NAIRA ERY ASANO

**TECNOLOGIA CONSTRUTIVA DE REVESTIMENTO EXTERNO DE ARGAMASSA
COM PROJEÇÃO CONTÍNUA**

São Paulo

2016

NAIRA ERY ASANO

**TECNOLOGIA CONSTRUTIVA DE REVESTIMENTO EXTERNO DE ARGAMASSA
COM PROJEÇÃO CONTÍNUA**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia

São Paulo

2016

NAIRA ERY ASANO

**TECNOLOGIA CONSTRUTIVA DE REVESTIMENTO EXTERNO DE ARGAMASSA
COM PROJEÇÃO CONTÍNUA**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia

Área de Concentração: Inovação na
construção civil

Orientadora: Professora Doutora Mercia
Maria Semensato Bottura de Barros

São Paulo

2016

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Asano, Naira Ery
TECNOLOGIA CONSTRUTIVA DE REVESTIMENTO EXTERNO DE
ARGAMASSA COM PROJEÇÃO CONTÍNUA / N. E. Asano -- versão corr. --
São Paulo, 2016.
139 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Revestimento 2.Argamassa 3.Projeção 4.Desempenho de materiais de
construção 5.Racionalização da construção I.Universidade de São Paulo. Escola
Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

Aos meus avós Massako e Toshio Minami (*in memoriam*),
com muito amor.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Mercia Maria Semensato Bottura de Barros, pelas orientações dadas não somente à este trabalho, mas também ao longo de minha graduação e vida profissional. Ela me apresentou às tecnologias da construção civil e foi quem provocou o meu interesse pelo assunto. Também auxiliou no direcionamento da minha carreira profissional, na continuidade do meu desenvolvimento acadêmico e no meu amadurecimento pessoal.

Aos professores Ubiraci Espinelli Lemes de Souza e Luiz Sergio Franco, pela participação na banca de qualificação e contribuições para o desenvolvimento do trabalho.

À construtora TECNISA e à equipe da obra utilizada como piloto, pela colaboração e dedicação. Ao meu gestor, Maurício Bernardes, pelo incentivo e apoio.

Aos meus amigos, Luana Sato, Diego Diaz, Julianna Lajut, Fernanda Belizario, Eduardo Damião, Rafael Esteves, Victor Silva, Felipe Miori, Guilherme Miyazawa, Maria Victória Gimenez, Bruna Vicente e Raul Maciel, pelo apoio, pelo compartilhamento de seus conhecimentos e pelos momentos de descontração. Ao meu amigo Marcelo Guarnier, por me incentivar e torcer pelo meu sucesso.

Aos meus pais, Elita Kazue Minami Asano e Osvaldo Tomio Asano, por terem me proporcionado, sem medir esforços, meios para que eu chegasse onde estou. Além de sempre me incentivarem e apoiarem, estão presentes em todos os momentos da minha vida.

À minha irmã, Camila Lissa Asano, por ser um grande exemplo para mim. Ela me influenciou a tornar a pessoa que sou por seus ensinamentos, conselhos e incentivos. Ao João Holzer Rodrigues, pela amizade e carinho.

À todos meus amigos que, de alguma forma, contribuíram para este trabalho ou que participaram deste momento importante da minha vida.

Meu muito obrigada.

RESUMO

Os métodos construtivos de revestimento externo produzidos com argamassa vêm evoluindo ao longo do tempo, apresentando como maior mudança a substituição da aplicação manual pela projeção mecânica. Atualmente destaca-se no mercado o sistema de execução de revestimento externo com argamassa industrializada e projeção mecânica contínua com bombas helicoidais. Por se tratar de uma tecnologia ainda não muito utilizada pelas construtoras brasileiras, faltam dados confiáveis acerca de seu potencial de ganho de produtividade, redução de perdas, diminuição de contingente de mão de obra, exigências de infraestrutura para aplicação e custos envolvidos.

Sem parâmetros confiáveis, adotar a tecnologia significa assumir um nível de risco elevado e isto dificulta a tomada de decisão por parte das construtoras e, por consequência, dificulta-se a evolução tecnológica.

Buscando contribuir para o necessário avanço nas tecnologias de produção de revestimentos de edifícios, o objetivo desta pesquisa é estabelecer parâmetros em relação à tecnologia de produção de revestimentos de fachada que empregam argamassa com projeção contínua.

Para tanto, buscou-se informações em referências como teses, dissertações, textos técnicos, normas nacionais, dentre outras, bem como, acompanhou-se e avaliou-se os resultados da implantação de um método construtivo de revestimento de argamassa com projeção mecânica contínua em uma construtora de São Paulo.

Foram realizados um protótipo e um piloto que contribuíram para o desenvolvimento da tecnologia por meio de apresentação de soluções para os problemas encontrados, do levantamento de melhores práticas e de dados para o cálculo de índices de produtividade e perda. Buscou-se, portanto, a consolidação da tecnologia de projeção contínua na construtora anteriormente mencionada e no mercado em geral.

Palavras-chave: Revestimento. Argamassa. Projeção. Desempenho de materiais de construção. Racionalização da Construção.

ABSTRACT

The external rendering constructive methods produced with mortar have evolved over time and the greater change in it was the replacement of manual application by mechanical projection. The currently most prominent system in the market is the outer rendering execution system with industrialized mortar and continuous mechanical projection with helical pumps. Since this technology is not widely used by Brazilian construction companies, there is a lack of reliable data regarding its productivity gain potential, loss reduction, reduction of hand quota of work, infrastructure required for application and costs involved.

Without reliable parameters, the decision to implement this technology is highly risky which does not encourage constructions companies to decide to apply it and, therefore, makes its technological evolution harder to be achieved.

Aiming to contribute to the necessary advancement in technology for the production of rendering, this research has the objective to establish parameters to the rendering technology that uses industrialized mortar with continuous projection.

With this purpose, it was used as source and reference the specialized literature such as thesis, dissertations and scientific papers, as well as both national norms. In addition, the research included the monitoring and assessment of the results from the implementation of a rendering execution method with continuous mechanical projection in a construction company in Sao Paulo.

A prototype and a pilot scale were built and they contributed to the development of this technology by presenting solutions for problems identified and through the mapping of best practices and gathering data that allowed the calculation of productivity and loss rates. The goal was, thus, to consolidate the continuous projection technology in the above-mentioned construction company as well as in the market in a broader way.

Keywords: Rendering. Mortar. Projection. Performance of construction materials. Rationalization of construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema das atividades para execução de revestimento externo em empreendimentos da empresa Tecnisa	20
Figura 2 – Silo sem equipamento acoplado	28
Figura 3 – Silo com misturador integrado.....	28
Figura 4 - Composições de painéis para avaliação.....	36
Figura 5 - Aplicação da argamassa no painel teste.....	37
Figura 6 - Sarrafeamento da argamassa.....	37
Figura 7 - Desempeno da argamassa (acabamento)	37
Figura 8 - Painéis finalizados	37
Figura 9 - Ensaio da determinação da retenção de água.....	39
Figura 10 - Ensaio de densidade de massa no estado fresco.....	39
Figura 11 - Moldagem de CPs para ensaio de módulo de deformação	39
Figura 12 - Preparo de CPs para ensaio de resistência de aderência à tração	39
Figura 13 - Projeção da argamassa com 10cm de espessura em uma única etapa .	45
Figura 14 - Deslizamento da argamassa.....	45
Figura 15 - Equipamentos do Sistema Matrix.....	48
Figura 16 - Direcionamento do ar comprimido no bloco de transporte.....	49
Figura 17 - Entrada de ar comprimido no silo.....	49
Figura 18 - Saída do material seco do bloco de transporte.....	50
Figura 19 - Chegada da mangueira de transporte ao pavimento	50
Figura 20 - Entrada da mangueira na tampa filtro	50
Figura 21 – Duo Mix	51
Figura 22 – D30.....	52
Figura 23 - Eixo helicoidal	52
Figura 24 - Mangueira submersa no tanque de água.....	53
Figura 25 - Regulagem da água por rotâmetro	53
Figura 26 - Caminhão graneleiro.....	54
Figura 27 - Projetor de argamassa.....	55
Figura 28 - Componentes do projetor.....	55
Figura 29 - Quantidade de água impressa na sacaria.....	56
Figura 30 - Projeção de baixo para cima.....	57

Figura 31 - Segregação dos finos dentro do mangote em posição horizontal reta durante processo de bombeamento da argamassa	59
Figura 32 - Trajeto horizontal em "U" recomendado para o bombeamento da argamassa entre silo e torre.....	59
Figura 33 - Boa prática nas dobras	60
Figura 34 - Quadro do sistema Matrix	62
Figura 35 - Quadro elétrico dos pavimentos.....	63
Figura 36 - Quadro elétrico dos pavimentos (simplificado)	63
Figura 37 - Bombonas de água	64
Figura 38 - Planta do apartamento	65
Figura 39 - Espaleta quebrada	65
Figura 40 - Proteção do local onde está instalada a central de produção de argamassa nos casos em que os revestimentos verticais e contrapisos estiverem prontos	66
Figura 41 - Compensado de madeira para proteção do vão de janelas quando da aplicação do revestimento externo	67
Figura 42 - Cronograma de atividades da equipe ideal de produção de revestimento de fachada por projeção mecânica contínua.....	68
Figura 43 - Torre protótipo.....	70
Figura 44 - Planta tipo do protótipo	71
Figura 45 - Altura da torre	72
Figura 46 - Um dos elementos do projeto de balancins elaborado pela empresa Constata para o empreendimento piloto.	73
Figura 47 - Distâncias horizontais	74
Figura 48 - Localização da torre e silos.....	75
Figura 49 - Posição dos silos no edifício protótipo: junto à divisa apoiados sobre o terreno	76
Figura 50 - Posição das D30 no pavimento.....	76
Figura 51 - Exemplo de caminho de mangote para atingir a fachada oposta	78
Figura 52 - Abastecimento da Anvijet por jerica	79
Figura 53 - Argamassa depositada em caixote	80
Figura 54 - Remistura da argamassa (manual)	80
Figura 55 - Coleta da argamassa do caixote.....	80
Figura 56 - Abastecimento manual da Anvijet	80

Figura 57 - Filtro na entrada de água da mangueira	81
Figura 58 - Abertura do estator para desentupimento	81
Figura 59 - Retirada do rotor	81
Figura 60 - Anvijet com grade de proteção	84
Figura 61 - Anvijet com rosca pequena.....	85
Figura 62 - Anvijet com rosca grande.....	85
Figura 63 - Croqui do terreno de implantação da obra piloto para implantação de revestimento de argamassa com projeção mecânica	86
Figura 64 - Planta do pavimento tipo, distribuição dos balancins e distribuição das Anvijets.....	87
Figura 65 - Posicionamento dos silos.....	88
Figura 66 - Grupo junto ao equipamento D30 em dia de realização do treinamento	89
Figura 67 - Lista de presença do treinamento Votorantim.....	89
Figura 68 - Demonstração da projeção	90
Figura 69 - Demonstração do sarrafeamento com execução de mestras	90
Figura 70 - Laudo do ensaio de resistência de aderência à tração dos painéis teste da obra piloto.....	90
Figura 71 - Hachura indicando posicionamento de balancins das equipes acompanhadas.....	94
Figura 72 - Balancins 19, 20 e 21.....	95
Figura 73 - Frente de trabalho.....	95
Figura 74 - Panos da vista frontal.....	96
Figura 75 - Panos da vista lateral.....	96
Figura 76 - Faixas de requadro de viga.....	96
Figura 77 - Comparativo entre gráficos	101
Figura 78 - Resultados de ensaio de resistência de aderência à tração direta em panos da fachada, segundo ABNT NBR 13528/2010	106
Figura 79 - Silo, sistema de transporte e mangueira de transporte.....	112
Figura 80 - Dispositivo de recepção, misturador contínuo e projetor de argamassa	112
Figura 81 - Mangueira de transporte, mangueira de ar comprimido e bico projetor	113
Figura 82 - Argamassa ensacada, misturador contínuo e projetor de argamassa ..	113

Figura 83 - Segregação dos finos dentro do mangote em posição horizontal reta durante processo de bombeamento da argamassa	115
Figura 84 - Trajeto horizontal em "U" recomendado para o bombeamento da argamassa entre silo e torre.....	115
Figura 85 - Área usual de locação dos misturadores	116
Figura 86 - Exemplo de caminho do mangote.....	116
Figura 87 – Exemplo de condição favorável para que o silo atenda mais áreas da torre	117
Figura 88 - Bombonas de água.....	118
Figura 89 - Planta do apartamento.....	119
Figura 90 - Espaleta quebrada	119
Figura 91 - Proteção do local onde está instalada a central de produção de argamassa nos casos em que os revestimentos verticais e contrapisos estiverem prontos	120

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Departamentos da empresa envolvidos e informações coletadas	11
Quadro 2 - Comparativo entre sistemas - Condições de canteiro	24
Quadro 3 - Comparativo entre sistemas – Informações técnicas	25
Quadro 4 - Comparativo entre sistemas - Contratação	26
Quadro 5 - Comparativo entre sistemas - Produtos	27
Quadro 6 - Comparativo de custos envolvidos nos sistemas de execução	30
Quadro 7 - Ensaio de caracterização da argamassa	38
Quadro 8 - Classificação das argamassas para diferentes características e propriedades	41
Quadro 9 - Resultados do programa experimental	43
Quadro 10 - Resultados de resistência de aderência à tração	44
Quadro 11 - Distâncias máximas para bombeamento da argamassa seca entre silo e torre	58
Quadro 12 - Potências, tensão e corrente dos equipamentos Matrix	61
Quadro 13 - Potência exigida para instalação dos equipamentos (resumo)	61
Quadro 14 - Síntese dos problemas identificados durante a execução do protótipo	83
Quadro 15 - RUP Cum. Oficial do SINAPI - massa única dosada com projeção com caneca	103
Quadro 16 - Comparativo de RUPs Cum. Oficial	103
Quadro 17 - Quantidades de sacos utilizados e perdas de argamassa durante um período de 35 dias de produção	104
Quadro 18 - Exemplo de distâncias máximas para bombeamento da argamassa seca entre silo e torre	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo de custo de material de argamassa dosada em obra e de argamassa industrializada (sistema Matrix)	32
Tabela 2 - Viabilidade econômica (comparativo de custos)	34
Tabela 3 - Custos de infraestrutura de canteiro	35
Tabela 4 - Comparativo de custos orçados e custos reais	107
Tabela 5 - RUPs Oficial e Direta da "equipe silo"	136
Tabela 6 - RUP Global da "equipe silo" (equipe indireta)	137
Tabela 7 - RUPs Oficial e Direta da "equipe saco"	138
Tabela 8 - RUP Global da "equipe saco" (equipe indireta)	139

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - RUP oficial da "equipe silo"	98
Gráfico 2 - RUP direta da "equipe silo"	98
Gráfico 3 - RUP global da "equipe silo"	99
Gráfico 4 - RUP oficial da "equipe saco"	99
Gráfico 5 - RUP direta da "equipe saco"	100
Gráfico 6 - RUP global da "equipe saco"	100

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
1.1 Contextualização.....	8
1.2 Objetivos	9
1.3 Metodologia.....	10
1.3.1 Pesquisa bibliográfica.....	10
1.3.2 Definição das atividades da implantação.....	11
1.3.3 Trabalho em campo.....	12
1.3.4 Análise dos resultados obtidos	12
1.4 Estruturação do trabalho	13
2. REVESTIMENTO DE FACHADA NO CONTEXTO DO EDIFÍCIO	15
2.1 Exigências para o revestimento externo de argamassa.....	15
2.2 Argamassa de revestimento.....	16
2.3 Substrato.....	18
3. Estudo de campo	19
3.1 Método construtivo de revestimento externo da empresa em estudo	19
3.1.1 Identificação das necessidades da empresa	21
3.2 Análise de viabilidade técnico-econômica-financeira	22
3.2.1 Análise econômica-financeira	30
3.2.2 Avaliação técnica - Programa experimental	35
3.3 Resultados obtidos no programa experimental	40
4. CONCEPÇÃO E IMPLANTAÇÃO	47
4.1 Concepção aprofundada da tecnologia.....	47
4.1.1 Sistema Matrix	47
4.1.2 Sistema de abastecimento	54
4.1.3 Sistema de projeção ANVI.....	54
4.1.4 Argamassa 2203 Votorantim	55
4.2 Infraestrutura do canteiro	57

4.2.1	Instalação do silo	57
4.2.2	Energia	60
4.2.3	Água	63
4.3	Locação das centrais de argamassa.....	64
4.4	Balancins.....	66
4.5	Planejamento da execução	67
5.	EXECUÇÃO DO PROTÓTIPO E PILOTO.....	69
5.1	Execução do protótipo.....	69
5.1.1	Características da torre protótipo.....	69
5.1.2	Planejamento.....	72
5.1.3	Execução	77
5.1.4	Análise.....	82
5.1.5	Boas práticas	83
5.2	Execução em escala piloto.....	85
5.2.1	Características do piloto	85
5.2.2	Planejamento.....	86
5.2.3	Execução	88
5.2.4	Produtividade das equipes, índices de consumo e perdas de materiais.....	91
5.2.5	Levantamento de dados	93
5.2.6	Avaliação da produtividade.....	97
5.2.7	Avaliação do consumo e índice de perdas	104
5.2.8	Avaliação do desempenho	106
5.2.9	Avaliação dos custos	107
6.	DIRETRIZES PARA DISSEMINAÇÃO DE REVESTIMENTO EXTERNO DE ARGAMASSA COM PROJEÇÃO CONTÍNUA.....	108
6.1	Viabilidade econômica	108
6.2	Viabilidade técnica da argamassa.....	110
6.3	Implantação no canteiro	111

6.3.1	Locação das centrais de argamassa	119
6.3.2	Planejamento da execução	120
6.4	Procedimento de execução de revestimento externo de argamassa com projeção contínua	121
6.4.1	Condições para início dos serviços	121
6.4.2	Materiais	122
6.4.3	Equipamentos e ferramentas.....	122
6.4.4	Acionamento do sistema	123
6.4.5	Produção de argamassa.....	123
6.4.6	Produção do revestimento.....	124
6.4.7	Limpeza dos equipamentos.....	124
6.4.8	Controle de qualidade.....	125
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	126
7.1	Principais resultados alcançados	126
7.2	Análise crítica.....	127
7.3	Trabalhos futuros	130
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131
	APÊNDICE A.....	135

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Os métodos construtivos de revestimento externo produzidos com argamassa vêm evoluindo ao longo do tempo, apresentando como maior mudança a substituição da aplicação manual pela projeção mecânica. Primeiro chegaram os sistemas intermitentes (a ar comprimido) e, mais recentemente, há destaque para sistemas com projeção contínua com bombas helicoidais. Essa evolução nos métodos de aplicação é uma resposta à necessidade das construtoras que buscam por racionalização das atividades de obra. Em comparação à técnica tradicional (dosagem em obra e aplicação manual), o sistema possibilita a diminuição da interferência das habilidades humanas e ganhos de produtividade e de desempenho dos revestimentos (ZANELATTO, 2012).

Para que possam ser bombeadas, projetadas mecânica e continuamente, as argamassas devem apresentar propriedades reológicas específicas. Isto exige controle da distribuição granulométrica e geometria dos grãos dos agregados e também uso de aditivos que promovam consistência e fluidez adequadas às condições de utilização do produto (SANTOS, 2003). Com essas exigências para emprego da tecnologia, dificilmente se viabiliza a dosagem da argamassa em canteiro. Surge, então, a necessidade de se trabalhar com argamassas industrializadas que, além de permitirem o emprego da tecnologia de bombeamento e projeção, são também adequadas aos princípios da racionalização, uma vez que possibilitam eliminar atividades de fluxo que não agregam valor ao produto final e minimizam atividades de controle de materiais.

