras estudadas, e através destas, apresentar mudanças simples e efetivas que podem ser realizadas para minimizar as emissões de CO₂ das argamassas de revestimento de Foz do Iguaçu.

4.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS NAS OBRAS ESTUDADAS PARA O USO EFICIENTE DE MATERIAIS

Durante o processo de coleta de dados e acompanhamento dos processos realizados em obra para a produção das argamassas mistas de revestimento, foram identificadas dificuldades que impactam no uso eficiente dos materiais. Além desse olhar, para complementação das considerações, a experiência em obra da autora também foi considerada.

Tais problemas geram maiores consumos de materiais devido ao desconhecimento das propriedades necessárias para os revestimentos e perdas incorporadas devido a sobrespessuras nos revestimentos, corroborando para maiores emissões de CO₂ e aumentam a probabilidade de futuras manifestações patológicas, que são potenciais custos adicionais no orçamento da obra.

4.1.1 Projeto de Revestimentos

Os projetos de revestimentos estabelecem premissas e diretrizes para a execução dos revestimentos, especificando os materiais adequados para cada tipo de aplicação e suas propriedades (ABCP, 2002; CEOTTO; BANDUK; NAKAKURA, 2005). Raramente existe projeto de revestimentos ou especificações técnicas para realização dos trabalhos de revestimento em obra, permitindo que sejam empregados traços e consumos desconhecidos muitas vezes até pela mão de obra¹¹, como verificado nas obras estudadas.

O controle da espessura dos revestimentos aplicados também não é conhecido, uma vez que são muitas vezes desconhecidas ou não realizadas a determinação de espessuras mínimas e máximas, para áreas internas ou externas na edificação. Assim, o rendimento das argamassas é menor, devido da variação do emprego das espessuras para revestir o metro quadrado de parede.

4.1.2 Legislações e Fiscalização

A existência de legislações ou fiscalização dos processos em obra referentes as argamassas são raras ou nulas, no sentido do uso dos materiais, como exigências de projeto ou especificações técnicas dos revestimentos empregados nas obras, ou controle de qualidade dos revestimentos empregados.

4.1.3 Controle de Qualidade

O controle de qualidade tem por finalidade determinar as características físicas e mecânicas dos revestimentos argamassados, identificando se estes atendem os parâmetros estabelecidos nas normas, para oferecer desempenho e durabilidade adequado ao sistema empregado na edificação. As principais propriedades determinadas através do controle de qualidade são a consistência, resistência de aderência a tração, compressão e tração diametral, retenção e absorção de água, entre outras. Tal controle de qualidade é realizado raramente ou nunca nas obras estudadas de Foz do Iguaçu, assim, as propriedades dos revestimentos tornam-se desconhecidas.

¹¹ Mão de obra: considerada todo ou qualquer funcionário vinculado ao processo, passando pelo engenheiro(a) responsável pela execução em obra, mestre e obras, e colaboradores responsáveis pela execução.

4.1.4 Dependência da Mão de Obra

A dependência na experiência da mão de obra responsável para produção e aplicação das argamassas de revestimento em obra, permite o emprego de técnicas desconhecidas, baseada na realidade empírica, quase sentimental, do funcionário, pois este não possui critérios técnicos para a realização do trabalho.

Tal ação corrobora para um acompanhamento técnico falho ou nulo, visto que não existem prerrogativas a serem seguidas, portando não existem exigências técnicas pelos responsáveis. Em algumas obras, como nas de baixo padrão deste estudo, não se encontravam os responsáveis técnicos para acompanhamento em obra, atividade realizada apenas pelo mestre de obras.

4.1.5 Controle dos Processos

O controle dos processos em obra, realizado através de determinações previamente feitas via projeto e especificações técnicas, valida e fiscaliza todos os processos programados para a produção de um revestimento de boa qualidade, atendendo os requisitos a qual foi produzido. Sem ferramentas de controle dos processos em obra, estes são executados conforme a mão de obra responsável pela produção e aplicação determina. Assim, não existe uma linha de produção com premissas para os materiais empregados, com padronização das práticas executadas ou controle de qualidade na fase de produção e execução.

4.1.6 Deficiência na Orientação da Mão de Obra

Não existe em obra o incentivo à capacitação da mão de obra responsável pela execução das argamassas de revestimento. Usualmente, verifica-se a falta de domínio nas dosagens empregadas, sendo esta realizada na experiência empírica do funcionário.

4.1.7 Resistência no Uso de Argamassas Alternativas

A resistência ao uso de argamassas industrializadas é comum em obras de menor porte, devido ao custo e ao desconhecimento das vantagens de seu uso. E ainda,

devido a dependência da aprovação da mão de obra para a execução dos serviços.

4.2 AÇÕES SIMPLES EM OBRA PARA O USO EFICIENTE DE MATERIAIS

Através do estudo apresentado, pode-se identificar ações ou modificações nas ações realizadas atualmente nas obras da cidade de Foz do Iguaçu, conforme apresentado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Ações para o uso eficiente de materiais em obra

Problemas	Ações	Efeitos	Benefícios
Variabilidade dos traços	Determinação de traço padrão em sacos de cimento, cal e volume de areia	Uso efetivo dos materiais e diminuição de consumo desnecessário de materiais	<p>Melhoramento das propriedades dos revestimentos</p> <p>Maior controle tecnológico dos processos</p> <p>Mitigação de emissões de CO₂</p>
Ajustes realizados nos traços	Determinação da ordem de mistura	Maior controle da inserção de água na mistura e menores modificações nos traços	
Ajustes realizados nos traços	Orientação da mão de obra (ex: quando a massa se apresentar líquida, inserir areia)	Menor inserção de materiais (cimento e cal) com maiores potenciais de emissões	
Consumo desnecessário de energia elétrica	Determinação do tempo de mistura	Economia de energia	
Perdas incorporadas devido a sobrespessuras	Determinação das espessuras dos revestimentos para aplicação de áreas internas e externas	Menor consumo de materiais para revestimento do m ² de parede	

4.3 REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO

ABCP. **Manual de Revestimentos de Argamassa**. [s.l.] Associação Brasileira de Cimento Portland, 2002.

ALBUQUERQUE, H. R.; LIRA, J.; SPOSTO, R. M. Emissões de CO₂ de sistemas de revestimento de argamassa: estudo de caso de aplicação de argamassa projetada comparativamente à aplicação convencional. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 4, p. 377–393, out. 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212018000400377&lng=pt&lng=pt>. Acesso em: 5 out. 2021.

CEMNET. **China to phase out cement mixers in major cities to improve energy efficiency**. Disponível em: <<https://www.cemnet.com/News/story/138507/china-to-phase-out-cement-mixers-in-major-cities-to-improve-energy-efficiency.html>>. Acesso em: 15 mar. 2020.

CEOTTO, L. H.; BANDUK, R. C.; NAKAKURA, E. H. **Revestimentos de Argamassas: boas práticas em projeto, execução e avaliação** Elza Hissae Nakakura, 2005.

DE FARIA, F. S.; REALES, O. A. M.; FILHO, R. D. T. REDUÇÃO POTENCIAL DO IMPACTO AMBIENTAL DE ARGAMASSAS ATRAVÉS DO USO DE CCA E MUDANÇA DO MÉTODO PRODUTIVO. Em: Encontro de Ciências e Tecnologia de Materiais., Anais... Em: ANAIS DO XXII ENMC. 2019.

GAMA JUNIOR, A. C. D. A. **DIRETRIZES COM BASE EM AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA PARA REDUÇÃO DE EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO EM REVESTIMENTO DE ARGAMASSA**. 2013. Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil (EEC), Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil – Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Goiânia, GO, 2013.

JOHN, V. M. et al. **POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DE CO₂ DE MATERIAIS CIMENTÍCIOS NA FASE DE USO**. Em: ENTAC. Foz do Iguaçu / PR, 2018.

MÜLLER, N.; HARNISCH, J. **A blueprint for a climate friendly cement industry**, 2008. Disponível em: <www.panda.org/climatesavers>.

SCRIVENER, K. L. **Options for the Future of Cement**. p. 11, 2014.

SCRIVENER, K. L.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. M. **Eco-Efficient Cements: Potential Economically Viable Solutions for a Low-CO₂ Cement-Based Materials Industry**. Cement and Concrete Research, v. 114, p. 2–26, dez. 2018.

SNIC. **ROADMAP tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050** Coordenado por Gonzalo Visado e Marcelo Pecchio., 2019.