O subsistema fachada envolve diversos agentes da cadeia produtiva: construtoras, projetistas, indústrias de material, empresas de execução de serviço de obra, fabricantes e empresas de aluguel de máquinas/equipamentos e trabalhadores do setor. Entretanto, de modo geral, não há interação entre eles e, segundo Ceotto *et al.* (2005), o nível de desconhecimento em relação ao comportamento dos revestimentos e a insensibilidade sobre a necessidade de desenvolvimento e do uso de projetos

específicos para fachada ainda é grande. Muitas vezes, a fachada é considerada somente um item decorativo e não de engenharia, o que tem feito com que planejamento e controle da qualidade sejam inadequados à complexidade do sistema. Há pouca preocupação com a capacitação da mão de obra; são inexpressivos os treinamentos que elucidem o uso correto de equipamentos, técnicas de preparo e aplicação da argamassa e também há pouca conscientização quanto à responsabilidade pela qualidade do produto final.

A norma ABNT NBR 13281/2005, sobre a especificação de produtos, apenas apresenta a classificação das argamassas quanto a suas características e propriedades, ou seja, cada requisito encaixa a argamassa em uma classe, sem definir critérios específicos para avaliar e aprovar uma argamassa para cada uso, por exemplo, em revestimento externo, assentamento etc.

Com este cenário, implantar um método construtivo diferente para produção de revestimento externo não é uma atividade simples. É necessário cercar todas as variáveis e peculiaridades que envolvem a migração do processo tradicional para um processo com maior nível de industrialização com projeção mecanizada, a fim de se obter sucesso na execução e permitir a consolidação da tecnologia. É, portanto, num contexto de inovação tecnológica que se insere o presente trabalho cujos objetivos são apresentados na sequência.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma tecnologia construtiva de revestimento externo de argamassa com projeção contínua com foco para a viabilidade técnica-econômica, avaliação de desempenho, estudo de logística de execução e controle da qualidade em canteiros de obra.

Os objetivos específicos são: elaboração de diretrizes para implantação de sistema de silo e elaboração de procedimento de execução e controle contendo as melhores práticas observadas no piloto realizado com vistas à sua disseminação na empresa como um todo.

1.3 Metodologia

O presente trabalho pode ser definido como uma pesquisa-ação, na medida em que apresenta um caráter empírico. Foi concebido e realizado em estreita associação com uma ação na qual a autora é envolvida de modo participativo: o processo de implantação da tecnologia de produção de revestimento de argamassa com projeção mecânica contínua para fachada de edifícios de múltiplos pavimentos, em uma construtora de São Paulo.

Uma pesquisa-ação apresenta objetivos práticos e objetivos de conhecimento. O primeiro é mais voltado para a ação em si, havendo uma interação do pesquisador com o fato estudado. O segundo é voltado para a pesquisa, atendendo à expectativa científica (THIOLLENT, 2005).

O desenvolvimento do estudo foi dividido em quatro partes: pesquisa bibliográfica, definição das atividades da implantação, coleta de dados em campo e análise dos resultados obtidos.

1.3.1 Pesquisa bibliográfica

Para o desenvolvimento da tecnologia, estudaram-se metodologias consagradas como a “Metodologia para o desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos” proposto por Sabbatini (1989) e a “Metodologia para implantação de tecnologias construtivas racionalizadas (TCR’s)” proposta por Barros (1996), as quais subsidiaram o modelo de trabalho para a implantação da tecnologia na empresa.

Esta parte consistiu em levantamento de referências que pudessem subsidiar a caracterização do revestimento de fachada (definindo suas funções, classificações, exigências e contribuições para o desempenho do edifício) e a compreensão aprofundada das tecnologias de produção de revestimento de argamassa, em particular a com projeção mecânica contínua.

Foi realizado um levantamento bibliográfico com pesquisa em publicações de trabalhos científicos (artigos, dissertações e teses). Também houve um levantamento

documental de informações de catálogos de fornecedores, manuais, guias práticos, laudos técnicos, fichas técnicas, normas etc.

1.3.2 Definição das atividades da implantação

Nesta parte foi realizado o levantamento de dados junto aos departamentos da construtora envolvidos no processo de implantação da nova tecnologia, conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Departamentos da empresa envolvidos e informações coletadas

Departamento	Informação coletada
Orçamento	Orçamento de referência do sistema tradicionalmente utilizado
	Levantamento da área (panos e faixas)
Planejamento	Cronograma de atividades do sistema tradicionalmente utilizado
Desenvolvimento tecnológico / Qualidade	Procedimentos de execução e controle do sistema tradicionalmente utilizado
Projetos para produção	Restrições de canteiro
Obra	Logística de obra e estratégia de execução

A obtenção de informações, a partir dos diversos departamentos da empresa, auxiliou na caracterização do processo tradicionalmente empregado pela construtora e na definição de parâmetros para avaliação dos resultados obtidos com a nova tecnologia.

Foi elaborado um estudo de viabilidade e, para tanto, foram solicitadas propostas comerciais de fornecimento de material e propostas de execução de serviços para empresas de maior reconhecimento no mercado.

1.3.3 Trabalho em campo

Nesta etapa foi realizado o protótipo com o acompanhamento das decisões, das atividades desenvolvidas durante o processo de implantação e da execução do revestimento propriamente dito. Analisou-se criticamente as dificuldades e gargalos para sugestão de melhorias e boas práticas.

Fez-se também o piloto com a implantação das boas práticas levantadas no protótipo, visando à coleta de dados. Buscou-se a medição e o registro de:

- índices de produtividade;
- índices de consumo e perda de material;
- desempenho previamente estabelecido.

1.3.4 Análise dos resultados obtidos

Após o a conclusão do levantamento dos dados em campo, os resultados foram sistematizados e analisados.

Quanto à execução, foram avaliados os indicadores de prazo de execução, consumo de material, perda e contingente da equipe para a tecnologia envolvendo argamassa com projeção mecânica contínua. Com isto, buscou-se avaliar se a nova tecnologia atendeu ou não as expectativas da empresa.

Sobre o desempenho do revestimento de fachada, verificou-se o atendimento aos requisitos das normas específicas para revestimentos de argamassa e da norma de desempenho.

Ao final, realizou-se uma avaliação crítica e a retroalimentação do processo para aperfeiçoamento da tecnologia.

1.4 Estruturação do trabalho

Este trabalho está dividido em sete capítulos, considerando este de introdução, contendo contextualização, problemática e justificativa para o seu desenvolvimento, objetivo a ser alcançado, metodologia de pesquisa e estruturação da dissertação.

Os capítulos seguintes adotaram uma estrutura baseada na “Metodologia para implantação de tecnologias construtivas racionalizadas (TCR’s)” proposta por Barros (1996): formulação técnica do problema, análise de viabilidade técnico-econômica-financeira, planejamento da implantação; elaboração de protótipo, aplicação em escala piloto, consolidação da tecnologia e considerações finais.

O capítulo 2 faz parte da etapa de formulação técnica do problema (diagnóstico). Apresenta a caracterização do revestimento de fachada definindo suas funções, classificações, exigências e contribuições para o desempenho do edifício, e análise das técnicas construtivas, dificuldades e gargalos existentes.

Para contextualização da ação em estudo, no capítulo 3 é apresentada a caracterização da atual técnica empregada pela construtora para execução de revestimento externo com argamassa dosada em obra, para, assim, explicitar as necessidades que motivaram a alteração. Neste capítulo também são apresentados os argumentos que embasaram a tomada de decisão na escolha da tecnologia a ser implantada, o levantamento de suas vantagens e desvantagens em relação às alternativas atualmente disponíveis, bem como a análise técnico-econômica-financeira.

Para avaliação técnica da solução, são definidos critérios referenciais de desempenho e, a partir destes, é apresentado o programa experimental desenvolvido. São descritos os ensaios e são expostos seus resultados para verificação do atendimento aos requisitos.

O capítulo 4 apresenta a concepção aprofundada da tecnologia e os itens a serem considerados na implantação do sistema, focando-se na infraestrutura necessária para o canteiro, locação das centrais de produção de argamassa, condições dos balancins e planejamento da execução.

O quinto capítulo descreve a realização do protótipo e da implantação da tecnologia em escala piloto. A realização do protótipo envolve o planejamento, a execução, a análise da execução (problemas e soluções) e boas práticas. Após avaliar os resultados e identificação das melhorias necessárias, parte-se para a apresentação da implantação da tecnologia em escala piloto, do controle tecnológico, da avaliação de índices de produtividade, de consumo e de perdas de materiais, avaliação de desempenho; e, finalmente, o resultado do monitoramento realizado.

O capítulo 6 contribui com o registro documental do processo, uma vez que, com base na experiência vivida na ação apresentada, é possível formalizar as boas práticas identificadas durante a produção em obra e elaborar diretrizes de implantação e procedimentos de execução para consolidação da tecnologia, conforme indicado por Barros (1996).

Ao final, o sétimo e último capítulo apresenta as considerações finais obtidas com o desenvolvimento deste trabalho, destacando os principais resultados alcançados, análise crítica do processo e sugestões para trabalhos futuros.

2. REVESTIMENTO DE FACHADA NO CONTEXTO DO EDIFÍCIO

O revestimento vertical externo é um dos elementos que compõem a vedação vertical externa ou fachada e, como parte desta vedação, segundo Baía e Sabbatini (2000), usualmente desempenham funções de:

- proteger o vedo (alvenarias, estrutura e outros) dos edifícios contra a ação do intemperismo e de agentes ambientais agressivos, aumentando a sua durabilidade e reduzindo os custos de manutenção dos edifícios;
- contribuir para o desempenho do edifício melhorando o isolamento térmico, a atenuação acústica, a estanqueidade à água e ao vapor do vedo propriamente dito;
- regularizar a superfície dos elementos do vedo e servir como base para acabamentos decorativos;
- Contribuir para a estética da fachada.

Como um elemento da vedação vertical externa deve contribuir para o atendimento ao desempenho exigido pela ABNT NBR 15575-4/2013: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE, os quais não serão aqui abordados por não ser objeto específico do presente trabalho.

2.1 Exigências para o revestimento externo de argamassa

O comportamento dos revestimentos externos de argamassa é afetado por fatores extrínsecos e intrínsecos. Os fatores extrínsecos estão relacionados com condições de exposição, como incidência da radiação solar e de chuva, agressividade do meio, condições de vento, umidade, entre outros. Os intrínsecos relacionam-se a: natureza, granulometria e proporção dos materiais constituintes; procedimentos de preparo dos substratos, propriedades dos substratos, qualidade de execução e espessura final da camada de revestimento (SANTOS, 2003).

O revestimento externo está suscetível a movimentações térmicas e higroscópicas, diferença de comportamento entre materiais da base e a movimentação da estrutura do edifício, o que exige que apresente características específicas que lhe possibilitem absorver as solicitações e minimizar as falhas.

Para evitar que o revestimento de argamassa apresente um quadro de fissuração indesejado frente às movimentações mencionadas, é indispensável que possua capacidade de absorver deformações sem apresentar ruptura, característica que está intimamente ligada a um baixo módulo de deformação. Quanto maior o número de vazios ou de ar incorporado, maior a capacidade de absorver deformação, pois, ao sofrer tensões, a argamassa rompe primeiramente as paredes das microbolhas aliviando a tensão (SANTOS, 2003).

Para se manter fixo ao substrato (sem a ocorrência de deslocamento) frente às movimentações, o revestimento deve apresentar resistência às tensões normais e tangenciais na interface com o substrato, ou seja, apresentar aderência à tração e ao cisalhamento (BAÍÁ; SABBATINI, 2000).

Segundo ABNT NBR 13749/2013, o revestimento de argamassa deve apresentar aderência com o substrato e entre suas camadas constituintes. Para tanto, o revestimento não pode apresentar som cavo na inspeção por ensaio percussão realizado através de impactos leves com martelo de madeira. Além disso, no ensaio de resistência de aderência à tração, conforme metodologia da ABNT NBR 13528/2010, o revestimento deve apresentar uma média de resultados superior a 0,3MPa.

O revestimento deve ser estanque à água, porém permeável ao vapor para possibilitar a secagem da umidade de infiltração. A presença da água no revestimento, se atingido o substrato, pode comprometer a estanqueidade da vedação (BAÍÁ e SABBATINI, 2000).

2.2 Argamassa de revestimento

Além das propriedades corriqueiras, esperadas para uma argamassa de revestimento externo - consistência, plasticidade, retenção de água, coesão, endurecimento sob sucção, entre outras, argamassas para bombeamento e projeção devem apresentar características adequadas de estruturação interna que proporcionem estabilidade à exsudação e segregação, atrito interno e viscosidade adequados às condições impostas pelo bombeamento e projeção (SANTOS, 2003).

Segundo a Rilem (1982) *apud* Santos (2003), a consistência pode ser entendida como a propriedade pela qual a argamassa tende a resistir às deformações que lhe são impostas. Pode-se mensurá-la avaliando seu comportamento reológico, que é representado por relações entre a deformação e as forças a que são submetidas (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005). Ela é influenciada pelo teor de água, teor de ar incorporado, formulação ou proporção dos materiais constituintes e das características granulométricas e texturais do agregado.

A plasticidade tradicionalmente é entendida como a capacidade do material se deformar. Para as argamassas reproduziu-se o termo, no entanto, adaptando-se o significado para a “capacidade de ser espalhada”. É uma propriedade relevante, principalmente na etapa do alisamento inicial em que não pode haver ruptura e deve-se gerar maior contato com o substrato. Esta característica depende do teor de ar incorporado, da natureza e teor de aglomerantes, do teor de finos e também dos aditivos presentes na argamassa (SANTOS, 2003).

A aderência inicial e a retenção de água são duas propriedades pós-projeção, importantes para a eficácia do processo e adequado desempenho do produto final. A aderência inicial, segundo Baía e Sabbatini (2000), é uma propriedade mecânica que ocorre pela ancoragem da argamassa à base pela, “entrada da pasta nos poros, reentrâncias e saliências, seguida do endurecimento progressivo da pasta”. Para uma adequada aderência inicial, a argamassa deve apresentar índice de retenção de água adequado à sucção da base e às condições de exposição.

A retenção de água é importante para manter a trabalhabilidade quando em contato com substratos absorventes e na ocorrência de evaporação. A trabalhabilidade, por sua vez, permite a operação de compressão da argamassa de forma que se tenha acesso às reentrâncias da superfície do substrato e que sejam eliminadas as fissuras após a aplicação. Além disso, a retenção de água contribui para a necessária hidratação do cimento da mistura, propiciando sua reação por completo (BAÍA; SABBATINI, 2000).

A retenção de água é governada pelas características dos finos presentes na mistura e também pelo teor de ar incorporado. Segundo Santos (2003), o ar incorporado auxilia na retenção de água, uma vez que, quando o substrato succiona a água,

surgem forças capilares devidas à formação de meniscos, que promove a união das bolhas de ar e dificulta a saída da água.

Aditivos incorporadores de ar são comuns na composição de argamassas industrializadas empregadas para projeção, pois praticamente todas as propriedades anteriormente mencionadas têm relação com o ar incorporado. O ar incorporado é um elemento que influencia nas características reológicas necessárias para a argamassa tanto para bombeamento (antes da projeção) quanto para a realização do serviço (trabalhabilidade após a projeção). Ou seja, mesmo após a projeção, momento em que pode ocorrer supressão das bolhas de ar, dadas às altas pressões, a argamassa deve ter capacidade de manter o teor de ar incorporado em índices adequados à finalização do revestimento.

2.3 Substrato

Quanto ao substrato, a porosidade e absorção de água capilar interferem no comportamento do revestimento, uma vez que o diâmetro, natureza e distribuição dos poros determinam a capacidade de sucção ou absorção capilar, fenômeno que contribui intensamente na aderência do revestimento ao substrato (PAES; BAUER; CARASEK, 2003). Ou seja, uma mesma argamassa pode resultar em uma camada de revestimento que apresenta diferentes comportamentos se aplicada sobre bloco cerâmico, bloco de concreto ou estrutura de concreto. Estes substratos também apresentam movimentações diferenciadas, tanto de origem térmica como higroscópicas, podendo ocasionar a fissuração do revestimento.

A utilização do chapisco é uma técnica muito usual para o preparo do substrato. Seu emprego usualmente visa à obtenção de uma superfície irregular e rugosa, criando, com isso, maior área de contato potencial com a camada de argamassa que será aplicada. O aumento da área de contato, por sua vez, visa ao aumento da resistência de aderência. Além disso, tem função de controlar a sucção dos substratos criando base mais homogênea (ABCP, 2002). A rápida entrada da pasta nos poros da base pode gerar uma descontinuidade entre a base e a camada de argamassa, possibilitando a perda de aderência (BAÍÁ; SABBATINI, 2000).

3. ESTUDO DE CAMPO

3.1 Método construtivo de revestimento externo da empresa em estudo

A construtora Tecnisa S.A, objeto do estudo, adota um método construtivo para execução de revestimento de argamassa em fachadas que prevê dosagem da argamassa em obra e aplicação por projeção mecânica por spray a ar comprimido.

A proporção entre os materiais constituintes e a especificação das características das matérias primas foram desenvolvidas com auxílio de consultores especializados e a dosagem é feita em função de números de sacos de cimento, cal e areia que é recebida a granel, mas previamente ensacada em canteiro, a partir de um volume constante.

Quanto à logística, a empresa utiliza em todas suas obras de edifícios multipavimentos o elevador cremalheira e, em alguns casos, faz uso da grua. Para a produção do revestimento externo, adota central móvel de produção de argamassa localizada usualmente em uma área próxima à cremalheira e próxima a um ponto de água. Para acesso à fachada, a empresa dispõe de andaimes suspensos (balancins leves) posicionados em todo o perímetro do edifício.

A mão de obra de execução é fornecida por empresa especializada nos serviços de revestimento de argamassa em fachada. Os equipamentos envolvidos na produção (balancins, argamassadeiras, dosadores de areia, entre outros) são locados.

Diversas atividades são envolvidas na produção do revestimento, desde o recebimento dos materiais até a finalização do acabamento. A Figura 1 apresenta esquematicamente a sequência destas atividades.

Figura 1 - Esquema das atividades para execução de revestimento externo em empreendimentos da empresa Tecnisa

(Fonte: autoria própria)

3.1.1 Identificação das necessidades da empresa

Pela Figura 1, identifica-se que há muitas atividades envolvidas no processo de execução de revestimento externo.

Em campo, deve haver uma organização e planejamento para recebimento dos três materiais básicos, uma vez que ocorrem três entregas distintas. O controle do recebimento é repetido para cada material e, no caso da areia, a carga deve ser “cubicada”, isto é, deve-se medir o volume de material entregue a granel (medição das alturas da carga para cálculo aproximado do volume do caminhão) para verificação da quantidade. Em obras localizadas em grandes centros, é comum que a entrega ocorra à noite, dificultando o controle de recebimento.

As baias para armazenagem da areia usualmente não possuem piso ou cobertura, deixando-a exposta a intempéries e contaminação, o que dificulta a manutenção de qualidade.

Há excesso de atividades de fluxo – como ensacamento de areia e transporte de materiais – que não agregam valor ao produto final e que, algumas vezes, tornam-se gargalos da produção.

Algumas atividades acometem diretrizes sócio-ambientais, como é o caso, por exemplo, da descarga manual dos materiais e do ensacamento de areia. A primeira exige a utilização da energia humana para transporte de sacos de 20 ou 50 quilos, que não têm forma adequada para o carregamento. Assim, o funcionário o carrega nos ombros ou na cabeça. A segunda atividade é realizada por uma equipe de duas pessoas que passam seu expediente ensacando areia, comumente expostos às condições ambientais. Segundo levantamento das obras da construtora, uma equipe ensaca 14m³ de areia por dia.

Atividades de fluxo, que exigem equipes com número elevado de ajudantes, associadas a um processo de baixa produtividade são fatores que destoam do atual cenário do mercado, em que há escassez de mão de obra e exigência de redução de custos e prazos.

Por fazer parte do caminho crítico, qualquer redução no tempo de execução do revestimento da fachada pode gerar redução no ciclo da obra. Além disso, a redução

de atividades de fluxo, que não agregam valor ao produto, também pode contribuir para a redução de custo desta atividade que, segundo Zanelatto (2012), representa, em média, 3,4% do custo total da obra.

Identificou-se, assim, a necessidade de buscar novas tecnologias que pudessem minimizar os gargalos de produção e atender às necessidades da empresa.

Para direcionar essa busca, foram determinadas algumas premissas, isto é, as novas tecnologias deveriam possibilitar:

- aumento de produtividade, sem ruptura significativa dos atuais métodos de produção e sem aumento de custos;
- menor dependência da habilidade do operário no desempenho final do produto e menor variabilidade dos processos;
- minimizar as atividades de controle em canteiro.

3.2 Análise de viabilidade técnico-econômica-financeira

Tendo em vistas as premissas colocadas pela empresa, a busca por alternativas concentrou-se nas tecnologias de argamassas e de execução.

O emprego de argamassa industrializada atenderia algumas das premissas. Ao substituir três materiais por um só, há grande simplificação das atividades. O controle de recebimento de material, por exemplo, seria reduzido a apenas uma verificação. A argamassa industrializada, por se tratar de uma produção fabril em condições controladas resulta na simplificação do controle de qualidade do produto em canteiro. Além disso, trata-se de um produto pré-dosado e isso proporciona redução na variabilidade da argamassa, elimina a dosagem dos materiais – usualmente sob responsabilidade do operário - desassocia, portanto, a qualidade da argamassa da habilidade e capacitação humanas.

Para o aumento de produtividade do serviço, focou-se a busca em sistemas que mecanizassem outras atividades do processo e não somente a mistura e a projeção.

A possibilidade de mecanizar a descarga e o transporte de materiais eliminariam as atividades de fluxo, uma vez que o ensacamento de areia seria extinto pelo uso de

argamassa industrializada e o transporte da argamassa pela possibilidade de bombeamento tanto no estado seco como no fresco.

Argamassas industrializadas são fornecidas ensacadas ou a granel com armazenamento em silos. Trabalhar com produtos ensacados não reduziria as atividades de descarga e transporte, enquanto o uso do material ensilado seria muito mais atrativo sob a ótica das atividades de fluxo. Quando em silo, o material é fornecido em caminhões graneleiros e a descarga do material é realizada pelo simples acoplamento do caminhão ao silo. Por outro lado, o silo exige uma infraestrutura no canteiro para sua instalação.

As argamassas industrializadas podem ser aplicadas tanto de forma manual como por projeção mecanizada. A projeção contínua exige argamassas dosadas especificamente para esta técnica de aplicação.

Uma vez que a empresa buscava aumento de produtividade, diminuição dos processos e consequente redução da quantidade de profissionais envolvidos e, tendo em vista que já utilizava a aplicação mecânica por caneca, direcionou-se a busca por argamassas industrializadas que permitissem o bombeamento a partir do seu fornecimento em silo e que pudessem ser aplicadas por projeção mecânica contínua. Para tanto, foram identificados fornecedores com experiência neste mercado, com capacidade e histórico de fornecimento satisfatórios, tendo-se selecionado: Votorantim, Pavmix e Megamix.

As principais características dos produtos ofertados pelas empresas com tais atributos estão apresentadas a seguir (Quadro 2, Quadro 3, Quadro 4 e Quadro 5).

Quadro 2 - Comparativo entre sistemas - Condições de canteiro

CONCEPÇÃO DE SOLUÇÕES ALTERNATIVAS - FORNECIMENTO POR SILO			
	Votorantim (Matrix)	Pavmix	Megamix
CONDIÇÕES DE CANTEIRO			
Base para o silo	<p>Sobre solo: Base de concreto armado com barras de 6,3mm a cada 20cm, 20 MPa, 3x3x0,15m (sem fundação).</p> <p>Sobre laje: Dimensionar reforço de estrutura e escoramentos para um peso bruto de 35ton.</p>		
Acesso	<p>Área para manobra de um caminhão graneleiro e altura livre suficiente para basculamento de silo (ausência de fiação, árvores, etc.).</p> <p>Para instalações onde o caminhão não tem acesso, prever um guindaste e definir local com alcance da lança.</p>		
Área livre exigida	9m ² livres para colocação do silo		
Rede de alimentação	<p>Rede de alimentação trifásica 220V (cabo 16mm²) a uma distância máxima de 10m do silo e com aterramento exclusivo.</p> <p>Disjuntor 3F (63A).</p>		
Fornecimento de água	Ponto de água no pavimento ou tambores limpos ao lado da misturadora.	Ponto de água ao lado do silo para abastecimento do reservatório de água. Vazão constante de 15L/min.	

Quadro 3 - Comparativo entre sistemas – Informações técnicas

CONCEPÇÃO DE SOLUÇÕES ALTERNATIVAS - FORNECIMENTO POR SILO			
	Votorantim (Matrix)	Pavmix	Megamix
INFORMAÇÕES TÉCNICAS DO SISTEMA DO SILO			
Capacidade do silo	33 ton	Nominal - 20t; Real - 25ton / 26ton	30 ton
Instalação / retirada	Caminhão basculante.		
Reabastecimento	Caminhão graneleiro de 24ton conectado ao silo com mangote (distância máxima caminhão-silo: 10m). Tempo de reabastecimento: 40 minutos.	Caminhão graneleiro com 3 compartimentos de 6ton, totalizando capacidade de 18 ton, com descarga pneumática, não ocorrendo a movimentação do silo (troca).	Caminhão graneleiro de 25ton a 26ton conectado ao silo por mangote ou substituição de silos. Tempo máximo de permanência na obra de 30 min.
Saídas	Opção de 1 ou 2 saídas (1 ou 2 mangotes).	1 saída.	1 saída.
Equipamentos pertencentes ao silo	Nenhum ⁽¹⁾	- Misturador de eixo contínuo (60l/min); - Reservatório de água. ⁽²⁾	
Equipamentos complementares do sistema	- Compressor; - Misturador de eixo contínuo (30l/min) ou Misturador de eixo contínuo e bomba de argamassa (22 l/min). ⁽¹⁾	Não incluso equipamento para bombeamento de material para o pavimento. ⁽²⁾	
Bombeamento	Material seco.	Bombeamento de material úmido (a argamassa já sai pronta do silo).	
Bombeamento - distância horizontal	10m	Bomba de rotor e estator: 30m	
Bombeamento - distância vertical	Até 50m: 1 compressor Acima de 50m: 2 compressores em série (Máximo: 75m ou 25 pav.)	Bomba de rotor e estator: 60m	

Quadro 4 - Comparativo entre sistemas - Contratação

CONCEPÇÃO DE SOLUÇÕES ALTERNATIVAS - FORNECIMENTO POR SILO			
	Votorantim (Matrix)	Pavmix	Megamix
CONTRATAÇÃO			
Programação	Encomendar com 2 dias de antecedência.	Encomendar quando atingir volume de 6ton, equivalente ao funil do silo. 2 dias para a entrega.	Encomendar com 2 dias de antecedência.
Controle de carga	Pesagem de caminhão em balança certificada pelo INMETRO. O caminhão é entregue lacrado.		
Assistência técnica	Atendimento em, no máximo, 1 dia.		
Procedimento em caso de falha	Contatar assistência técnica e utilizar estoque ensacado, desconectando o mangote que liga o silo ao misturador.	Contatar a assistência técnica e utilizar o estoque ensacado.	

Quadro 5 - Comparativo entre sistemas - Produtos

CONCEPÇÃO DE SOLUÇÕES ALTERNATIVAS - FORNECIMENTO POR SILO							
	Votorantim (Matrix)			Pavmix		Megamix	
PRODUTOS							
Produtos	Múltiplo Uso	Revestimento externo	Revestimento externo com projeção contínua	Múltiplo uso	Revestimento externo	Múltiplo Uso	Revestimento externo
Breve descrição do sistema	Silo conectado ao compressor que bombeia o material seco através do mangote. No pavimento o mangote é conectado ao misturador.			O reservatório de água e o misturador de eixo horizontal estão acoplados ao silo. A água é adicionada à medida que o silo descarrega o material seco. Ambos passam pela misturadora de eixo contínuo e sai pronta para uso (argamassa úmida).			
Dosagem e mistura	A água é adicionada na quantidade exata (conforme programado pelo operador) automaticamente junto com o início da mistura ao acionar o sistema.						
Abastecimento do pedreiro	Jerica e funil		Projetor de argamassa acoplado no misturador + mangote	Opções: 1) Bombeamento de argamassa úmida para caixotes no pavimento ou na cobertura + funil. 2) Descarga da argamassa úmida em jericas e transporte pela cremalheira até o pavimento ou até a cobertura + funil. 3) Descarga da argamassa úmida em caçamba e transporte por grua + funil.			
Aplicação	Caneca		Mangote+ bico projetor	Caneca	Caneca ou mangote+ bico projetor	Caneca	Caneca ou mangote+ bico projetor

- (1) Silo e equipamentos complementares (Figura 2): silos com opção de uma ou duas saídas que são ligadas a compressores para bombeamento a seco do material anidro.

(Fonte: adaptado de <http://www.mapadaobra.com.br/produtos/argamassa/matrix/sistema>)

- (2) Silo com reservatório de água e misturador (Figura 3): possui misturador de eixo contínuo na saída do silo acoplado a um reservatório de água que mistura a argamassa, ou seja, a argamassa fica pronta na saída do silo.

Figura 3 – Silo com misturador integrado

(Fonte: adaptado de <http://www.megamixargamassas.com.br/home.html#>)

Baseando-se no comparativo entre sistemas (Quadro 2 a Quadro 5), verifica-se que as exigências quanto às condições de canteiro não são muito diferentes entre eles. Os silos dos diferentes fornecedores possuem aproximadamente a

mesma capacidade e possibilitam abastecimento direto do caminhão, sem necessidade de sua substituição.

A Pavimix e a Megamix possuem sistemas semelhantes e a desvantagem de ambos em relação ao da Votorantim decorre do acréscimo do aluguel da bomba (no caso de se optar pelo transporte mecânico) ou da necessidade de buscar alternativa para o transporte da argamassa úmida até o pavimento em que esteja ocorrendo a execução do revestimento, considerando a logística da obra e recursos disponíveis (grua, cremalheira etc.).

O transporte por bomba do material úmido (argamassa misturada) implica em necessidade de limpeza do mangote ao final do expediente (ou a cada intervalo grande entre usos) e, por isto, há desperdício de material contido no mangote por toda sua extensão (distância da bomba até o pavimento em que está ocorrendo o serviço ou local de depósito intermediário). O transporte de argamassa pronta também corrobora com maior risco de entupimento do mangote por enrijecimento do material, necessitando um cuidado extra em relação ao intervalo de uso, periodicidade de manutenção e limpeza do equipamento.

A partir dessa análise, a construtora em estudo optou pela solução oferecida pela Votorantim: Argamassa de revestimento externo para projeção contínua, fornecida em silos, por estar mais alinhada com as premissas que originaram o estudo.

3.2.1 Análise econômica-financeira

Fez-se um estudo de viabilidade econômica (Quadro 6) comparando o sistema escolhido com o tradicionalmente empregado pela empresa. Para tanto, foram considerados custos de material, mão de obra, equipamentos, serviços auxiliares e energia. O Quadro 6 apresenta os itens que compõem o custo da produção de uma fachada para os dois sistemas, cada um composto pelo tipo de argamassa (dosada em obra ou industrializada) e pelo tipo de projeção mecânica – por caneca ou contínua.

Dadas às diferenças de fornecimento, preparo e aplicação, nem todos os itens cabem a todos os sistemas. Os círculos preenchidos indicam que há um custo do item referido relacionado àquele sistema e os círculos vazios, o contrário.

Quadro 6 - Comparativo de custos envolvidos nos sistemas de execução (continua)

COMPARATIVO DE SISTEMAS			
		Sistema tradicional	Sistema escolhido
Argamassa		Dosada em obra	Industrializada (silo)
Projeção		Caneca	Contínua
ITENS			
Argamassa	Cimento	●	○
	Areia	●	○
	Cal	●	○
	Argamassa Industrializada de Revestimento Externo (projeção contínua)	○	●

Quadro 6 - Comparativo de custos envolvidos nos sistemas execução (conclusão)

COMPARATIVO DE SISTEMAS			
		Sistema tradicional	Sistema escolhido
Locação de equipamentos	Misturador de Eixo Horizontal	●	○
	Sistema de Caneca (compressor + caneca)	●	○
	Sistema de Projeção Contínua	○	●
	Locação, montagem e desmontagem de balancins leves	●	●
	Locação, montagem e desmontagem de andaimes para andares atípicos	●	●
	Sistema de descida de massa (funil)	●	○
	Dosador de areia	●	○
	Sistema de Silo (silo+ compressor+ misturador)	○	●
Mão de Obra	Descida de prumadas e mapeamento com colocação de arame	●	●
	Limpeza, escovação, encunhamento, lavagem e chapisco - panos e faixas	●	●
	Massa única desempenada espessura até 5cm - panos e faixas	●	●
	Friso na massa	●	●
	Tratamento de frisos	●	●
	Colocação de tela entre alvenaria e estrutura	●	●
Complementos	Desmontagem de bandeja primária	●	●
	Dosagem Chapisco - panos e faixas	●	○
	Dosagem Argamassa - panos e faixas	●	○
	Transporte vertical de material do chapisco (ajudante + cremalheira)	●	●
	Transporte vertical de material da argamassa (ajudante + cremalheira)	●	○
Outros	Base do silo	○	●
	Saco de ráfia para chapisco	●	○
	Saco de ráfia para argamassa	●	○
Energia	Misturadores	●	○
	Compressores + caneca	●	○
	Projeto de argamassa	○	●
	Silo	○	●

Em relação aos materiais, a Tabela 1 apresenta a diferença entre o sistema tradicional, que utiliza argamassa dosada em obra, e o sistema escolhido, que emprega argamassa industrializada, em que o primeiro é baseado na composição de cimento, areia e cal e o segundo em apenas um produto. A composição de custo por metro quadrado foi realizada considerando-se espessura de revestimento de 4,0cm.

Tabela 1 – Comparativo de custo de material de argamassa dosada em obra e de argamassa industrializada (sistema Matrix)

MATERIAIS (espessura: 4cm)		CONSUMO /M²	UND	R\$ UNT ⁽³⁾	R\$/M²		
Sistema tradicional	Areia média	0,050 ⁽¹⁾	M³	R\$ 75,00	R\$ 3,75	R\$ 8,38	REF
	Cal hidratada	0,20 ⁽¹⁾	SAC	R\$ 7,00	R\$ 1,40		
	Cimento CII32	0,17 ⁽¹⁾	SAC	R\$ 19,00	R\$ 3,23		
Sistema escolhido		80,64 ⁽²⁾	KG	R\$ 0,26	R\$ 20,97		150%
(1) Composição dos materiais do histórico da construtora (considerando perdas)							
(2) Consumo informado pelo fornecedor (considerando 12% de perda estimada)							
(3) Custos informados pelos respectivos fornecedores (ano de referência: 2014)							

O metro quadrado do revestimento considerando-se o uso de argamassa industrializada, tem custo muito superior quando comparado à adoção de argamassa dosada em obra. Entretanto, neste custo estão embutidos os custos de locação de todos equipamentos pertencentes ao sistema Matrix.

De acordo com o orçamento elaborado por uma empresa de execução de revestimento externo, o custo do aluguel do misturador e do dosador de areia (para o sistema tradicional); e do projetor de argamassa (para o sistema escolhido) já estão diluídos no custo dos demais itens. Entretanto, o sistema de caneca é cobrado por metro quadrado para panos e metro linear para faixas.

Como apresentado no Quadro 6, os balancins e andaimes são custos comuns para os dois sistemas e é cobrado pela empresa de execução como um custo fixo (não dependendo do tempo). Para a opção pela projeção contínua, não é necessário o sistema de abastecimento de argamassa por gravidade (funil).

Há economias que são difíceis de serem mensuradas, como por exemplo, a redução do uso do elevador cremalheira para transporte de materiais, pois

depende da característica da obra e sua taxa de uso da cremalheira para os outros fins. Em alguns casos, pode-se até pensar na eliminação da contratação de uma segunda cabine, não cabendo esta análise no escopo deste trabalho.

Quanto aos itens de mão de obra, foi solicitado um orçamento para a execução dos dois sistemas apresentados no Quadro 6. Fazendo um comparativo entre os valores, todos os itens do sistema escolhido (industrializado) apresentaram uma redução de 15% em relação ao sistema tradicional. Além disso, foram eliminados os custos de dosagem e transporte de material.

Um estudo de viabilidade de utilização da argamassa industrializada com o sistema Matrix foi realizado para um empreendimento e, considerando o sistema como um todo, houve economia para a obra em comparação com seu orçamento (Tabela 2).

Tabela 2 - Viabilidade econômica (comparativo de custos)

					Sistema escolhido			Sistema tradicional					
					Orçamento Constata		Resumo		Orçamento obra				
ITENS		UND	CONSUMO /M²	PERDA	QUANTIDADE	R\$ UNIT	R\$ TOTAL	QTD (m²)	R\$/M²	R\$ TOTAL	QTD (m²)	R\$/M²	R\$ TOTAL
Área de Material		m²			79.989,46								
Chapisco	Cimento	sc	0,03	Perda inclusa na composição	2.399,68			79989,46	1,23	R\$ 98.120,07	79989,46	1,41	R\$ 112.785,14
	Areia	m³	0,004		319,96								
	Resina Acrilica	kg	0,13		10.398,63								
	Votorantim Chapisco Concreto, para estrutura	kg	5	5%	104.986,17	R\$ 0,33	R\$ 34.120,50						
	Votorantim 3201, para alvenaria	kg	4	5%	251.966,80	R\$ 0,25	R\$ 63.999,57						
Massa (e=4,0 cm)	Cimento CP II E32	sc	0,17	Perda inclusa na composição	13.588,21			79989,46	20,97	R\$ 1.677.091,01	79989,46	8,12	R\$ 649.914,36
	Areia	m³	0,05		3.999,47								
	Cal	sc	0,2		15.997,89								
	Votorantim 2203	kg	72	12%	6.450.350,05	R\$ 0,26	R\$ 1.677.091,01						
Locação de equipamentos (Constata)	Sistema de Caneca - Equipamentos + Diesel (panos)	m²			48.428,87			71868,26	62,43	R\$ 4.486.926,08	71868,26	90,00	R\$ 6.468.143,40
	Sistema de Caneca - Equipamentos + Diesel (faixas)	ml			46.878,78								
	Locação, montagem e desmontagem de balancins leves	ml			607,23	R\$ 830,94	R\$ 504.589,36						
	Locação, montagem e desmontagem de andaimes para andares atípicos	vb			3,00	R\$ 19.010,50	R\$ 57.031,50						
	Sistema de descida de massa (funil)	vb			3,00								
MDO (Constata)	Descida de prumadas e mapeamento com colocação de arame	m²			71.868,26	R\$ 2,01	R\$ 144.412,08	71868,26	62,43	R\$ 4.486.926,08	71868,26	90,00	R\$ 6.468.143,40
	Limpeza, escovação, encunhamento, lavagem e chapisco - panos	m²			48.428,87	R\$ 13,07	R\$ 633.011,34						
	Limpeza, escovação, encunhamento, lavagem e chapisco - faixas	ml			46.878,78	R\$ 6,54	R\$ 306.605,97						
	Massa única desempenada espessura até 5cm (panos)	m²			48.428,87	R\$ 34,06	R\$ 1.649.550,27						
	Massa única desempenada espessura até 5cm (faixas)	ml			46.878,78	R\$ 17,03	R\$ 798.376,09						
	Friso na massa	ml			20.424,06	R\$ 14,40	R\$ 294.120,76						
	Tratamento de frisos (veda friso - Quimicryl)	ml			20.424,06	R\$ 3,02	R\$ 61.761,34						
	Colocação de tela entre alvenaria e estrutura	ml			1.542,10	R\$ 4,61	R\$ 7.108,77						
Complementos	Desmontagem de bandeja primária	ml			607,23	R\$ 50,03	R\$ 30.378,59						
	Dosagem (panos)	m²			48.428,87								
	Dosagem (faixas)	ml			46.878,78								
VALOR TOTAL						R\$ 6.262.137,16			R\$ 7.230.842,90				
Diferença (%)						-13%							
Diferença (R\$)						-R\$ 968.705,74							

Há, ainda, um valor de infraestrutura de canteiro que envolve os custos de obras civis e elétricas para instalação dos silos e custos de energia para seu funcionamento. Para esta obra, foram estimados os valores apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Custos de infraestrutura de canteiro

Instalações			Total
Elétricas	Civil	Diversos	
R\$ 80.000,00	R\$ 12.500,00	R\$ 10.000,00	R\$ 102.500,00

Na contabilização final, pela estimativa realizada, o uso da argamassa industrializada (material, mão de obra e infraestrutura) deverá gerar para esta obra uma economia R\$ 866.205,74, ou seja, uma redução de 12% em relação ao orçamento de referência feito a partir do sistema tradicional. Assim, a opção foi continuar com o desenvolvimento do sistema partindo-se para a sua avaliação técnica.