XNA. **Cement Mixing Banned in Cities** -- china.org.cn. Disponível em: <http://www.china.org.cn/archive/2007-08/02/content_1219551.htm>. Acesso em: 15 mar. 2020.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As argamassas mistas de cal produzidas e aplicadas nas obras de Foz do Iguaçu-Pr emitem entre 3 e 29 kgCO₂/m² de revestimento e apresentam energia incorporada entre 12 a 171 MJ/m². Já as argamassas com o uso de filito na composição dos traços emitem entre 2 e 7 kgCO₂/m² e apresentam energia incorporada de 8 a 40 MJ/m². Os maiores valores estão condicionados à intensidade no uso dos materiais nos traços estudados, principalmente do cimento e da cal, como também devido a espessura dos revestimentos aplicados. Devido a dependência na mão de obra no processo de produção e aplicação dos revestimentos, e ainda devido a tecnologia construtiva que exige maiores espessuras para realizar o nivelamento das superfícies, verifica-se que o melhoramento do uso dos materiais são um potencial de mitigação nas emissões de CO₂.

Entende-se que o uso de materiais alternativos como o filito nas argamassas de revestimento em substituição a cal, gera argamassas com menores emissões de CO₂. Isso porque para a produção do filito não é necessária a calcinação/descarbonatado da rocha como a cal, uma vez que esta é apenas extraída e beneficiada (seca e britada). Cabe ressaltar que o filito é um material inerte e sua incorporação não contribui com reações pozolânicas como a cal. Identificou-se ainda, que o maior consumo de cimento e cal nos traços, não necessariamente produziu revestimentos resistência e aderência a tração.

Apesar das limitações existentes no processo de produção das argamassas mistas de revestimento das obras na cidade de Foz do Iguaçu-PR, é necessário que sejam empregadas ações para o melhoramento dos processos em obra, como estratégias para a mitigação das emissões de CO₂. As sugestões apresentadas no trabalho apontam: a necessidade de determinação de traço padrão em sacos de cimento, cal e volume de areia (unidades de medidas empregadas em obra); determinação da ordem de mistura para melhor controle do processo; determinação do tempo de mistura; determinação das espessuras dos revestimentos para aplicação de áreas internas e externas da edificação; e principalmente a orientação da mão de obra quanto a produção e aplicação das argamassas mistas de revestimento.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Determinação dos impactos ambientais relacionados ao sistema de produto estudado.

Expandir a fronteira do sistema de produto para etapas que englobem o ciclo de vida por completo dos revestimentos.

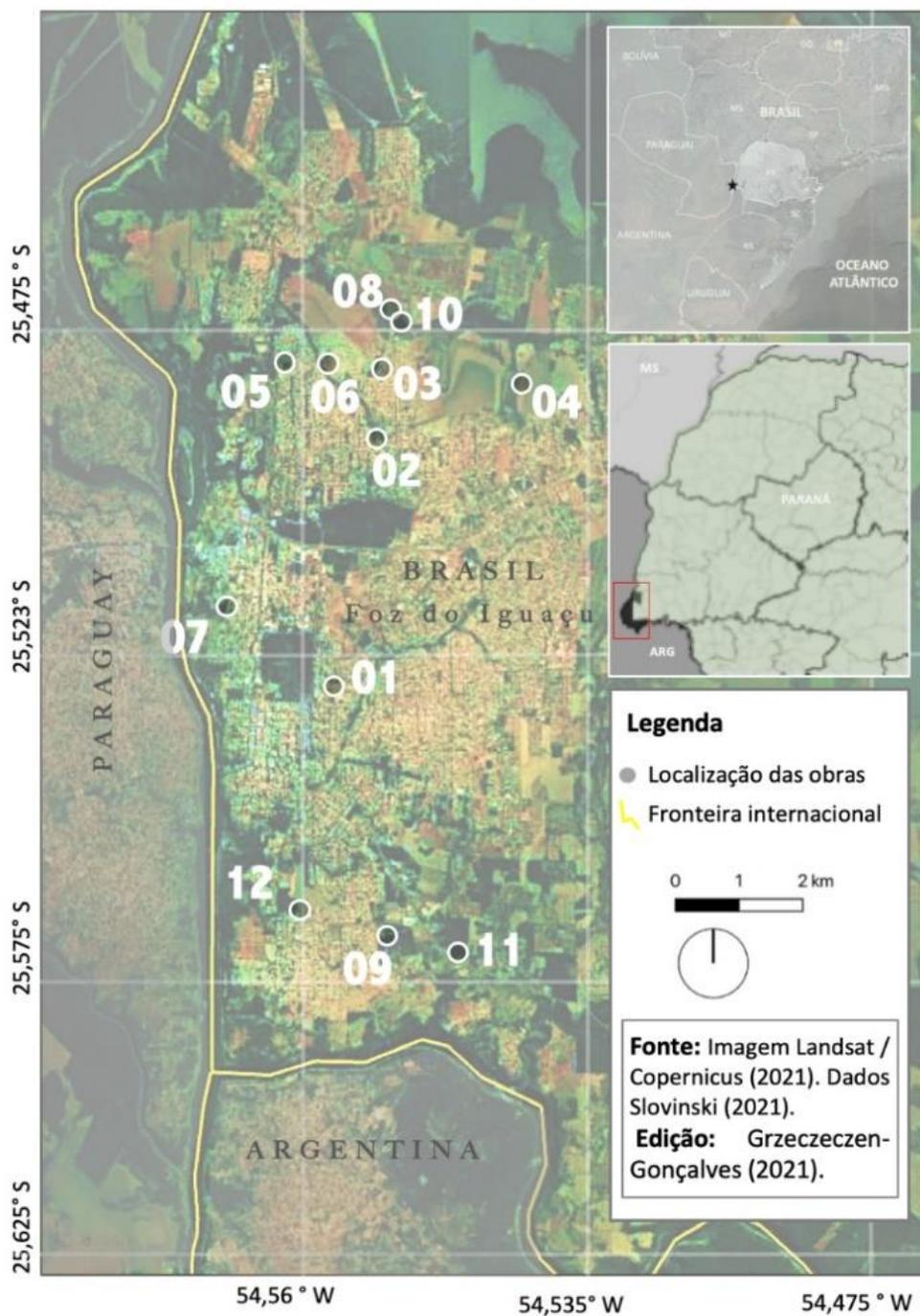
Determinar as propriedades e emissões de CO₂ das argamassas de reaproveitamento do sarrafeamento da aplicação do revestimento.