3.2.2 Avaliação técnica - Programa experimental

O desempenho do revestimento de argamassa depende de fatores como procedimentos de preparo dos substratos, propriedades dos substratos e espessura final da camada de revestimento. Por este motivo, o programa experimental contemplou as possibilidades que podem ocorrer em obra.

A Figura 4 apresenta as composições possíveis com os substratos utilizados pela construtora. Também considera os métodos de aplicação: camada única, duas camadas úmido sobre úmido e aplicação com primeira e segunda demãos (úmido sobre seco). Para estes últimos, a avaliação é quanto à aderência da segunda demão de argamassa na primeira demão (em estado úmido ou seco) e, portanto, neste caso o substrato e o chapisco não interferem (na Figura 4 constam como “indiferente”).

Figura 4 - Composições de painéis para avaliação

(Fonte: autoria própria)

A execução de painéis teste auxilia na avaliação do sistema (CEOTTO *et al.*, 2005). Os painéis foram executados em obra para simular as condições reais (Figura 5, Figura 6, Figura 7 e Figura 8).

Figura 5 - Aplicação da argamassa no painel teste

Figura 6 - Sarrafeamento da argamassa

(Fonte: fotos tiradas por Naira Ery Asano)

Figura 7 - Desempenho da argamassa (acabamento)

Figura 8 - Painéis finalizados

(Fonte: fotos tiradas por Naira Ery Asano)

Para verificar o desempenho do revestimento produzido a partir da argamassa industrializada e projeção mecânica contínua, o programa experimental considerou ensaios de caracterização da argamassa no estado fresco, ensaios de avaliação da aplicação da argamassa, avaliação do revestimento executado e caracterização no estado endurecido (CEOTTO *et al.*, 2005; BAÍA; SABBATINI, 2000) apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 - Ensaaios de caracterização da argamassa

	Ensaio	Referência
Caracterização no estado fresco	Densidade de massa no estado fresco	ABNT NBR 13278/2005
	Retenção de água	ABNT NBR 13277/2005
	Teor de ar incorporado	ABNT NBR 13278/2007
Avaliação da aplicação	Trabalhabilidade	Procedimento indicado na sequência (abaixo)
	Aderência inicial	
	Retração na secagem	
	Tempo de puxamento	
Avaliação do revestimento executado	Textura e homogeneidade	
	Grau de fissuração	
	Resistência à abrasão	
Caracterização no estado endurecido	Resistência de aderência à tração	ABNT NBR 13528/2010
	Resistência à tração na flexão	ABNT NBR 13279/2005
	Resistência à compressão	ABNT NBR 13279/2005
	Módulo de deformação dinâmico (ultrassom)	ABNT NBR 15630/2006
	Densidade de massa aparente no estado endurecido	ABNT NBR 13280/2005
	Coeficiente de capilaridade	ABNT NBR 15259/2005

Logo após o preparo da argamassa para aplicação nos painéis, retirou-se amostra para realização dos ensaios (em obra) de caracterização no estado fresco e moldagem dos corpos de prova para ensaios de resistência à tração na flexão, à compressão, módulo de elasticidade e coeficiente de capilaridade (CEOTTO *et al.*, 2005) (Figura 9, Figura 10, Figura 11 e Figura 12).

Os ensaios de caracterização no estado fresco e endurecido seguiram normas de referência e foram executados por laboratório acreditado pela Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaios (RBLE).

Figura 9 - Ensaio da determinação da retenção de água

(Fonte: Fotos tiradas por Naira Ery Asano)

Figura 10 - Ensaio de densidade de massa no estado fresco

Figura 11 - Moldagem de CPs para ensaio de módulo de deformação

Figura 12 - Preparo de CPs para ensaio de resistência de aderência à tração

(Fonte: Fotos tiradas por Naira Ery Asano)

As avaliações da aplicação e do revestimento executado devem contemplar:

- Trabalhabilidade (avaliação qualitativa) (BAÍÁ; SABBATINI, 2000):
 - facilidade de penetração da colher de pedreiro sem ser fluida;
 - coesão e não ocorrência de segregação após ser transportada e lançada por bombeamento;
 - facilidade de distribuição e preenchimento de todas as reentrâncias do substrato.

- Aderência inicial:
 - não ocorrência de deslocamento ou deslizamento durante a aplicação (CEOTTO *et al.*, 2005).
- Retração na secagem:
 - não formação de fissuras durante a secagem da argamassa (BAÍA; SABBATINI, 2000).
- Tempo de puxamento:
 - o “período de tempo necessário para a argamassa perder parte da água de amassamento e chegar a uma umidade adequada para iniciar as operações de acabamento” (BAÍA; SABBATINI, 2000).
- Rugosidade superficial e homogeneidade:
 - ocorrência de variação na rugosidade superficial e manchamento do revestimento.
- Grau de fissuração:
 - aparecimento de fissura ao molhar o painel com 4 dias de idade;
 - ocorrência de fissuras no revestimento.
- Resistência à abrasão:
 - resistência da superfície do revestimento ao risco com instrumento cortante (espátula ou prego). “Não poderão se formar riscos profundos, superiores a 0,5mm” (CEOTTO *et al.*, 2005).

3.3 Resultados obtidos no programa experimental

Os ensaios foram realizados de acordo com a metodologia das normas de referência ou realizando as avaliações mencionadas no item 3.2.2.

A ABNT NBR 13281/2005 apresenta forma de classificação das argamassas quanto às suas características e propriedades (Quadro 8). Essa norma elenca sete requisitos e cada um está dividido em seis faixas de valores de resultados, exceto para a resistência potencial de aderência à tração que está dividido em três. As faixas podem se sobrepor e nestes casos deve-se adotar a maior classificação.

Quadro 8 - Classificação das argamassas para diferentes características e propriedades

Classe	Resistência à compressão MPa
P1	$\leq 2,0$
P2	1,5 a 3,0
P3	2,5 a 4,5
P4	4,0 a 6,5
P5	5,5 a 9,0
P6	$> 8,0$

Classe	Densidade de massa aparente no estado endurecido kg/m ³
M1	$\leq 1\ 200$
M2	1 000 a 1 400
M3	1 200 a 1 600
M4	1 400 a 1 800
M5	1 600 a 2 000
M6	$> 1\ 800$

Classe	Resistência à tração na flexão MPa
R1	$\leq 1,5$
R2	1,0 a 2,0
R3	1,5 a 2,7
R4	2,0 a 3,5
R5	2,7 a 4,5
R6	$> 3,5$

Classe	Coefficiente de capilaridade g/dm ² .min ^{1/2}
C1	$\leq 1,5$
C2	1,0 a 2,5
C3	2,0 a 4,0
C4	3,0 a 7,0
C5	5,0 a 12,0
C6	$> 10,0$

Classe	Densidade de massa no estado fresco kg/m ³
D1	$\leq 1\ 400$
D2	1 200 a 1 600
D3	1 400 a 1 800
D4	1 600 a 2 000
D5	1 800 a 2 200
D6	$> 2\ 000$

Classe	Retenção de água %
U1	≤ 78
U2	72 a 85
U3	80 a 90
U4	86 a 94
U5	91 a 97
U6	95 a 100

Classe	Resistência potencial de aderência à tração MPa
A1	$< 0,20$
A2	$\geq 0,20$
A3	$\geq 0,30$

(Fonte: ABNT NBR 13281/2005)

Os resultados obtidos no programa experimental estão apresentados no Quadro 9. Quando o item é um dos requisitos mencionados pela ABNT NBR 13281/2005, definiu-se a classe em que se enquadram.

Quadro 9 - Resultados do programa experimental

RESULTADOS DOS ENSAIOS - COMPARATIVO		
	Argamassa industrializada para projeção	Argamassa dosada em obra (REF)
Densidade de massa no estado fresco	1823kg/m ³ (D5)	2034 kg/m ³ (D6)
Teor de ar incorporado	26%	6%
Retenção de água	81% (U3)	80% (U3)
Densidade de massa aparente no estado endurecido	1750 kg/m ³ (M5)	1877 kg/m ³ (M6)
Resistência à compressão	6,5 MPa (P5)	5,2 MPa (P4)
Resistência à tração na flexão	2,64 MPa (R4)	1,3 MPa (R2)
Coeficiente de capilaridade	8,3 g/dm ² .min ^{1/2} (C5)	0,6 g/dm ² .min ^{1/2} (C1)
Módulo de deformação	1,1 GPa (Tangente)	1,46 GPa (Tangente) 10,5 GPa (Dinâmico)

No ensaio de resistência de aderência à tração direta, a argamassa de projeção contínua se enquadrou na classe A3, conforme resultados apresentados no Quadro 10:

Quadro 10 - Resultados de resistência de aderência à tração

RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO						
Substrato	Chapisco	Espessura (cm)	Aplicação	Resist. à tração (MPa)	Tipo de ruptura predominante	Coef. de Variação
Bloco Cerâmico	Dosado	4,0	camada única	0,74	interface substrato-chapisco	32%
	Industrializado	4,0		0,53	argamassa	24%
Bloco concreto	Dosado	4,0		0,98	argamassa	24%
	Industrializado	4,0		0,79	interface substrato-chapisco	23%
Concreto	Dosado	4,0		0,63	argamassa	31%
	Industrializado	4,0		0,57	argamassa	30%
Bloco cerâmico	Dosado	7,0 (4+3)	úmido sobre úmido	0,65	interface substrato-chapisco	27%
Estrutura	Dosado	10,0	camada única	A argamassa não apresentou aderência inicial e deslocou ainda úmida.		
Estrutura	Dosado	10,0 (5+5)	úmido sobre seco	0,41	argamassa (não na interface entre camadas)	35%

A argamassa apresentou resultados satisfatórios para a resistência mecânica do revestimento produzido, todos superiores a 0,30MPa exigido pela ABNT NBR 13528/2010. A ruptura predominante ocorreu no corpo da argamassa, o que demonstra que o revestimento possui potencial de atingir valores superiores de resistência de aderência na interface com o chapisco e do chapisco com o substrato.

Nos casos de espessuras elevadas, a argamassa apresentou aderência entre camadas não havendo ruptura na metade da espessura, ou seja, interface argamassa (1ª camada) - argamassa (2ª camada).

Durante a aplicação para a execução dos painéis, foram analisados a trabalhabilidade, o tempo de puxamento da argamassa, a aderência inicial (capacidade de se manter aplicada sem queda) e a retração na secagem.

Ao se trabalhar com a argamassa observou-se que o produto permitia a penetração com facilidade da colher de pedreiro, sem ser fluida, mantendo-se coesa. Ao ser projetada, apresentou boa aderência inicial, garantindo uma espessura sem que se espalhasse por completo e não houve deslocamento ou deslizamento. Apenas no painel em que se projetou 10cm de espessura em uma única etapa (Figura 13) houve deslizamento da argamassa ainda úmida (Figura 14).

Figura 13 - Projeção da argamassa com 10cm de espessura em uma única etapa

Figura 14 - Deslizamento da argamassa

(Fonte: fotos tiradas por Maria Victória Gimenez)

Durante o tempo de uso da argamassa (aproximadamente 2 horas) ela não apresentou exsudação e, próximo ao fim do período de manuseio, a argamassa começou a sofrer uma variação de consistência, apresentando aparência mais seca e certa dificuldade de penetração com a colher.

Após aplicada, a argamassa apresentou tempos de puxamento desiguais, variando de 40 a 60 minutos. Isso se deve ao potencial de absorção dos materiais constituintes do substrato. A estrutura de concreto tem menor absorção e a argamassa demora mais para “puxar” em comparação com os blocos cerâmicos e de concreto. Após este período, a argamassa apresentou resistência à penetração dos dedos sem aderir neles. Durante o sarrafeamento não houve formação de fissuras nem destacamento da camada. A operação de acabamento proporcionou superfície lisa apenas com a desempenadeira de madeira. Durante a secagem dos painéis não foi constatada a formação de

fissuras. Mesmo após 4 dias da execução, ao serem molhados, os painéis não apresentaram fissuras.

Após 28 dias da produção dos revestimentos, os painéis estavam íntegros, sem fissuras, com a superfície lisa e com a coloração homogênea. Ao serem riscados com um prego, resultava um traço quase sem profundidade.

4. CONCEPÇÃO E IMPLANTAÇÃO

4.1 Concepção aprofundada da tecnologia

O entendimento completo do método de projeção mecânica contínua é essencial para que a implantação seja bem sucedida. Devem-se conhecer as limitações do sistema e adaptá-las às condições do canteiro. O método de execução também deve ser considerado para definição da logística e planejamento da obra.

4.1.1 Sistema Matrix

O sistema de silo da Votorantim, nomeado Sistema Matrix, é:

composto por silos verticais de recepção e armazenamento de argamassa com capacidades de até 33 ton/silo, sistema de transporte vertical de material a seco composto por sopradores e válvulas de controle e por um sistema de recepção e mistura contínua do material, com dosagem controlada de água de amassamento (VOTORANTIM, 2014).

Os equipamentos que compõem o sistema são da empresa M-TEC (Figura 15).

Figura 15 - Equipamentos do Sistema Matrix

(Fonte: adaptado de <http://mapadaobra.com.br> e <http://www.m-tec.com/pt/index.php>)

O silo do Sistema Matrix é pressurizado e possui uma ou duas saídas. O bloco transporte (ou pneumático), conectado a cada saída, é responsável pelo controle e regulação da pressão interna do silo (ideal 1,5 bar) e pelo direcionamento do ar comprimido para a realização do transporte pneumático (Figura 16, Figura 17 e Figura 18).

O compressor ligado ao bloco gera pressão por meio de ar comprimido.

Figura 16 - Direcionamento do ar comprimido no bloco de transporte

(Fonte: foto tirada por Naira Ery Asano)

Figura 17 - Entrada de ar comprimido no silo

(Fonte: foto tirada por Naira Ery Asano)

Figura 18 - Saída do material seco do bloco de transporte

(Fonte: foto tirada por Naira Ery Asano)

Existe a possibilidade da associação em série de compressores para que o transporte atinja maiores distâncias horizontais e verticais.

O material é transportado por uma mangueira. Ao chegar ao pavimento (Figura 19), a outra ponta da mangueira é conectada à tampa filtro que fica acoplada acima dos equipamentos misturadores (Figura 20). Este acessório é importante para não haver o levantamento do pó e evitar perda dos finos da argamassa.

Figura 19 - Chegada da mangueira de transporte ao pavimento

Figura 20 - Entrada da mangueira na tampa filtro

(Fonte: fotos tiradas por Naira Ery Asano)

O sistema oferece duas possibilidades de equipamento para mistura. A primeira é a Duo Mix (Figura 21) – equipamento patenteado de mistura e bombeamento de argamassa, composto por um misturador de eixo helicoidal, bomba de água, compressor, projetor de argamassa e acessórios (jogo de mangueiras e bico projetor). Segundo a M-TEC (2014), a mistura é realizada sobre um leito de água, o que garante uma mistura mais precisa e possibilita a produção de 22l/min.

Quanto ao projetor, permite transportar a argamassa pronta, por meio da mangueira de transporte, a distância horizontal de 60m e a alturas de 30m, garantindo pressão de 30bar. A mangueira de ar comprimido vai ligada à mangueira de transporte por toda sua extensão e se conectam na ponta. Pelo bico projetor a argamassa é liberada juntamente com o ar comprimido.

Figura 21 – Duo Mix

(Fonte: adaptado de <http://www.mapadaobra.com.br/produtos/argamassa/matrix/sistema>)

A segunda opção para a mistura é o equipamento D30 (Figura 22) que é apenas misturador contínuo de eixo helicoidal (Figura 23) que atinge uma produção de até 30l/min. O equipamento trabalha com uma tensão de 380V trifásico.

Figura 22 – D30

(Fonte: adaptado de <http://www.mapadaobra.com.br/produtos/argamassa/matrix/sistema>)

Figura 23 - Eixo helicoidal

(Fonte: fotos tiradas por Naira Ery Asano)

Uma bomba de água para dosagem está acoplada a ele. Ela succiona água através de uma mangueira submersa em tanque de água (Figura 24).

Figura 24 - Mangueira submersa no tanque de água

(Fonte: foto tirada por Naira Ery Asano)

O equipamento permite a regulação da quantidade de água correta para o preparo da argamassa e a mistura ocorre automaticamente, não havendo necessidade de um profissional responsável por ela (Figura 25).

Figura 25 - Regulagem da água por rotâmetro

(Fonte: foto tirada por Naira Ery Asano)

Como não dispõe de função de transporte da argamassa produzida, é necessário acrescentar ao sistema um projetor de argamassa com um conjunto de mangueiras e bico projetor.

4.1.2 Sistema de abastecimento

O abastecimento dos silos é feito por caminhão graneleiro equipado com um compressor (Figura 26). Este é conectado ao silo por um mangote (distância máxima caminhão-silo: 10m) e o material seco é bombeado. O tempo de reabastecimento é de aproximadamente 40 minutos.

Figura 26 - Caminhão graneleiro

(Fonte: foto tirada por Naira Ery Asano)

4.1.3 Sistema de projeção ANVI

Nos casos em que se opte pelo uso do equipamento D30 é necessário acrescentar um projetor de argamassa. O equipamento é uma bomba de eixo helicoidal com rotor e estator. Em sua saída, é ligada uma mangueira para transporte da argamassa pronta de 1,5pol e 20m de comprimento (podendo ser ampliada em até 60m). Possui um compressor acoplado que comprime o ar que é conduzido por outra mangueira que caminha paralelamente à de transporte do material. As duas mangueiras encontram-se no bico projetor, onde uma libera o material e a outra libera o ar que gera o efeito de spray para a projeção da argamassa (Figura 27 e Figura 28).

Figura 27 - Projettor de argamassa

(Fonte: <http://www.anvi.com.br/produtos/projetores-de-argamassa/bomba-projetor-para-argamassa-anvijet-400/>)

Figura 28 - Componentes do projetor

(Fonte: adaptado de <http://www.anvi.com.br/produtos/projetores-de-argamassa/bomba-projetor-para-argamassa-anvijet-400/>)

O equipamento da Anvi (Anvijet 400) trabalha com motor-redutor coaxial de 7,5hp, 380V trifásico e tem capacidade de bombeamento de 2m³/h. Segundo o fornecedor, possui alcance de projeção de 60m na horizontal, 50m na vertical subindo e 60m na vertical descendo.

Idealmente, o equipamento deve operar com corrente de 11 amperes.

4.1.4 Argamassa 2203 Votorantim

A 2203 Massa de Projeção é uma “mistura homogênea de cimento Portland, agregados minerais com distribuição granulométrica controlada e aditivos químicos” (VOTORANTIM, 2014). É indicada para execução de revestimento externo com projeção contínua com bombas helicoidais.

Seu uso na fachada exige a aplicação prévia de chapisco, tanto na estrutura de concreto quanto na alvenaria (bloco cerâmico ou bloco de concreto).

O preparo deste produto deve ser por mistura mecânica com misturador horizontal contínuo ou intermitente. Quando fornecida ensacada, a quantidade de água necessária é informada na sacaria em litros por saco (Figura 29). No fornecimento a granel, a vazão de água (litros por hora) é informada na nota fiscal. Estes valores podem variar, pois depende da usina em que a argamassa foi fabricada. Deve-se adicionar metade da água, em seguida adicionar todo o volume de argamassa e completar com o restante da água. O tempo de mistura é de 2 minutos após o acréscimo de toda água.

Figura 29 - Quantidade de água impressa na sacaria

(Fonte: foto tirada por Naira Ery Asano)

A aplicação deve ser realizada em faixas horizontais, de baixo para cima (Figura 30).

Figura 30 - Projeção de baixo para cima

(Fonte: Foto tirada por Naira Ery Asano)

Ao término da projeção (atingida a espessura desejada), a argamassa deve ser imediatamente alisada (sarrafeada) com auxílio de régua metálica tornando a superfície nivelada. A argamassa “cortada” (excesso) pode ser utilizada para preencher os vazios, reduzindo o desperdício.

Após o tempo de puxamento (aproximadamente 1 hora), deve-se executar o acabamento com desempenadeira plástica.

O tempo máximo de utilização deste produto é de 2 horas, devendo-se tomar o devido cuidado para evitar entupimento do equipamento (mangueira e bico projetor).

4.2 Infraestrutura do canteiro

4.2.1 Instalação do silo

Para a implantação do Sistema Matrix, é necessário um estudo logístico devido a algumas limitações e exigências quanto ao uso dos equipamentos.

Para o posicionamento do silo é necessária uma área de aproximadamente 9m², com capacidade para suportar carga de 35 toneladas (silo + argamassa). Quando locado sobre solo, exige-se uma base de 3mx3mx0,15m de concreto de 20MPa, armado com barras de 6,3mm a cada 20cm. No caso de locação sobre laje, deve-se consultar o projetista de estrutura para verificar a necessidade de dimensionar o escoramento.

Na escolha do local de instalação, é necessário considerar área para manobra de um caminhão graneleiro e altura livre suficiente para bascular o silo (ausência de fiação, árvores etc.). Para instalações em que não se tem a possibilidade de acesso para o caminhão, deve-se prever um guindaste para a retirada e posicionamento do silo em local com alcance da lança.

Deve-se considerar também que o reabastecimento é realizado pelo acoplamento do caminhão graneleiro ao silo por meio de uma mangueira e que este bombeamento tem limite de 10m de distância. Outro fator é a limitação do bombeamento da argamassa do silo até o misturador, como mostra o Quadro 11, ou seja, quanto mais distante o silo estiver da torre, menor será o alcance vertical. Uma opção para atingir alturas acima de 50m é a utilização de compressores em série.

Quadro 11 - Distâncias máximas para bombeamento da argamassa seca entre silo e torre

Distância caminhão - silo	Distância silo - torre	
	Horizontal	Vertical
< 10m (na horizontal)	de 20m a 25m	0
	de 10 a 20m	10m
	< 10m	50m

(Fonte: <http://www.mapadaobra.com.br/produtos/argamassa/matrix/sistema>)

Para vencer as distâncias horizontais, o ideal é que o mangote não tenha o caminhamento reto (todo na horizontal), pois isso pode ocasionar segregação pelo carregamento dos finos pelo ar (Figura 31).

Figura 31 - Segregação dos finos dentro do mangote em posição horizontal reta durante processo de bombeamento da argamassa

(Fonte: autoria própria)

Recomenda-se que o trajeto horizontal seja feito em “U” (Figura 32) para que o mangote tenha toda sua seção preenchida com material e evite a segregação.

Figura 32 - Trajeto horizontal em "U" recomendado para o bombeamento da argamassa entre silo e torre

(Fonte: autoria própria)

Em locais onde ocorre dobra de 90° no mangote, como, por exemplo, platibandas, é boa prática o uso de joelhos 45° (Figura 33).

Figura 33 - Boa prática nas dobras

(Fonte: fotos tiradas por Márcia Oliveira)

Para a instalação do silo, os seguintes documentos são necessários, visando à garantia da segurança do trabalho:

- Manual;
- ART do equipamento, manutenção e instalação;
- Livro de responsabilidade técnica constando manutenção corretiva e preventiva;
- Laudo de aterramento.

4.2.2 Energia

Os equipamentos utilizados pelo sistema Matrix exigem potências altas (Quadro 12 e Quadro 13); portanto, estas devem ser previstas no quadro de energia e, quando não for possível a sua obtenção diretamente da rede, deve-se prever a locação de geradores.

Quadro 12 - Potências, tensão e corrente dos equipamentos Matrix

Máquina Misturadora Móvel (D30)				Silo / Bloco Pneumático			
Motor	Pot. (kW)	Tensão (V)	Corrente (A)	Motor	Pot. (kW)	Tensão (V)	Corrente (A)
Motor de transporte	5,5	380	20,4 / 11,8	Motor compressor	12	380	39,41 / 22,81
Motor bomba d'água	0,55	380	2,30 / 1,33	Motor Bloco Pneumático	0,06	380	1 / 0,5
Potência Total	6,05			Potência Total	12,06		

Quadro 13 - Potência exigida para instalação dos equipamentos (resumo)

Equipamento	Potência
Sistema Matrix com 2 compressores em série	30kW
Sistema Matrix com 1 compressor	18kW
Projeto de argamassa	15kW

Deve-se montar um quadro elétrico (Figura 34) exclusivo para o sistema Matrix (alimentando o silo, o bloco pneumático, o compressor e a D30). Para cada conjunto, deve-se considerar:

- 1 disjuntor geral de 100 amperes;
- 2 disjuntores de 50 amperes para uma D30 e um compressor;
- 2 disjuntores de 40 amperes no caso de segundo compressor.

Obs: o bloco de transporte é alimentado pelo compressor.

Figura 34 - Quadro do sistema Matrix

(Fonte: foto tirada por Naira Ery Asano)

Apesar da D30 estar locada nos pavimentos da torre, ela é alimentada pelo quadro locado próximo ao silo.

As centrais de argamassa necessitam de um quadro contendo uma tomada de 32 amperes para cada equipamento misturador-projetor (Anvijet) e, a cada duas tomadas, um disjuntor de 63 amperes (Figura 35 e Figura 36). Não é necessária a montagem de um quadro para cada pavimento. O quadro pode acompanhar a movimentação das centrais pelos pavimentos; entretanto, o ideal é possuir dois quadros, pois assim será possível suprir as necessidades de equipes com velocidades diferentes e a necessidade de mudança de pavimentos de alguns equipamentos e de outros não.

Figura 35 - Quadro elétrico dos pavimentos

(Fonte: foto tirada por Naira Ery Asano)

Figura 36 - Quadro elétrico dos pavimentos (simplificado)

(Fonte: foto tirada por Naira Ery Asano)

4.2.3 Água

Para o fornecimento de água para o preparo da argamassa, devem-se prever duas caixas d'água de 1000l ligadas a uma prumada que deve ser exclusiva para a execução do revestimento externo. É necessária uma bomba submersa para fazer a distribuição da água para as centrais de produção de argamassa espalhadas pelo pavimento. Essa bomba deve ser ligada no quadro elétrico do pavimento. Cada central deve dispor de dois tambores de 200l (Figura 37) para abastecer a D30, apoiados sobre mesa de, aproximadamente, 1m de altura.

Figura 37 - Bombonas de água

(Fonte: foto tirada por Naira Ery Asano)

4.3 Locação das centrais de argamassa

Com o sistema de fornecimento de argamassa para os balancins por meio das Anvijets, não é necessária a locação das centrais na cobertura como em sistemas que carecem de fornecimento de balancins por gravidade pelo funil. As centrais de preparo de argamassa são locadas nos pavimentos da torre e, devido ao alcance das mangueiras da Anvijet, é possível realizar a locação das centrais em apenas alguns pavimentos, não em todos.

O fornecedor informa um alcance de 60m na horizontal, 50m na vertical subindo e 60m na vertical descendo. Porém, em campo, constatou-se que há perda de pressão de projeção quanto há grandes distâncias entre a Anvijet e o bico projetor. Assim, o ideal é utilizar a Anvijet para projeção no mesmo pavimento onde está locada a central e, no máximo, 6 pavimentos abaixo. Em caso de projeção para pavimento superior, não se deve ultrapassar o pavimento imediatamente acima de onde está locada.

Nos pavimentos em que serão locadas as centrais, deve-se prever a não instalação das portas e batentes, pois estas podem ser danificadas com a movimentação dos equipamentos. Em alguns casos, a configuração das

alvenarias pode prejudicar ou até impossibilitar a movimentação; portanto, é importante um planejamento quanto a este aspecto. No exemplo das Figura 38 e Figura 39, nota-se que na frente da entrada do apartamento há uma alvenaria que obriga a realização de uma curva para acesso (Figura 38). Neste caso, foi necessária a quebra da espaleta (Figura 39) para passagem do equipamento, o que gerou retrabalho.

Figura 38 - Planta do apartamento

(Fonte: projeto de arquitetura de empreendimento TECNISA)

Figura 39 - Espaleta quebrada

(Fonte: foto tirada por Naira Ery Asano)

No caso de locação da central dentro de apartamento, o ideal é que não esteja com acabamentos, mas se estiverem com revestimento vertical e contrapiso prontos, é adequado que se faça proteção com plástico nas paredes e compensado de madeira no piso (Figura 40).

Figura 40 - Proteção do local onde está instalada a central de produção de argamassa nos casos em que os revestimentos verticais e contrapisos estiverem prontos

(Fonte: foto tirada por Naira Ery Asano)

4.4 Balancins

Cada balancim deve estar equipado com um caixote para reservar a argamassa em excesso que é retirada da parede quando do alisamento. Este material pode ser utilizado, dentro de duas horas, para preenchimento de áreas com espessura inferior à espessura total do pano. Além disso, para os balancins cuja área de alcance possua janela, é necessária a fabricação de uma proteção em compensado de madeira para fechamento do vão, para que não haja respingos de argamassa para dentro do ambiente (Figura 41).

Figura 41 - Compensado de madeira para proteção do vão de janelas quando da aplicação do revestimento externo

(Fonte: foto tirada por Naira Ery Asano)

4.5 Planejamento da execução

O planejamento para execução do revestimento de fachada com o sistema de projeção contínua é baseado no projeto de balancins que contempla a disposição destes de acordo com as características do perímetro da torre.

Pela experiência da empresa de execução de revestimento externo, a Constata, o ideal é planejar a execução com uma equipe formada por 3 pedreiros a cada 4 balancins. Esta equipe é atendida por um ajudante que manuseia os equipamentos (D30 e Anvijet) para preparo e fornecimento de argamassa. A sequência otimizada de execução é baseada na divisão de atividades, ou seja, eles devem trabalhar como equipe e não mais como um pedreiro responsável por um balancim. O cronograma diário está representado na Figura 42.

Figura 42 - Cronograma de atividades da equipe ideal de produção de revestimento de fachada por projeção mecânica contínua

	Balancim 1	Balancim 2	Balancim 3	Balancim 4	Central
07:00	Pedreiro 1 PROJEÇÃO				Ajudante PREPARO DA ARGAMASSA
08:00	Pedreiro 2 SARRAFEAMENTO	Pedreiro 1 PROJEÇÃO			
09:00	Pedreiro 3 DESEMPENAMENTO	Pedreiro 2 SARRAFEAMENTO	Pedreiro 1 PROJEÇÃO		
10:00	Pedreiro 3 DESEMPENAMENTO		Pedreiro 2 SARRAFEAMENTO	Pedreiro 1 PROJEÇÃO	
11:00	Pedreiro 3 DESEMPENAMENTO			Pedreiro 2 SARRAFEAMENTO	Ajudante LIMPEZA DO EQUIPAMENTO
12:00	Almoço				
13:00		Pedreiro 1 DESEMPENAMENTO	Pedreiro 2 DESEMPENAMENTO	Pedreiro 3 DESEMPENAMENTO	Ajudante LIMPEZA DA BANDEIA
14:00		Pedreiro 1 DESEMPENAMENTO	Pedreiro 2 DESEMPENAMENTO	Pedreiro 3 DESEMPENAMENTO	
15:00		Pedreiro 1 DESEMPENAMENTO	Pedreiro 2 DESEMPENAMENTO	Pedreiro 3 DESEMPENAMENTO	
16:00					
17:00					

(Fonte: adaptado de cronograma da empresa executora do revestimento - Constata)

Após às 16:00 os pedreiros executam os frisos e realizam preparos para a execução no dia seguinte, como taliscamento, fixação de tela etc.

Um ajudante deve ser previsto para operar os silos, garantindo o funcionamento correto dos equipamentos, com atenção especial à pressurização dos silos. Não é necessário um funcionário por silo, apenas um é suficiente para quatro silos locados próximos, por exemplo.

5. EXECUÇÃO DO PROTÓTIPO E PILOTO

5.1 Execução do protótipo

O protótipo foi definido para a escala de uma torre. Como recomenda Barros (1996), foram envolvidos departamentos da empresa com interface com a atividade de execução de revestimento de fachada, como os de suprimentos, gestão da mão de obra, projetos para produção e planejamento, além da equipe de obra.

A participação da empresa contratada para a execução do revestimento externo, a Constata, e da fornecedora de argamassa, a Votorantim, foi essencial para o planejamento conjunto. Auxiliaram no dimensionamento e posicionamento do sistema, na instalação dos equipamentos e na execução.

5.1.1 Características da torre protótipo

A torre possui 28 pavimentos tipo, térreo, 2 sobressolos e 1 subsolo. Foi executada em estrutura reticulada de concreto armado e fechamento em alvenaria de vedação de bloco cerâmico (Figura 43).

Figura 43 - Torre protótipo

(Fonte: <http://www.tecnisa.com.br/imoveis/sp/sao-paulo/apartamentos/bosque-jequitiba/estagio-da-obra/228>)

São quatro unidades por andar, apresentando uma tipologia “H” (Figura 44) com perímetro de, aproximadamente, 215m.

Figura 44 - Planta tipo do protótipo

(Fonte: projeto de arquitetura do empreendimento TECNISA)

Do nível da rua ao nível do piso do pavimento térreo tem-se 6,5m de altura e do piso do pavimento térreo até o nível do teto do 28º pavimento são 84,7m de altura (Figura 45). A distância piso a piso dos pavimentos tipo é de 2,8m.

Figura 45 - Altura da torre

(Fonte: adaptado de projeto de arquitetura do empreendimento TECNISA)

5.1.2 Planejamento

Para atender todo o perímetro da torre, com exceção da área da cremalheira, foram dispostos 21 balancins leves, conforme projeto elaborado pela Constata. A Figura 46 ilustra uma das imagens do projeto.

Figura 46 - Um dos elementos do projeto de balancins elaborado pela empresa Constata para o empreendimento piloto.

(Fonte: Projeto elaborado pela Constata)

Baseado no planejamento apresentado no item 4.5, a Constata dimensionou cinco equipes formadas por três pedreiros e um ajudante cada uma, de modo que cada equipe trabalhasse em quatro balancins (aproximadamente 16,5m). Uma equipe formada por um pedreiro e um ajudante seria responsável pelo balancim ao lado do elevador cremalheira, com a função exclusiva de requadrear a viga da sacada (comprimento do balancim de 8,0m).

Logo, para seis equipes eram necessários seis postos de trabalho, isto é, três silos com saída dupla, associados a seis sistemas de transporte, seis misturadores e seis projetores de argamassa, cada um com mangueira e bico de projeção.

A altura da torre, segundo dados técnicos do sistema empregado, exigia que o sistema de transporte fosse dimensionado para trabalhar com dois compressores em série.

A implantação do empreendimento era favorável, pois a torre estava próxima a rua. Entre a torre e a rua havia 5,0m de laje do térreo e 5,6m de terreno (Figura 47).

O estudo logístico de posicionamento dos silos foi de responsabilidade da Votorantim. Dada a pequena distância da rua à torre, optou-se por locar os silos no terreno (nível da rua), próximo ao muro de divisa (Figura 48 e Figura 49), de maneira que os silos pudessem ser basculados quando da sua instalação. Um posicionamento mais próximo da torre, exigiria que os silos deveriam ser locados na laje do térreo, gerando a necessidade de escoramento da estrutura e uso de guindaste para o posicionamento do silo no local. Por isto, esta solução foi descartada.

Figura 48 - Localização da torre e silos

(Fonte: Projeto elaborado pelo depto. Projetos para Produção TECNISA)

Figura 49 - Posição dos silos no edifício protótipo: junto à divisa apoiados sobre o terreno

(Fonte: foto tirada por Naira Ery Asano)

Definiu-se que as D30 (equipamento que recebe a argamassa seca e realiza a mistura com água) e Anvijet (equipamento de projeção da argamassa) seriam locadas nos pavimentos: 26º, 22º, 18º, 14º, 10º e 6º. Por limitação de caminhamento horizontal do sistema Matrix, os mangotes que transportam a argamassa seca subiriam pela fachada, na prumada da sacada, chegando às D30 posicionadas na sala (Figura 50).

Figura 50 - Posição das D30 no pavimento

(Fonte: adaptado de projeto de arquitetura do empreendimento TECNISA)

Quanto à infraestrutura do canteiro, a equipe da obra planejou a realização das bases de concreto para recebimento dos silos e o aumento da entrada de energia para suprir a demanda do sistema Matrix, não optando pelo aluguel do gerador.

5.1.3 Execução

Apesar de se ter feito o planejamento, houve imprevistos ao iniciar a execução. Por indisponibilidade de equipamentos, a Votorantim forneceu sistema de transporte da argamassa composto por apenas um compressor por saída. Com isto, para as posições da central de argamassa do 26º e 22º pavimentos, com alturas de 82,1m e 70,9m, respectivamente, a pressão gerada por um compressor não era suficiente para vencer a altura e a chegada da argamassa na D30 era intermitente ou com vazão baixa. Em consequência, a produção de argamassa úmida, que deveria ser contínua, era constantemente interrompida, para que se conseguisse preencher a caçamba da D30 com argamassa anidra para, então, realizar a mistura. Além deste inconveniente, por trabalhar em uma condição acima da sua capacidade, houve quebra do compressor por sobrecarga e, sem conseguir transportar o material seco adequadamente, ocorriam entupimentos no mangote.

À vista disto, a produção de argamassa tornou-se o gargalo do processo, reduzindo a produtividade das equipes. Decidiu-se, portanto, pela substituição do sistema Matrix por sistema ensacado e mistura com misturador convencional de eixo horizontal para atender os pavimentos superiores. Como os misturadores convencionais não dependiam do silo para serem abastecidos, estes puderam ser locados espalhados pelo pavimento e não mais concentrados em apenas um lado da torre.

Ao atingir a terceira posição de central (18º pavimento – 59,7m de altura), constatou-se que o sistema de transporte com um compressor atendia adequadamente, garantindo fornecimento contínuo de argamassa anidra. Entretanto, ao retornar ao planejado (centrais de argamassa locados em um lado da torre), notou-se que havia uma grande perda de pressão das Anvijets, quando da projeção na fachada oposta à locação das centrais. A Figura 51 ilustra um

exemplo de caminhamento crítico do mangote, cuja distância é de aproximadamente 40m.

Figura 51 - Exemplo de caminho de mangote para atingir a fachada oposta

(Fonte: adaptado de projeto de arquitetura do empreendimento TECNISA)

Para não haver prejuízo no desempenho do revestimento de fachada devido à baixa energia de projeção, decidiu-se por posicionar as Anvijets espalhadas pelo pavimento (não mais na saída das D30), fazendo sua alimentação por argamassa transportada por jérica, a partir da D30. Isto criou atividades de fluxo que não agregam valor ao produto final, pois a argamassa era misturada na D30 e, em seguida, depositada em um caixote de onde um ajudante a colocava na jérica, transportava e descarregava na Anvijet (Figura 52). Além disso, o transporte não era rápido o suficiente para garantir continuidade na projeção da argamassa na fachada.

Figura 52 - Abastecimento da Anvijet por jerica

(Fonte: foto tirada por Naira Ery Asano)

Como havia misturadores convencionais na obra, que foram utilizados nos pavimentos mais altos, optou-se por realizar o atendimento de metade da torre sem o sistema Matrix, ou seja, a obra ficou com dois tipos de fornecimento de argamassa, pois metade da torre trabalhava com argamassa em silo e a outra, ensacada. As vantagens de não se trabalhar com sacos, por exemplo, facilidade no abastecimento, eliminação do transporte vertical etc., foram reduzidas.