Realização do balanço de CO₂ das argamassas de revestimento.

APÊNDICES

Apêndice A

Mapeamento das obras estudadas em Foz do Iguaçu



Apêndice B

Formulário de coleta de dados

FORMULÁRIO DE COLETA DADOS ARGAMASSA	
Identificação:	
Localização da Obra:	
Data:	
Temperatura Ambiente:	Umidade Relat. do Ar:
Tempo:	
SOBRE A OBRA	
Tipo de obra:	
Ocupação:	Nº Quartos:
Porte da Obra:	m ²
Responsável:	
MATERIAIS	
CIMENTO	CAL
Armazenamento:	Armazenamento:
Tipo:	Tipo
Marca:	Marca:
Lote:	Lote:
Fornecedor:	Fornecedor:
AREIA	ÁGUA
Armazenamento:	Acesso: (mang., bombona, etc)
Tipo:	
Fornecedor:	Fonte:
INCORPORADOR DE AR	
Tipo:	
Marca:	
Fornecedor:	
CHAPISCO	
Traço Teórico	
Coletado com:	

ARGAMASSA
Traço Teórico:
Coletado com:

Ordem Teórica Mistura: ÁGUA CIMENTO AREIA CAL INCORPORADOR DE AR

Como é feita a mistura?

Betoneira Manual Outros

É realizado algum ajuste em obra no traço?

SIM NÃO

Muito seco:

CIMENTO AREIA ÁGUA INCORP.

CIMENTO AREIA ÁGUA INCORP.

Muito mole:

CIMENTO AREIA ÁGUA INCORP.

CIMENTO AREIA ÁGUA INCORP.

Quem produz argamassa na obra?

Servente 1/2 Oficial Pedreiro

Tipo de aplicação:

Emboço/Reboco Massa Única

E feita molhagem da argamassa aplicada?

Sim Não

Porque não utilizam argamassas industrializada/ensacada?

Preço Viabilidade Preferencia Outros

--

Apêndice C

Indicadores de emissões de CO₂, energia e água em m² de argamassa

A1-A3 Fabricação		OBRA Nº01	OBRA Nº02	OBRA Nº03	OBRA Nº04	OBRA Nº05	OBRA Nº06	OBRA Nº07	OBRA Nº08	OBRA Nº09	OBRA Nº10	OBRA Nº11	OBRA Nº12
Emissão de CO ₂ (kg/m ²)	min	7,14	13,96	4,97	6,12	2,10	5,06	9,10	2,92	3,98	2,73	5,15	3,10
	max	13,93	27,56	8,84	10,88	2,96	9,46	17,70	4,81	5,57	6,18	9,17	5,48
Energia (MJ/m ²)	min	32,64	65,93	20,37	25,06	7,27	22,56	41,44	10,92	13,92	14,48	21,14	12,61
	max	75,67	156,17	45,30	55,76	13,13	52,27	96,25	23,13	24,93	33,54	46,97	28,12
A4-Transporte		OBRA Nº01	OBRA Nº02	OBRA Nº03	OBRA Nº04	OBRA Nº05	OBRA Nº06	OBRA Nº07	OBRA Nº08	OBRA Nº09	OBRA Nº10	OBRA Nº11	OBRA Nº12
Emissão de CO ₂ (kg/m ²)	min	0,36	0,29	0,26	0,32	0,05	0,07	0,40	0,05	0,30	0,05	0,09	0,14
	max	1,31	1,05	0,97	1,18	0,19	0,27	1,46	0,19	1,09	0,20	0,33	0,52
Energia (MJ/m ²)	min	4,90	3,90	3,60	4,39	0,72	0,99	5,44	0,72	4,06	0,74	1,23	1,93
	max	17,95	14,28	13,20	16,11	2,65	3,64	19,96	2,64	14,89	2,72	4,50	7,08
A5-Construção		OBRA Nº01	OBRA Nº02	OBRA Nº03	OBRA Nº04	OBRA Nº05	OBRA Nº06	OBRA Nº07	OBRA Nº08	OBRA Nº09	OBRA Nº10	OBRA Nº11	OBRA Nº12
Emissão de CO ₂ (kg/m ²)	min	0,0013	0,0023	0,0013	0,0010	0,0007	0,0014	0,0026	0,0013	0,0023	0,0007	0,0019	0,0008
	max	0,0013	0,0023	0,0013	0,0010	0,0007	0,0014	0,0026	0,0013	0,0023	0,0007	0,0019	0,0008
Energia (MJ/m ²)	min	0,055	0,101	0,058	0,043	0,029	0,061	0,114	0,058	0,102	0,033	0,084	0,033
	max	0,055	0,101	0,058	0,043	0,029	0,061	0,114	0,058	0,102	0,033	0,084	0,033
Água (litros/m ²)	min	7,74	7,78	5,51	7,95	4,19	5,21	8,40	4,31	7,26	4,08	7,05	3,48
	max	7,74	7,78	5,51	7,95	4,19	5,21	8,40	4,31	7,26	4,08	7,05	3,48
Total (A1-A5)		OBRA Nº01	OBRA Nº02	OBRA Nº03	OBRA Nº04	OBRA Nº05	OBRA Nº06	OBRA Nº07	OBRA Nº08	OBRA Nº09	OBRA Nº10	OBRA Nº11	OBRA Nº12
Emissão de CO ₂ (kg/m ²)	min	7,50	14,24	5,23	6,44	2,15	5,13	9,50	2,98	4,28	2,79	5,24	3,24
	max	15,24	28,61	9,81	12,06	3,16	9,72	19,16	5,00	6,67	6,38	9,50	6,00
Energia (MJ/m ²)	min	37,59	69,92	24,02	29,50	8,03	23,61	47,00	11,70	18,08	15,26	22,45	14,58
	max	93,68	170,56	58,56	71,91	15,81	55,97	116,32	25,82	39,93	36,29	51,56	35,23
Água (litros/m ²)	min	7,74	7,78	5,51	7,95	4,19	5,21	8,40	4,31	7,26	4,08	7,05	3,48
	max	7,74	7,78	5,51	7,95	4,19	5,21	8,40	4,31	7,26	4,08	7,05	3,48