Ao longo da produção, notou-se que o sistema de dosagem de água da D30 é dependente das características da água e qualquer variação, por exemplo, um pequeno resíduo, desregula o rotâmetro. A água armazenada nos recipientes que ficavam no pavimento estava sujeita à contaminação e foi recorrente a desregulagem e entupimento da válvula de entrada. Com a dosagem incorreta da água, a argamassa produzida não apresentava trabalhabilidade adequada. Para tanto, era necessário realizar uma remistura. A argamassa era despejada em um caixote plástico (Figura 53), adicionava-se mais água e misturava-se manualmente (Figura 54). Depois era feito o abastecimento da Anvijet (Figura 55 e Figura 56).

Figura 53 - Argamassa depositada em caixote

Figura 54 - Remistura da argamassa (manual)

(Fonte: fotos tiradas por Naira Ery Asano)

Figura 55 - Coleta da argamassa do caixote

Figura 56 - Abastecimento manual da Anvijet

(Fonte: fotos tiradas por Naira Ery Asano)

Para minimizar as ocorrências de desregulagem do rotâmetro, um filtro foi conectado à entrada de água, na ponta da mangueira de sucção (Figura 57).

Figura 57 - Filtro na entrada de água da mangueira

(Fonte: foto tirada por Márcia Oliveira)

Além disso, notou-se que as Anvijets eram sensíveis às oscilações de tensão da obra. O ideal é que estes equipamentos trabalhem com tensão de 380V, entretanto ocorrem oscilações de energia e, com isso, o equipamento perde desempenho. Por exemplo, uma tensão ao redor de 360V levava a que os equipamentos perdessem pressão de projeção.

Outro ponto crítico das Anvijets foi o sistema de rotor e estator. A passagem da argamassa é muito estreita e qualquer detrito (resíduo de argamassa seca, por exemplo) travava o sistema. A argamassa úmida parada por mais de 40 minutos também ocasionava o travamento, por enrijecimento dentro do sistema. Era possível realizar a limpeza do rotor e estator enquanto a argamassa ainda estava úmida – abria-se o estator (Figura 58) e retirava-se o rotor para limpeza (Figura 59). Apesar de possíveis, eram atividades que levavam tempo e incorriam em perda de produtividade.

Figura 58 - Abertura do estator para desentupimento

Figura 59 - Retirada do rotor

(Fonte: fotos tiradas por Naira Ery Asano)

Nos casos em que a argamassa secava dentro do sistema, não era possível abrir o sistema e este deveria ser substituído.

Ainda em relação às falhas de planejamento, identificou-se que a implantação do conceito de equipe com divisão de atividades por especialidade não ocorre. Por falta de conscientização e pela cultura da mão de obra, os pedreiros mantiveram o princípio de “um pedreiro responsável por seu balancim”, ou seja, o pedreiro projeta, alisa e acaba o pano; sendo seu pagamento decorrente apenas de sua produção individual. Cada pedreiro ficou com um (ou dois) balancim(ns) e o bico projetor era revezado entre eles. Enquanto um estava projetando, os demais aguardavam ou realizavam algum serviço no seu pano (peitoril, preparo para requadro etc.).

Notou-se que eles buscam a individualidade também porque cada um possuía uma meta diária. Alguns almejavam duas “balançadas” por dia, enquanto outros, apenas uma. O ritmo diferente de cada um dificultava o trabalho em equipe.

Outra falha de planejamento foram os agendamentos de abastecimento dos silos em horários de produção. O abastecimento do silo dura aproximadamente 40 minutos e mais 10 minutos para sua pressurização. Com isto, a produção ficava interrompida por pelo menos 50 minutos, para duas equipes, pois os silos tinham saída dupla.

5.1.4 Análise

O foco de realização do protótipo foi a identificação de gargalos e dificuldades durante a execução e a busca por melhorias que retroalimentaram o processo e que foram adotadas quando da execução do piloto.

A execução do protótipo apresentou diversos problemas que interferiram na produtividade do serviço de revestimento externo e estão listados no Quadro 14 juntamente com as soluções propostas para serem adotadas na obra piloto.

Quadro 14 - Síntese dos problemas identificados durante a execução do protótipo

Causa	Problema gerado	Solução
Erro de dimensionamento do equipamento	Operando com apenas um compressor, o bombeamento da argamassa anidra não atingia a altura do 26º pavimento, onde estava localizada a central de mistura, gerando baixa vazão de material e interrupções na produção de argamassa. Além disso, por trabalhar constantemente no seu limite máximo, o compressor quebrava com frequência, tendo como efeito secundário o entupimento do mangote.	Instalação de dois compressores em série para atender pavimentos acima do 18º pavimento.
Dosadores de água da D30 desregulados	Argamassa dosada incorretamente gerando necessidade de remistura. Houve necessidade de depositar a argamassa em caixote para completar a mistura manualmente para posterior lançamento da argamassa na Anvijet (acréscimo de atividade de fluxo que não agrega valor).	Regulagem diária da bomba de água e garantia de que a água fornecida não contenha impurezas ou contaminantes.
Entupimento da entrada de água na D30	Interrupção da produção para limpeza interna do equipamento visando à desobstrução das válvulas.	1) Substituição das válvulas tipo gaveta por válvula esfera. 2) Uso de filtro na mangueira (entrada da água).
Baixa produtividade	Falta de aderência ao cronograma - não foi atendida inicialmente a produção de uma "balançada" (um pavimento) por dia.	Treinamento dos pedreiros.
Entupimento das Anvijets	Limpeza inadequada dos equipamentos ao final da produção.	Treinamento dos ajudantes.
Carregamento do silo no período da manhã (horário de produção)	Impossibilidade de produção por no mínimo uma hora, pois o carregamento do silo interrompe o bombeamento de argamassa para os pavimentos.	Programação de carregamento em horário sem produção (fim da tarde).
Queda de tensão (obra com tensão 359V e não 380V)	Equipamentos não apresentam seus melhores rendimentos.	Utilização de gerador.
Incompatibilidade no posicionamento das centrais de produção	Porque os silos estavam posicionados em um lado da torre, as D30 ficaram concentradas em metade da torre. Pelo tamanho da torre e devido às curvas para contornar as alvenarias, as Anvijets não puderam ser posicionadas diretamente na saída das D30, gerando necessidade de transporte de argamassa pronta da D30 para a Anvijet por meio de carrinho de mão.	Prever caminhamento da mangueira pelo pavimento e, se possível, posicionar silos em locais separados para atender os diversos lados da torre.

5.1.5 Boas práticas

Além das soluções a serem adotadas quando da realização do piloto, elencadas no Quadro 14, pode-se destacar como boas práticas ocorridas durante a realização do protótipo:

- realização de treinamento antes de se iniciar a execução:
 - treinamento fornecido pela empresa Votorantim para manuseio do Sistema Matrix e quanto às corretas técnicas de aplicação da argamassa de projeção contínua – público: equipe da obra, pedreiros, ajudantes e encarregados da empresa de execução.
 - treinamento fornecido pela empresa Anvi visando ao correto manuseio da Anvijet – público: pedreiros, ajudantes e encarregados da empresa de execução;
 - treinamento feito pela construtora com apresentação do procedimento de execução – público: equipe de obra, pedreiros, ajudantes e encarregados da empresa de execução.
- permanência de técnicos dos equipamentos (Sistema Matrix e Anvijet) na obra, para manutenção e correções imediatas – deve-se solicitar na contratação (sem custo adicional);
- limpeza do mangote da Anvijet com passagem de bucha sintética junto com a água (mínimo duas vezes) pelo ajudante que opera os equipamentos;
- limpeza da rosca contínua da D30 com retirada de toda argamassa úmida;
- uso da grade de proteção da Anvijet (Figura 60) para segurança do usuário e evitar que caiam objetos que podem danificar o equipamento.

Figura 60 - Anvijet com grade de proteção

(Fonte: foto tirada por Naira Ery Asano)

- Mudança do sistema de rosca da Anvijet, ou seja, rosca de grande diâmetro (Figura 61) ao invés de rosca de pequeno diâmetro (Figura 62) para aumentar a vazão da argamassa e;

Figura 61 - Anvijet com rosca pequena

Figura 62 - Anvijet com rosca grande

(Fonte: fotos tiradas por Naira Ery Asano)

- Previsão de componentes dos equipamentos de reserva na obra, para trocas eventuais, para reduzir o tempo de interrupção da produção.

5.2 Execução em escala piloto

Nesta fase, a tecnologia foi aperfeiçoada com a adoção das soluções apresentadas para os problemas que surgiram durante a realização do protótipo e as boas práticas identificadas.

Nesta etapa, a responsabilidade da implantação da produção do revestimento de argamassa com projeção contínua passou à equipe de produção, formada por um assistente técnico e um estagiário com função exclusiva de acompanhamento da fachada, com o apoio e monitoramento da equipe de implantação.

5.2.1 Características do piloto

O piloto foi uma obra com duas torres idênticas com 25 pavimentos tipo, mezanino, térreo e dois sobressolos. A estrutura é reticulada de concreto armado e o fechamento em alvenaria de vedação de blocos cerâmicos.

O edifício tem oito unidades por andar. A laje tem formato quadrado, com perímetro de, aproximadamente, 167m.

Pela configuração do terreno, havia acesso apenas pela frente da obra, deixando uma das torres afastada da rua (Figura 63). A altura, do nível da rua até o nível superior da torre era de 78,8m.

Figura 63 - Croqui do terreno de implantação da obra piloto para implantação de revestimento de argamassa com projeção mecânica

(Fonte: Adaptado de Projeto de arquitetura – Térreo)

5.2.2 Planejamento

De acordo com a configuração da planta, foram distribuídos pelo perímetro das torres, 21 balancins (Figura 64). O dimensionamento da equipe ocorreu de modo que cada pedreiro fosse responsável por um balancim. Houve dois casos em que um pedreiro ficou com dois balancins, por haver panos cegos, em que a produtividade é maior. Uma vez que a tentativa de implantar o sistema de equipe por especialidade foi mal sucedida quando do protótipo, planejou-se o piloto com o sistema tradicional de divisão de “um pedreiro por balancim”. Cada dois ou três pedreiros compartilhavam um projetor de argamassa, caracterizando uma equipe. Com isso, foram necessários 8 postos de trabalho nomeados de “Jet 1” a “Jet 8” (Anvijets) (Figura 64).

Figura 64 - Planta do pavimento tipo, distribuição dos balancins e distribuição das Anvijets

(Fonte: Adaptado de projeto de balancins elaborado pela Constata)

Por opção da gerência da obra, o Sistema Matrix não foi implantado na torre mais afastada da rua (torre B), pois seria necessário apoiar o silo sobre a laje do térreo. Para isso, seria necessário escorar as lajes, ocupando-se uma área do subsolo que faria falta para a logística de armazenamento de materiais (depósitos, almoxarifado etc.). Logo, para a torre B foi definido o fornecimento da argamassa ensacada. A torre A (próxima a rua) possuía uma área de terreno entre a torre e a rua, viabilizando o posicionamento do silo.

O protótipo possibilitou identificar que o sistema tem limitação quanto ao transporte horizontal pelo pavimento. Assim, planejou-se que as “Jet6”, “Jet7” e “Jet8” (como nomeadas na Figura 64), posicionadas do lado oposto à localização dos silos também seriam alimentadas por material ensacado. Com isto, foram dimensionados três silos para atender cinco Anvijets (Figura 65).

Considerando-se também o aprendizado do protótipo, o sistema de transporte no piloto foi composto por dois compressores em série para cada saída do silo.

Figura 65 - Posicionamento dos silos

(Fonte: Adaptado de Projeto de arquitetura – Térreo)

5.2.3 Execução

Antes do início da execução do revestimento externo, realizou-se um treinamento com as equipes de: execução (ajudantes, pedreiros e encarregados); obra (estagiários, assistentes técnicos e engenheiro) e segurança (técnico de segurança). O treinamento foi ministrado por um técnico da Votorantim (fornecedora da argamassa e do sistema de transporte a partir do silo), um técnico da empresa Anvi (fornecedora do sistema de projeção) e uma engenheira da Tecnisa. O escopo do treinamento foi a apresentação do sistema, demonstração do funcionamento dos equipamentos e da técnica de execução (projeção, sarrafeamento e acabamento), além dos cuidados de segurança envolvidos em cada procedimento. Para os ajudantes foi feito um treinamento específico abordando o correto preparo da argamassa e a maneira para realizar a limpeza dos equipamentos (Figura 66 e Figura 67).

Figura 68 - Demonstração da projeção

Figura 69 - Demonstração do sarrafeamento com execução de mestras

(Fonte: fotos tiradas por Naira Ery Asano)

Figura 70 - Laudo do ensaio de resistência de aderência à tração dos painéis teste da obra piloto

CP Nº	Substrato	Tensão (Mpa)	Forma de ruptura (%)						
			Substrato	Sub./ Chapisco	Chapisco/ Arg.	Substrato/ Arg.	Arg.	Arg./ Cola	Cola/ Pastilha
01	Estrutura	> 0,41	-	-	-	-	100	-	-
02	Estrutura	> 0,71	-	-	-	-	100	-	-
03	Estrutura	> 0,69	-	-	-	-	100	-	-
04	Estrutura	> 0,57	-	-	-	-	100	-	-
05	Estrutura	> 0,07	-	-	-	-	100	-	-
06	Estrutura	> 0,54	-	-	-	-	100	-	-
07	Alvenaria	0,50	-	-	20	-	80	-	-
08	Alvenaria	> 0,42	-	-	-	-	100	-	-
09	Alvenaria	0,55	-	80	-	-	20	-	-
10	Alvenaria	> 0,58	-	-	-	-	100	-	-
11	Alvenaria	> 0,47	-	-	-	-	100	-	-
12	Alvenaria	> 0,49	-	-	-	-	100	-	-
Diâmetro dos corpos de prova (mm)				Tensão média				0,50	
01	49	04	49	07	49	10	49	Desvio padrão	
02	49	05	49	08	49	11	49	Coeficiente de variação (%)	
03	49	06	49	09	49	12	49	Umidade do revestimento (%)	
								2,13

(Fonte: Relatório de ensaio – Falcão Bauer)

Na estrutura, a média dos resultados de resistência de aderência à tração foi de 0,58MPa e o coeficiente de variação foi de 20% (descartando o valor de 0,07MPa). Na alvenaria, a média foi de 0,50MPa e o coeficiente de variação, 11%. Em ambos os casos o resultado foi satisfatório, superando o critério de aceitação especificado pela construtora:

- resistência de aderência à tração $\geq 0,30\text{MPa}$ (ABNT NBR 13749/2013);
- coeficiente de variação $\leq 35\%$ (requisito da construtora).

Com a aprovação dos painéis teste, iniciou-se a execução do revestimento externo, que contemplou os panos de fachada, requadrações de janela e vigas de borda de sacadas, além de execução de frisos e seu tratamento.

O foco principal do piloto, além do levantamento de outras boas práticas para retroalimentar o processo, foi a medição da produtividade das equipes e de perda (não incorporada) da argamassa.

O piloto serviu também para análise dos custos reais (valor gasto na obra) comparando-os ao valor estimando quando da realização da viabilidade econômica.

5.2.4 Produtividade das equipes, índices de consumo e perdas de materiais

5.2.4.1 Metodologia de medição de produtividade e consumo

Para mensurar a produtividade da execução do revestimento externo com aplicação mecânica contínua, utilizou-se como indicador a razão unitária de produção (RUP) que diz respeito à quantificação da mão de obra necessária para se produzir uma unidade de saída (SOUZA, 2001), ou seja, a quantidade de homens-hora para realizar, por exemplo, 1 metro quadrado de revestimento, representada pela expressão:

$$RUP = \frac{\text{entradas}}{\text{saídas}}$$

Para definição das entradas, é feito o cálculo de homens-hora baseado na multiplicação do número de homens envolvidos pelo tempo de dedicação ao serviço. Para o cálculo do índice de mão de obra direta, foram considerados na equipe os oficiais (pedreiros) e os serventes (ajudantes) que se dedicaram exclusivamente às atividades no pavimento. O índice global de produtividade foi obtido pela inclusão do encarregado e de outros serventes com funções gerais de apoio. O tempo utilizado para o cálculo foi o medido em campo considerando-se o horário de entrada e de saída de cada operário.

As saídas foram as quantidades de metro quadrado de revestimento de argamassa (emboço, frisos e requadração de janelas e vigas de sacadas) executados no tempo determinado de serviço, não incluindo os esforços na realização do mapeamento, fixação da alvenaria externa, limpeza e chapisco, uma vez que estas atividades são comuns ao processo tradicional utilizado pela empresa.

Foram selecionadas duas equipes, cada uma com um tipo de fornecimento – silo e saco. Foi feito o cálculo da RUP diária considerando-se o trecho do perímetro da torre que ficou sob responsabilidades dessas equipes (número de balancins) e registrando-se as especificidades do pano (espessura média, necessidade de tela e número de cheias). Além disso, foram registradas todas as anomalias ocorridas durante a execução, tais como:

- Condições climáticas;
- Falhas de equipamentos (exemplo: quebras, entupimento etc.);
- Falta de funcionário;
- Funcionário novo e não treinado;
- Transferência de equipamento para outros pavimentos;
- Falta de água e energia elétrica;
- Falhas no planejamento (exemplo: interrupção da produção para carregamento do silo, falta de material, falta de frente de trabalho etc.);
- Outros (exemplo: interrupção dos serviços pelo sindicato, horário para treinamento etc.).

Os registros das anomalias foram utilizados para entender as possíveis variações da RUP.

Além da RUP Diária (oficial, direta e global), fez-se o cálculo da RUP Cumulativa (produtividade acumulada durante um período de tempo pré definido) e a RUP Potencial (mediana dos valores de RUP Diária abaixo da RUP Cumulativa).

Quanto ao levantamento do consumo e perda de material, optou-se por realizar a medição com acompanhamento da produção de uma equipe trabalhando com material ensacado, pois há uma imprecisão na medição da quantidade de material dentro do silo. Procedeu-se da seguinte forma:

- Registro da quantidade total de material destinado a uma equipe (contagem de sacos utilizados);
- Medição do material perdido no mangote do equipamento de projeção;
- Limpeza semanal da área da bandeja de proteção na projeção dos balancins da equipe e medição volumétrica dos resíduos.

O cálculo do consumo (CUM) baseou-se na quantidade real de material consumida (Q_{real}) e na quantidade de serviço executado com tal material (Q_s):

$$CUM = \frac{Q_{real}}{Q_s}$$

Para o cálculo das perdas considerou-se o Q_{real} e a $Q_{teórica}$ (quantidade teórica baseada no rendimento informado pelo fornecedor):

$$Perda (\%) = \frac{Q_{real} - Q_{teórica}}{Q_{teórica}} \times 100$$

5.2.5 Levantamento de dados

Para o levantamento de dados em obra, fez-se uma parceria com a Votorantim. Esta contratou a Daher Engenharia para realizar o acompanhamento das atividades e registro da produção, do tamanho de equipe, das horas trabalhadas, das anomalias ocorridas e mensuração das perdas.

Selecionaram-se duas equipes com balancins equivalentes para comparação de RUP (Figura 71), uma trabalhando com o sistema Matrix (nomeada “equipe silo”) e a outra com fornecimento de argamassa ensacada e uso de misturador de eixo horizontal (nomeada “equipe saco”). Os balancins foram os de número 8, 9 e 10 (Figura 72), e os de número 19, 20, 21.

Figura 71 - Hachura indicando posicionamento de balancins das equipes acompanhadas

(Fonte: adaptado de projeto de balancim elaborado pela Constata)

Figura 72 - Balancins 19, 20 e 21

(Fonte: adaptado de projeto de balancim elaborado pela Constata)

A frente de trabalho destas equipes era composta por uma sacada (viga de borda), dois panos com uma janela de 1,16mx1,66m cada, três panos “cegos” e um pano com duas janelas de 0,66mx0,66m cada, conforme Figura 73, Figura 74, Figura 75 e Figura 76, totalizando aproximadamente 45,0m².