Apêndice D

Indicadores de emissões de CO₂ e energia incorporada em m³ de argamassa

A1-A3 Fabricação		OBRA Nº01	OBRA Nº02	OBRA Nº03	OBRA Nº04	OBRA Nº05	OBRA Nº06	OBRA Nº07	OBRA Nº08	OBRA Nº09	OBRA Nº10	OBRA Nº11	OBRA Nº12
Emissão de CO ₂ (kg/m ³)	min	285,44	396,24	266,22	272,56	175,05	295,72	343,95	215,62	196,72	235,15	260,18	316,54
	max	557,14	782,60	473,42	484,54	246,98	552,70	669,28	354,70	275,63	532,03	463,47	560,47
Energia (MJ/m ³)	min	1305,53	1871,79	1091,07	1116,61	606,04	1318,40	1567,06	805,53	688,21	1247,21	1068,64	1290,17
	max	3026,75	4433,94	2426,99	2484,18	1093,91	3054,80	3639,69	1706,20	1232,88	2888,84	2374,97	2876,27
A4-Transporte		OBRA Nº01	OBRA Nº02	OBRA Nº03	OBRA Nº04	OBRA Nº05	OBRA Nº06	OBRA Nº07	OBRA Nº08	OBRA Nº09	OBRA Nº10	OBRA Nº11	OBRA Nº12
Emissão de CO ₂ (kg/m ³)	min	14,34	8,10	14,12	14,34	4,42	4,24	15,08	3,89	14,71	4,67	4,55	14,46
	max	52,59	29,70	51,79	52,58	16,20	15,56	55,28	14,25	53,94	17,14	16,67	53,01
Energia (MJ/m ³)	min	195,84	110,59	192,86	195,79	60,32	57,94	205,86	53,06	200,86	63,81	62,06	197,39
	max	718,08	405,49	707,15	717,88	221,16	212,46	754,80	194,54	736,48	233,96	227,56	723,76
A5-Construção		OBRA Nº01	OBRA Nº02	OBRA Nº03	OBRA Nº04	OBRA Nº05	OBRA Nº06	OBRA Nº07	OBRA Nº08	OBRA Nº09	OBRA Nº10	OBRA Nº11	OBRA Nº12
Emissão de CO ₂ (kg/m ³)	min	0,05	0,06	0,07	0,04	0,05	0,08	0,10	0,10	0,11	0,06	0,10	0,08
	max	0,05	0,06	0,07	0,04	0,05	0,08	0,10	0,10	0,11	0,06	0,10	0,08
Energia (MJ/m ³)	min	2,22	2,86	3,09	1,92	2,42	3,59	4,30	4,30	5,03	2,84	4,27	3,39
	max	2,22	2,86	3,09	1,92	2,42	3,59	4,30	4,30	5,03	2,84	4,27	3,39
Total (A1-A5)		OBRA Nº01	OBRA Nº02	OBRA Nº03	OBRA Nº04	OBRA Nº05	OBRA Nº06	OBRA Nº07	OBRA Nº08	OBRA Nº09	OBRA Nº10	OBRA Nº11	OBRA Nº12
Emissão de CO ₂ (kg/m ³)	min	299,83	404,41	280,42	286,94	179,52	300,04	359,13	219,61	211,55	239,89	264,82	331,07
	max	609,78	812,36	525,28	537,16	263,24	568,34	724,66	369,05	329,68	549,23	480,23	613,56
Energia (MJ/m ³)	min	1503,59	1985,24	1287,02	1314,31	668,77	1379,94	1777,21	862,89	894,11	1313,85	1134,97	1490,95
	max	3747,05	4842,28	3137,22	3203,98	1317,48	3270,85	4398,79	1905,04	1974,40	3125,64	2606,80	3603,42

Apêndice E

Indicador de água

Em algumas obras a inserção da água na mistura é realizada diretamente da mangueira, sem controle quantitativo em massa ou litros, dependendo exclusivamente do olhar do funcionário responsável pela produção. Para o estudo, a mensuração da água empregada no traço foi determinada em baldes, com massa conhecida, através de uma balança de pesagem. Quando a quantidade de água pesada não foi utilizada por completa pelo operador na produção na mistura, esta foi repesada e descontada do traço.

O consumo de água de lavagem da betoneira foi determinado através de três coletas *in loco* ao final da execução dos serviços do dia, com baldes de volume conhecido, sendo considerada a média entre as quantidades utilizadas

A5-Construção	OBRA Nº01	OBRA Nº02	OBRA Nº03	OBRA Nº04	OBRA Nº05	OBRA Nº06	OBRA Nº07	OBRA Nº08	OBRA Nº09	OBRA Nº10	OBRA Nº11	OBRA Nº12
Água de amassamento (litros/m ²)	7,36	7,21	4,88	6,76	3,66	4,31	6,66	3,90	5,88	3,60	5,68	2,99
Água de limpeza da betoneira (litros/m ²)	0,37	0,57	0,63	1,19	0,54	0,90	1,74	0,97	1,23	0,54	1,35	0,51
A5-Construção	OBRA Nº01	OBRA Nº02	OBRA Nº03	OBRA Nº04	OBRA Nº05	OBRA Nº06	OBRA Nº07	OBRA Nº08	OBRA Nº09	OBRA Nº10	OBRA Nº11	OBRA Nº12
Água de amassamento (litros/m ³)	294,52	204,64	261,64	301,40	304,80	251,90	251,88	287,48	290,63	310,09	287,41	305,43
Água de limpeza da betoneira (litros/m ³)	14,89	16,20	33,74	53,01	44,78	52,57	65,95	71,46	60,88	46,30	68,29	52,60