Figura 73 - Frente de trabalho

Figura 74 - Panos da vista frontal

Figura 75 - Panos da vista lateral

Figura 76 - Faixas de requadro de viga

Em ambos os casos, as equipes diretas eram formadas por três pedreiros e um ajudante e possuíam um projetor exclusivo. A equipe indireta da “equipe silo” era composta por um servente responsável pela pressurização do silo e, em dias de abastecimento do silo, além deste, havia outro servente e o motorista do caminhão graneleiro. A “equipe saco” possuía como equipe indireta: 5 serventes e um operador de cremalheira para fazer o transporte das sacarias do

almoxarifado ao pavimento da central de argamassa; um motorista e dois ajudantes para descarga dos sacos do caminhão.

5.2.6 Avaliação da produtividade

As medições das produtividades das duas equipes ocorreram concomitantes, durante 35 dias consecutivos de produção. A temperatura média deste período foi de 20,2°C.

Para as duas equipes não houve necessidade de primeira cheia e nem de utilização de tela, ou seja, aplicou-se a argamassa em uma única demão. A espessura média dos panos da “equipe silo” foi de 5,2cm e da “equipe saco”, 5,0cm.

Para cada dia, foram registrados os horários de entrada e saída de cada funcionário, a área produzida pela equipe e eventuais interferências ocorridas. Com estes dados, calcularam-se as RUPs diária, cumulativa e potencial oficial, direta e global. Os registros e os cálculos dos índices estão apresentados no Apêndice A.

O desenvolvimento da produtividade da “equipe silo”, está representado pelos Gráfico 1, Gráfico 2 e Gráfico 3. As representações da produtividade “equipe saco” estão nos Gráfico 4, Gráfico 5 e Gráfico 6.

Gráfico 1 - RUP oficial da "equipe silo"

Gráfico 2 - RUP direta da "equipe silo"

Gráfico 3 - RUP global da "equipe silo"

Gráfico 4 - RUP oficial da "equipe saco"

Gráfico 5 - RUP direta da "equipe saco"

Gráfico 6 - RUP global da "equipe saco"

Para facilitar a comparação entre os sistemas, apresentam-se os gráficos lado a lado e com a mesma escala do eixo y (Figura 77).

Figura 77 - Comparativo entre gráficos

De acordo com os registros apresentados no Apêndice A, nota-se que algumas das interferências ocorreram devido a falhas de planejamento da obra e poderiam ser evitadas como, por exemplo, a programação da limpeza da obra, transferência de equipamento de pavimento, manutenção de balancim etc. Houve outras interferências que interromperam as atividades por pequenos períodos de tempo, não interferindo significativamente na produtividade, como: falta de material/abastecimento, falta de material no andar e falta de frente de serviço.

As ocorrências que mais impactaram na interrupção da produção foram fatores ambientais (chuva e vento), sobre os quais não se tem controle.

A “equipe silo” apresentou RUP Cumulativa e Potencial, oficial e direta, menores que as respectivas RUP da “equipe saco”. Essa diferença pode estar relacionada ao tipo de equipamento de mistura: um produz argamassa automatizada e continuamente; o outro necessita da alimentação com o material ensacado. A projeção de argamassa é muito rápida, o que faz com que o pedreiro no balancim consuma, em pouco tempo, todo o volume de argamassa contida na caçamba da Anvijet. Este tempo é menor que o intervalo necessário para a produção da argamassa no misturador (transportar o saco até o misturador, rasgar o saco, despejar o material, acrescentar água e homogeneizar a argamassa), o que gera uma breve interrupção na projeção. Isto indica que existe uma incompatibilidade entre o misturador e o projetor, tornando o processo de produção de argamassa o gargalo, não por falha na produção do ajudante e sim pelo misturador, que deve ser totalmente esvaziado para que se possa preparar novo traço de argamassa. Este problema pode ser evitado com o uso de misturadores contínuos.

Como a amostra foi pequena (apenas uma equipe para cada sistema), o empenho e a habilidade dos funcionários podem também ter influenciado nas RUPs. Ou seja, se um pedreiro é mais (ou menos) empenhado e mais (ou menos) rápido na produção, este pode reduzir (ou elevar) notoriamente a RUP de sua equipe, formada por mais 3 funcionários.

Para que as diferenças entre operários seja minimizada no cálculo da RUP, seria necessário o acompanhamento de diversas outras equipes, o que não foi possível neste trabalho.

Foi notada uma diferença de 0,14 na comparação entre RUP Potencial direta e global da “equipe saco”. Essa diferença é justificada pela forma como a argamassa chega ao ponto de utilização que exige uma equipe específica para descarga e transporte do produto. Essa diferença não é observada no caso da “equipe silo” (diferença de apenas 0,02), ou seja, no caso do silo a equipe indireta é reduzida.

Tanto a produção com fornecimento por silo quanto por saco apresentaram a mediana das RUPs cumulativas de oficiais (0,53 e 0,72, respectivamente) inferiores à apresentada na TCPO (2010), que aponta o valor de 0,79 na produção de revestimento de fachada em argamassa com projeção com caneca.

Oliveira e Tannenbaum (2014) apresentaram dados de produtividade de serviço de massa única considerando áreas com vão, sem vão, sacadas externas e sacadas internas, a partir do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), da Caixa Econômica Federal. O revestimento de 2,5cm de espessura foi executado com uso de tela metálica, argamassa dosada em obra e aplicação por caneca. As RUPs cumulativas de oficiais estão no Quadro 15.

Quadro 15 - RUP Cum. Oficial do SINAPI - massa única dosada com projeção com caneca

Massa única de fachada (e=2,5cm)	RUP Cum. Oficial (Hh/m²)
Com vão	0,65
Sem vão	0,27
Sacada externa	1,41
Sacada interna	0,96

(Fonte: OLIVEIRA; TANNENBAUM, 2014)

Fez-se a comparação com a média dos valores do Quadro 15, pois as RUPs medidas neste trabalho consideraram áreas contendo panos com e sem vão, sacada externa e interna e revestimento sem posicionamento de telas metálicas (Quadro 16). Também neste caso, a projeção contínua resultou em índices inferiores tanto para a equipe silo como a equipe saco.

Quadro 16 - Comparativo de RUPs Cum. Oficial

RUP Cum. Oficial		
SINAPI (caneca)	“Equipe Silo” (proj. contínua)	“Equipe Saco” (proj. contínua)
0,82 (média)	0,53	0,72

O sistema de projeção contínua mostrou-se mais produtivo que o sistema por caneca, entretanto notou-se que a rapidez da produção apresentou vantagem para o operário que finalizava seu pano mais cedo, mas não o suficiente para que iniciasse um segundo pano. Acabava, então, indo embora mais cedo da obra. Ou seja, o fato de o trabalho ser mais produtivo não implica que o serviço como um todo levará menos tempo para ser executado. Este fato demonstra que apenas a implantação da tecnologia não é o suficiente para a melhoria na produtividade global, deve haver também uma adequada gestão.

A obra deve realizar um planejamento do prazo total de execução da fachada e fazer o acompanhamento constante para garantir o cumprimento do cronograma, além de buscar minimizar as interferências mencionadas.

A projeção contínua apresenta potencial para elevar a produção diária. Deve-se repensar a política de remuneração de pagamento por m² executado. Um incentivo (bônus) pode motivar os pedreiros a produzirem mais área por dia, gerando, assim, redução do prazo de execução da fachada.

5.2.7 Avaliação do consumo e índice de perdas

O levantamento de consumo e perda da argamassa foi feita com acompanhamento da “equipe saco”, pois é difícil mensurar a quantidade de material dentro do silo. Assim, fez-se a contagem de sacos utilizados diariamente e mediu-se o volume do material perdido no equipamento (“perda equipamento”). Semanalmente era realizada a limpeza da bandeja na área correspondente aos balancins da equipe monitorada e eram medidos os volumes dos resíduos coletados (“perda bandeja”).

Os valores levantados no período de 35 dias estão no Quadro 17:

Quadro 17 - Quantidades de sacos utilizados e perdas de argamassa durante um período de 35 dias de produção

Quantidade de sacos (unid.)	2023
Perda equipamento (m ³)	0,6525
Perda bandeja (m ³)	7,8246

Como a média de espessura da “equipe saco” foi de 5,0cm e o total de área produzida igual a 974,78m², tem-se que o consumo de material anidro foi de 20,75kg/m².cm.

A ficha técnica do produto indica um consumo teórico de 18kg/m².cm e, ao comparar com o consumo medido, tem-se também um índice de perdas de 15%.

Pelo histórico da construtora, o sistema de projeção de argamassa por caneca apresenta um índice de perdas de 21,6%.

De acordo com as composições unitárias de massa única da SINAPI, apresentadas por Oliveira e Tannenbaum (2014), o consumo material para fachada com vãos e espessura de 2,5cm de uma argamassa projetada com caneca é de 0,031m³/m². Calculando sobre o consumo teórico (0,025m³/m²), obtém-se uma perda de 24%.

Acredita-se que essa diferença entre os índices de perdas das duas técnicas de aplicação ocorre porque a argamassa de projeção contínua permite o sarrafeamento logo após a projeção, com a argamassa ainda úmida. Assim, o excesso de material retirado no corte pode ser utilizado para preenchimento dos locais com falta de material, pois ele ainda apresenta propriedades de argamassa fresca.

No caso de argamassas com projeção por caneca, o sarrafeamento deve aguardar o tempo de puxamento da argamassa e, usualmente, o material cortado não pode ser reutilizado para preenchimento de falhas. Além disso ou talvez por isto, quando do levantamento feito pela construtora, foi observado que para evitar necessidade de preenchimento posterior, os pedreiros projetam argamassa com espessura acima da estipulada pelas taliscas, possivelmente com receio de que ao sarrafearem falte material em alguma posição; isto aumenta a perda.

Acredita-se que com a técnica de projeção contínua, a perda poderia ser ainda menor, pois, durante o acompanhamento da obra piloto, notou-se que os pedreiros, por facilidade de execução, descartavam a argamassa cortada (deixavam-na cair na bandeja) ao invés de recuperá-la para dentro do balancim, armazenando-a em caixote para posterior uso no preenchimento de falhas.

5.2.8 Avaliação do desempenho

Para aceitação do serviço executado, a construtora utiliza um procedimento de controle da qualidade da produção que prevê o controle tecnológico por meio de ensaio de percussão de todo revestimento produzido e ensaio de resistência de aderência à tração, considerando uma amostra com 12 corpos de prova a cada duas torres.

Foram ensaiados 12 corpos de prova, sendo seis sobre estrutura de concreto e seis sobre alvenaria. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 78.

Figura 78 - Resultados de ensaio de resistência de aderência à tração direta em panos da fachada, segundo ABNT NBR 13528/2010

Local:		24º Pavimento Cuiabá Inst 2 Panéis 1 e 2							
Substrato:		Estrutura e Alvenaria							
Chapisco:		1:3 com adição de branco							
Argamassa:		Mafix 2203							
Tipo de aplicação:		Projetado							
Idade do revestimento:		≥ 28 dias							
Tipo de corte:		Seco							
Equipamento de tração:		Dinamômetro com célula de carga de 20kN							

CP Nº	Substrato	Tensão (MPa)	Forma de ruptura (%)						
			Substrato/ Chapisco	Chapisco/ Arg.	Chapisco/ Arg.	Substrato/ Arg.	Arg.	Arg / Cola	Cola/ Pastilha
01	Estrutura	-	0,60	-	-	20	-	80	-
02	Estrutura	-	0,47	-	-	70	-	30	-
03	Estrutura	>	0,72	-	-	-	-	100	-
04	Estrutura	-	0,78	-	10	-	-	90	-
05	Estrutura	-	0,39	-	30	50	-	20	-
06	Estrutura	>	0,74	-	-	-	-	100	-
07	Alvenaria	>	0,61	-	-	-	-	100	-
08	Alvenaria	-	0,61	-	-	100	-	-	-
09	Alvenaria	-	0,62	-	-	40	-	60	-
10	Alvenaria	-	0,66	-	-	20	-	80	-
11	Alvenaria	-	0,67	-	-	20	-	80	-
12	Alvenaria	-	0,54	20	-	80	-	-	-
Diâmetro dos corpos de prova (mm)			Tensão média						
			0,63						
			Desvio padrão						
			0,12						
			Coeficiente de variação (%)						
			19						
			Unidade do revestimento (%)						
			1,08

(Fonte: Relatório de ensaio – Falcão Bauer)

O resultado foi satisfatório, com média de resistência de aderência à tração (0,63MPa) superando o solicitado pela norma ABNT NBR 12749/2013 (0,30MPa) e coeficiente de variação abaixo do exigido pela construtora (35%).

5.2.9 Avaliação dos custos

Para avaliar se o custo previsto para o revestimento do edifício piloto foi compatível com o valor gasto no final da execução, fez-se o levantamento dos custos previstos pelo orçamento da obra piloto, dos custos totais das notas fiscais de materiais e equipamentos; e dos custos das medições da empresa de mão de obra (Tabela 4).

Tabela 4 - Comparativo de custos orçados e custos reais

	MDO	MAT	Infraestrutura			TOTAL	
			Elétrica	Civil	Diversos		
Orçamento	R\$ 3.092.404,59	R\$ 1.024.784,91	R\$ 60.000,00	R\$ 12.500,00	R\$ 10.000,00	R\$ 4.199.689,50	REF
Real	R\$ 3.077.565,80	R\$ 623.487,96	R\$ 26.395,00	-	-	R\$ 3.727.448,76	-11%

No orçamento foi considerado 20% da área total de revestimento externo com enchimento, entretanto dos 45.883,70m², apenas 7.650m² necessitaram de enchimento, ou seja, 16,7%. Além disso, considerou-se para este enchimento espessura de 4cm e, pelo mapeamento, a espessura máxima encontrada foi 6,5cm. Ou seja, comparando com o real, houve um excesso na estimativa.

No custo de material, considerou-se o custo de R\$0,235/kg, entretanto, após negociações, praticou-se o valor de R\$0,226/kg do produto ensacado e R\$0,202/kg do produto a granel.

Os fatos mencionados podem justificar a diferença do valor orçado com o valor real de material. É possível também ter ocorrido um erro na contabilização final.

De custo de infraestrutura, foram gastos R\$16.920,00 com locação de gerador (R\$180,00/dia) e R\$9.475,00 com a compra de 5 quadros elétricos (R\$1.895,00/quadro). Não houve desembolsos da obra quanto à infraestrutura civil. Não se contabilizou o custo para a base do silo, pois foram utilizados volumes de concreto que sobraram de concretagens e armações existentes na obra.

O custo da infraestrutura foi aproximadamente 0,7% do custo total de material e mão de obra. De acordo com a Tabela 4, houve uma divergência entre o valor estimado e o real de 11%.

6. DIRETRIZES PARA DISSEMINAÇÃO DE REVESTIMENTO EXTERNO DE ARGAMASSA COM PROJEÇÃO CONTÍNUA

As implantações em escala protótipo e piloto não garantem que a tecnologia esteja inserida no sistema de produção da empresa. Para tanto, deverá haver uma etapa que Barros (1996) denomina de disseminação. Esta etapa pressupõe a preparação da empresa para receber a nova tecnologia que tem início com a elaboração da documentação, na qual deve ser consolidada toda a tecnologia desenvolvida até o estágio piloto.

Essa documentação pode ser constituída por textos, plantas, desenhos, fotografias etc. Nesta documentação deverão estar contidos todos os materiais utilizados para a produção dos revestimentos incluindo a análise prévia de viabilidade do sistema, bem como os procedimentos para execução, treinamento e controle (SABBATINI, 1989).

6.1 Viabilidade econômica

Qualquer nova utilização da tecnologia de produção de revestimento de argamassa por projeção contínua deverá ser precedida de uma adequada análise de viabilidade econômica, uma vez que os preços de produtos e serviços oscilam muito no mercado de construção.

Para a realização do estudo de viabilidade econômica, deve-se inicialmente solicitar propostas comerciais para empresas de execução (mão de obra) e fornecedoras de argamassa que possuam produto com especificação para a projeção contínua.

Ao fazer contato com as empresas de execução, deve-se informar que os preços para execução deverão ser definidos considerando-se a utilização de argamassa industrializada com projeção contínua com bomba de eixo helicoidal, com metade do fornecimento por silo com sistema de transporte e mistura e a outra metade com fornecimento ensacado. Ou seja, deve-se considerar que há necessidade de misturador contínuo de eixo helicoidal para produzir argamassa para metade das equipes. As porcentagens de área que será atendida pelos

diferentes sistemas (silo ou saco) podem variar em função das condições de localização do edifício e isto deverá ser considerado caso a caso. Para tanto, é necessário um estudo logístico cujas principais diretrizes serão sintetizadas nos próximos itens. Deve ser informado também qual o tipo de chapisco a ser utilizado uma vez que os sistemas de projeção contínua atualmente disponíveis não incorporam esta atividade de obra.

A proposta de fornecimento de mão de obra deverá conter os preços para:

- elaboração do projeto de balancins e arames;
- locação, montagem com ART e desmontagem de balancins leves;
- locação, montagem com ART e desmontagem de andaimes para andares atípicos;
- locação de misturadores contínuos de eixo helicoidal;
- locação de bombas de eixo helicoidal (projeto de argamassa);
- execução de descida de prumadas e mapeamento com colocação de arame;
- execução da limpeza, escovação, fixação da alvenaria à estrutura, lavagem e chapisco dos panos de fachada;
- execução de limpeza, escovação, fixação, lavagem e chapisco – Faixas;
- execução de massa única desempenada espessura até 5cm – Panos;
- execução de massa única desempenada espessura até 5cm – Faixas;
- execução de friso na camada de revestimento (se houver);
- execução de tratamento de frisos (se houver);
- colocação de tela entre alvenaria e estrutura (conforme projeto);
- execução de peitoril;
- desmontagem de bandeja primária;
- enchimento (duas demãos) com colocação de tela em espessuras maiores que 5cm – Panos;
- enchimento (duas demãos) com colocação de tela em espessuras maiores que 5cm – Faixas.

Observação: são consideradas faixas panos com uma das dimensões inferior a 0,5m.

Como o enchimento é um item que não se pode quantificar no momento da viabilidade com base no projeto, deve-se estimar que 20% da área total terá o custo de enchimento. O mesmo deve ocorrer para quantificação do material.

Considerar sobre o consumo teórico do material informado pelo fornecedor, 15% a mais referente a perdas do processo. Usualmente, o custo do sistema de silo, transporte e mistura estão embutidos no custo do quilo de material. Mas isto deve ser verificado caso a caso.

Para os custos de infraestrutura elétrica e civil (gerador, montagem de quadros de energia e fabricação de bases para o silo), considerar 1,0% do custo total (material e mão de obra).

6.2 Viabilidade técnica da argamassa

A análise técnica da argamassa deve ocorrer ao menos 60 dias antes do início do revestimento, pois há prazos técnicos a serem respeitados e caso não ocorra a validação de um produto, deve-se ter prazo hábil para a avaliação de produto alternativo.

Deve-se executar, para cada tipo de base (alvenaria e estrutura), painel teste com área em torno de 2m². Recomenda-se a escolha do local de aplicação com as condições mais desfavoráveis possíveis em termos de ventilação e insolação. Os painéis devem simular todas as condições previstas para a fachada: o tipo de base, o processo de limpeza e o chapisco referente a cada base, para a verificação da compatibilidade entre os produtos e o desempenho do sistema como um todo.

É recomendada a convocação de técnicos tanto da empresa fornecedora de material como dos equipamentos para orientar a execução dos painéis teste.

A argamassa deve ser preparada de acordo com a indicação do fornecedor (quantidade de água e tempo de mistura). Como a quantidade de material para os painéis teste não é grande, deve-se cuidar para que o volume de material seja compatível com o volume do equipamento de mistura, pois misturadores

horizontais com grandes volumes, por exemplo, não misturam adequadamente pequenas quantidades de argamassa.

Durante a aplicação, verificar se a trabalhabilidade da argamassa está adequada para a projeção contínua e se está apresentando aderência inicial, sem ocorrência de deslocamento ou deslizamento do material aplicado. O painel, ao longo da secagem, não deve apresentar formação de fissuras. No quarto dia após a aplicação da argamassa, deve-se molhar o revestimento e verificar se há fissuras.

Após 28 dias da execução, deve-se realizar ensaio de percussão com vistas a se verificar se há presença de som cavo. Se o painel não apresentar som cavo, realizar o ensaio de resistência de aderência à tração em cada painel (de acordo com a ABNT NBR 13528/2010) e aprovar o uso se a média dos resultados estiver acima de 0,30MPa (ABNT NBR 13749/2013) e o coeficiente de variação inferior a 35%.

6.3 Implantação no canteiro

Quanto o fornecimento ocorrer a granel, o sistema de silo (Figura 79 e Figura 80) deve ser composto por:

- silo de armazenamento;
- sistema de transporte vertical de material seco com um ou dois compressores e bloco de transporte (válvulas de controle);
- mangueira de transporte;
- dispositivo de recepção com filtro;
- misturador contínuo de eixo helicoidal com dosagem de água automática por rotâmetro.

Figura 79 - Silo, sistema de transporte e mangueira de transporte

(Fonte: adaptado de <http://mapadaobra.com.br/sistema-matrix/#matrix-bombeado-3>)

Figura 80 - Dispositivo de recepção, misturador contínuo e projetor de argamassa

(Fonte: autoria própria)

É necessário acrescentar ao sistema um projetor de argamassa. O equipamento é uma bomba de eixo helicoidal com rotor e estator. Em sua saída, é ligada uma mangueira de transporte da argamassa pronta (mistura do material seco com água) e uma mangueira de ar comprimido, que se unem no bico projetor (Figura 81).

Figura 81 - Mangueira de transporte, mangueira de ar comprimido e bico projetor

Quando o fornecimento ocorrer por sacos, deve-se utilizar um misturador contínuo de eixo helicoidal com dosagem de água automática e o projetor de argamassa (bomba de eixo helicoidal) (Figura 82).

Figura 82 - Argamassa ensacada, misturador contínuo e projetor de argamassa

Para a implantação do sistema de silo, é necessário um estudo logístico devido a algumas limitações e exigências quanto ao uso dos equipamentos.

Para o posicionamento do silo é necessária uma área de aproximadamente 9m² por silo, com capacidade para suportar carga do silo e da argamassa, usualmente de 35 toneladas. Quando locado sobre solo, exige-se uma base cujo

dimensionamento estrutural deverá ser feito de acordo com o carregamento previsto para o silo cheio. No caso de locação sobre laje, deve-se consultar o projetista de estrutura para verificar a necessidade de dimensionar o escoramento.

Na escolha do local de instalação, é necessário considerar área para manobra de um caminhão graneleiro e altura livre suficiente para bascular o silo (ausência de fiação, árvores etc.). Para instalações em que não se tem a possibilidade de acesso para o caminhão, deve-se prever um guindaste para a retirada e posicionamento do silo em local com alcance da lança.

Deve-se considerar também que o reabastecimento é realizado pelo acoplamento do caminhão graneleiro ao silo por meio de uma mangueira e que este bombeamento tem limite de distância.

Outro fator é a limitação do bombeamento da argamassa do silo até o misturador. O Quadro 18 exemplifica a limitação de um dos sistemas disponíveis no mercado e utilizado para o estudo de caso. Em sendo outros fornecedores, informações específicas devem ser buscadas. Observa-se que, de modo geral, quanto mais distante o silo estiver da torre, menor será o alcance vertical. Uma opção para atingir alturas acima de 50m é a utilização de compressores em série. Esta alternativa deve ser devidamente prevista na proposta comercial do fornecedor.

Quadro 18 - Exemplo de distâncias máximas para bombeamento da argamassa seca entre silo e torre

Distância caminhão - silo	Distância silo - torre	
	Horizontal	Vertical
< 10m (na horizontal)	de 20m a 25m	0
	de 10 a 20m	10m
	< 10m	50m

(Fonte: <http://www.mapadaobra.com.br/produtos/argamassa/matrix/sistema>)

Para vencer as distâncias horizontais, o mangote não pode ter o caminhamento reto (todo na horizontal), pois isso pode ocasionar segregação pelo carregamento dos finos pelo ar (Figura 83).

Figura 83 - Segregação dos finos dentro do mangote em posição horizontal reta durante processo de bombeamento da argamassa

(Fonte: autoria própria)

O trajeto horizontal deve ser feito em “U” (Figura 84) para que o mangote tenha toda sua seção preenchida com material e evite a segregação.

Figura 84 - Trajeto horizontal em "U" recomendado para o bombeamento da argamassa entre silo e torre

(Fonte: autoria própria)

Outro limitante é que, ao chegar no pavimento, a capacidade de transporte horizontal é pequena, seja porque o mangote já caminhou horizontalmente a distância máxima (10m), seja porque não há como evitar o caminhamento reto (sem trajeto em “U”). Em consequência, os equipamentos de mistura, nos quais os mangotes são acoplados, devem ser locados no ambiente mais próximo do local do silo (Figura 85) e, por consequência, os projetores de argamassa também devem ficar concentrados do lado da torre em que os silos estão posicionados.

Figura 85 - Área usual de locação dos misturadores

Para que não haja perda de pressão na projeção, deve-se limitar a distância percorrida pelos mangotes de transporte dos projetores de argamassa. Por este motivo, não se deve realizar com o mangote trajetos superiores a 35m. Quando o caminho para atingir o outro lado da torre supera este limite (Figura 86), deve se prever misturadores contínuos de eixo horizontal sem ligação com o silo e fornecimento de material ensacado para atendimento das áreas não alcançadas.

Figura 86 - Exemplo de caminho do mangote

Deve-se analisar o entorno e a disposição das torres no terreno para verificar se há possibilidade de posicionamento de silo em lados opostos da torre. Por

exemplo, se o empreendimento está localizado em uma esquina, há a possibilidade de atendimento de dois lados da torre (Figura 87).

Figura 87 – Exemplo de condição favorável para que o silo atenda mais áreas da torre

Para a instalação do silo, os seguintes documentos são necessários, visando à garantia da segurança do trabalho:

- manual;
- ART do equipamento, manutenção e instalação;
- livro de responsabilidade técnica constando manutenção corretiva e preventiva;
- laudo de aterramento.

Os equipamentos utilizados pelos sistemas de projeção com silos exigem potências altas, portanto, estas devem ser previstas no quadro de energia e, quando não for possível a sua obtenção diretamente da rede, deve-se prever a locação de geradores.

Deve-se montar um quadro elétrico exclusivo para o sistema de silo. Solicitar ao fornecedor do sistema o dimensionamento dos disjuntores para cada equipamento.

As centrais de argamassa necessitam de um quadro contendo tomadas e disjuntores que devem ser dimensionados pelos fornecedores dos

equipamentos. Não é necessária a montagem de um quadro para cada pavimento. O quadro pode acompanhar a movimentação das centrais pelos pavimentos; entretanto, o ideal é possuir dois quadros, pois assim será possível suprir as necessidades de equipes com velocidades diferentes e a necessidade de mudança de pavimentos de alguns equipamentos e de outros não.

Para o fornecimento de água para o preparo da argamassa, devem-se prever duas caixas d'água de 1000l na cobertura ligadas a uma prumada que deve ser exclusiva para a execução do revestimento externo. É necessária uma bomba submersa ou mangueira para fazer a distribuição da água da prumada para as centrais de produção de argamassa espalhadas pelo pavimento. Essa bomba deve ser ligada no quadro elétrico do pavimento. Cada central deve dispor de dois tambores de 200l (Figura 88) para abastecer o misturador, apoiados sobre mesa de, aproximadamente, 1m de altura.

Figura 88 - Bombonas de água

(Fonte: foto tirada por Naira Ery Asano)

6.3.1 Locação das centrais de argamassa

As centrais de preparo de argamassa usualmente são locadas nos pavimentos da torre em função do alcance dos projetores de argamassa que possibilita projetar até um pavimento acima daquele em que está a central e até seis para baixo.

Nos pavimentos em que serão locadas as centrais, deve-se prever a não instalação das portas e batentes, pois estas podem ser danificadas com a movimentação dos equipamentos. Em alguns casos, a configuração das alvenarias pode prejudicar ou até impossibilitar a movimentação; portanto, é importante um planejamento quanto a este aspecto, de preferência antes da produção das alvenarias. No exemplo das Figura 89 e Figura 90, nota-se que na frente da entrada do apartamento há uma alvenaria que obriga a realização de uma curva para acesso (Figura 89). Neste caso, seria necessária a remoção da alvenaria (Figura 90) para passagem do equipamento, o que geraria retrabalho. Portanto, todo planejamento deve ser feito anteriormente à produção da alvenaria que poderá ser produzida após a produção do revestimento de fachada.

Figura 89 - Planta do apartamento

(Fonte: projeto de arquitetura de empreendimento TECNISA)

Figura 90 - Espaleta quebrada

(Fonte: foto tirada por Naira Ery Asano)

No caso de locação da central dentro de apartamento, o ideal é que não estejam com acabamentos, mas se estiverem com revestimento vertical e contrapiso

prontos, é adequado que se faça proteção com plástico nas paredes e compensado de madeira no piso (Figura 91).

Figura 91 - Proteção do local onde está instalada a central de produção de argamassa nos casos em que os revestimentos verticais e contrapisos estiverem prontos

(Fonte: foto tirada por Naira Ery Asano)

6.3.2 Planejamento da execução

O planejamento para execução do revestimento de fachada com o sistema de projeção contínua é baseado no projeto de balancins que deve contemplar sua disposição de acordo com as características do perímetro da torre e as exigências de segurança de utilização do equipamento.

Para o planejamento, deve-se considerar que uma equipe formada por 3 pedreiros executa aproximadamente 50m² por dia (jornada de trabalho de 9 horas). Esta equipe é atendida por um ajudante que manuseia o misturador contínuo e o projetor de argamassa para preparo e fornecimento de argamassa. Há também um ajudante responsável pela pressurização, controle de funcionamento e abastecimento dos silos. Para liderar e coordenar as equipes deve haver um encarregado da empresa de execução.

Além destes, deve-se exigir, em contrato, a presença de técnicos das empresas fornecedoras dos equipamentos na obra, para manutenção e correções imediatas.

Realizar prévio acordo com o fornecedor de material quanto ao horário de abastecimento dos silos, que deve ocorrer no período da tarde, quando não há produção de revestimento. No caso de fornecimento ensacado, deve-se determinar o horário que a empresa de execução terá o uso exclusivo do elevador cremalheira para transporte vertical das sacarias para abastecimento do pavimento.

6.4 Procedimento de execução de revestimento externo de argamassa com projeção contínua

6.4.1 Condições para início dos serviços

Para o início da execução do revestimento externo, deve-se atender às seguintes condições:

- treinamentos da equipe de execução realizados:
 - treinamento ministrado pela empresa fornecedora do material para orientação quanto ao manuseio do sistema de silo e quanto às corretas técnicas de aplicação da argamassa de projeção contínua – público: equipe da obra, pedreiros, ajudantes e encarregados da empresa de execução.
 - treinamento ministrado pela empresa fornecedora do projetor de argamassa visando ao correto manuseio do equipamento – público: pedreiros, ajudantes e encarregados da empresa de execução;
 - treinamento ministrado pela construtora com apresentação do procedimento de execução – público: equipe de obra, pedreiros, ajudantes e encarregados da empresa de execução.
- materiais, equipamentos e ferramentas disponíveis;
- chapisco executado há, no mínimo, 3 dias;
- taliscas executadas.

6.4.2 Materiais

- Argamassa industrializada para projeção contínua;
- Água limpa.

6.4.3 Equipamentos e ferramentas

- Para fornecimento em silo:
 - silo de armazenamento (saída simples ou dupla);
 - sistema de transporte vertical de material seco com um ou dois compressores e bloco de transporte (válvulas de controle);
 - mangueira de transporte;
 - dispositivo de recepção com filtro;
 - misturador contínuo de eixo helicoidal com dosagem de água automática;
 - filtro;
 - mesa de 1m de altura.
- Para fornecimento em sacos:
 - misturador contínuo de eixo helicoidal com dosagem de água automática;
 - filtro;
 - estrados de madeira.
- Projetor de argamassa;
- Bombonas;
- Bomba submersa ou mangueira;
- Colher de pedreiro;
- Desempenadeira de madeira;
- Régua de alumínio;
- Brocha;
- Caixote plástico;
- Compensado de madeira para fechamento de vãos;
- Régua dupla de alumínio e frisador de juntas (se houver);
- Bucha sintética.

6.4.4 Acionamento do sistema

- Percutir o silo, com martelo de madeira, em várias alturas para verificar o nível da argamassa. Informar o nível estimado ao responsável pelo pedido de material;
- Ligar o sistema e pressurizar o silo com a pressão indicada pelo fornecedor;
- Monitorar o correto funcionamento de todos equipamentos durante o período de execução de revestimento.

6.4.5 Produção de argamassa

- Executar a proteção de paredes e piso em caso de locação das centrais em locais com revestimentos internos já executados;
- Posicionar as bombonas sobre a mesa e mantê-las com nível de água alto;
- Conectar o filtro à entrada de água, na ponta da mangueira de sucção;
- Manter a ponta da mangueira de sucção no fundo da bobona;
- Regular o rotâmetro para a vazão de água equivalente ao indicado pelo fornecedor da argamassa;
- Posicionar o projetor de argamassa na saída do misturador contínuo;
- Estender a mangueira até o balancim a ser atendido, buscando a otimização do caminho;
- Acionar o misturador para iniciar a produção de argamassa e despejá-la no projetor de argamassa;
- Verificar se a argamassa apresenta trabalhabilidade adequada;
- Acionar o projetor para iniciar o bombeamento de argamassa.
- Cuidados:
 - não permitir que a argamassa fique parada por mais de 40 minutos no projetor de argamassa. Caso este prazo esteja se esgotando, retirar a argamassa e lavar o projetor e o mangote;
 - não permitir que o nível de água na bobona esteja abaixo da metade.

6.4.6 Produção do revestimento

- Nos locais onde o mapeamento apontar espessuras superiores a 5cm, executar o enchimento prévio com metade da espessura final (a aplicação de grandes espessuras deve ocorrer em duas demãos – úmido sobre seco). Verificar o projeto de revestimento ou o procedimento da companhia quanto aos critérios de utilização e fixação da tela;
- Aplicar a argamassa na distância vertical entre taliscas contíguas até atingir a espessura definida por elas;
- Sarrafeiar a argamassa para executar as mestras;
- Aplicar a argamassa em faixas horizontais (a 30cm de distância da fachada), de baixo para cima, até atingir a espessura final;
- Sarrafeiar a argamassa, imediatamente após o término da projeção, com auxílio da régua de alumínio tomando como guia as mestras;
- Reservar no caixote a argamassa “cortada” (excesso) e utilizá-la para preencher os vazios;
- Aguardar o tempo de puxamento (aproximadamente 1 hora) e executar o acabamento com desempenadeira de madeira;
- Executar frisos previstos em projeto e requadros dos vãos de janelas.

6.4.7 Limpeza dos equipamentos

- Realizar a limpeza do projetor de argamassa e de sua mangueira de transporte ao final do expediente ou a cada intervalo grande entre usos);
- Despejar água no projetor e acioná-lo para que haja passagem de água pela mangueira;
- Remover o bico projetor e desconectar a mangueira do projetor, após a primeira passagem de água;
- Inserir uma bucha sintética na entrada da mangueira e reconectá-la ao projetor;
- Realizar nova passagem de água até que a bucha saia da mangueira. Repetir duas vezes esse procedimento;
- Lavar o bico projetor removendo toda argamassa de seu interior.

6.4.8 Controle de qualidade

- Realizar o ensaio de percussão em toda a fachada com martelo de madeira e verificar se ocorrem sons cavos;
- Caso ocorram, delimitar a área, remover a camada de argamassa e realizar a recomposição;
- Executar o ensaio de resistência de aderência à tração após 28 dias da execução do revestimento, conforme a ABNT NBR 13528//2010, com 12 corpos de prova, sendo seis sobre estrutura de concreto e seis sobre alvenaria;
- Aprovar o revestimento externo se, a média dos resultados estiver acima de 0,30MPa (ABNT NBR 13749/2013) e o coeficiente de variação inferior a 35%.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 Principais resultados alcançados

O enfoque do trabalho foi a apresentação do processo de implantação da produção de revestimento de argamassa com projeção mecânica contínua na construtora TECNISA, a partir de uma pesquisa ação, uma vez que a autora fez parte da equipe de implantação da tecnologia e, por isto, teve oportunidade de acompanhar com muita proximidade todo o processo.

O trabalho teve início com a apresentação do método tradicional da empresa, para execução de revestimento de fachada. Esse registro foi importante porque subsidiou a avaliação crítica final, uma vez que serviu de comparativo para avaliar se a nova tecnologia apresentou ganhos em relação à tradicional.

O Sistema Matrix, por ser um sistema único e de uma empresa específica, não contém muitas referências para serem consultadas, resumindo-se a fichas técnicas e catálogos. Entretanto, o contato com o fornecedor do sistema e com o de mão de obra trouxe informações importantes, que auxiliaram na execução do protótipo. A concepção da tecnologia contou com a colaboração das informações recolhidas durante a execução do protótipo.

O capítulo 3 propôs um programa experimental com foco na seleção de argamassas para revestimento, contendo os ensaios adequados para avaliação de suas características. Com isso, realizaram-se os ensaios e foi possível o entendimento de alguns comportamentos do material, por exemplo, o alto teor de ar incorporado alerta para que se tome cuidado com o tempo de mistura que, se muito elevado, agrega muito ar à argamassa podendo elevar ainda mais este valor.

A realização do protótipo foi de suma importância. Primeiramente por dar oportunidade para que se verificasse o sistema operando na prática, ultrapassando os conhecimentos adquiridos na teoria. Este conhecimento técnico não foi suficiente para prever os problemas e as dificuldades enfrentadas. Porém, apesar de os problemas ocorridos terem sido ruins para o adequado

andamento da obra, serviram de alerta para prevenir erros de planejamento, dimensionamento e execução em próximas utilizações do sistema. Em conjunto com a Votorantim, a Anvi e a Constata, a construtora conseguiu encontrar soluções e sanar os problemas. Com isso, pôde-se fazer uma retroalimentação e um levantamento das melhores práticas para uma adequada execução.

A experiência adquirida na etapa de protótipo subsidiou o planejamento do piloto. Este inicia com a implantação das boas práticas, buscando-se alcançar o maior retorno da tecnologia. Com isso, o piloto serviu de objeto de estudo para medição da produtividade e consumo de materiais associados ao serviço de execução de revestimento externo em argamassa com projeção contínua. Foi realizado um comparativo entre os sistemas de fornecimento: em silo e ensacado. Obteve-se índices de produtividade da equipe de oficiais, da equipe direta (oficiais e ajudantes envolvidos diretamente na produção) e da equipe global, incluindo a equipe indireta. Alcançou-se, também, índices de consumo e perda de material no processo de execução.

Os índices auxiliaram na avaliação positiva da tecnologia de execução de revestimento, uma vez que, ao se comparar com os índices de produtividade e consumo do sistema de caneca, apresentou valores mais vantajosos.

O capítulo 6 foi proposto visando à disseminação da execução do revestimento de fachada com projeção contínua da argamassa; por isto, reuniu diretrizes para a realização da análise econômica e técnica, para o planejamento, implantação e execução, em qualquer empreendimento da empresa. Trata-se de um texto que consolida o conhecimento disponível sobre a tecnologia de projeção contínua e poderá servir tanto para a construtora como para o mercado.

7.2 Análise crítica

A tecnologia de projeção contínua de argamassa mostrou-se apropriada para execução de revestimento externo. O material argamassa industrializada é um produto que, no estado fresco, pode apresentar características adequadas para a projeção e execução do revestimento. Como sistema de fachada, no estado

endurecido, apresentou desempenho satisfatório, com aderência acima do especificado e sem sinais de fissuras.

A principal crítica que se pode fazer a partir deste trabalho é em relação ao sistema de silo. Os sistemas disponíveis no Brasil não têm características que permitam atender completamente (na maioria dos casos) a um empreendimento e, algumas vezes, nem mesmo a uma única torre. O restrito caminhamento horizontal possível para o sistema de mangueira que vai do silo ao misturador gera a necessidade de se trabalhar com dois tipos de fornecimento de argamassa anidra: silo e saco. Assim, as vantagens almejadas ao optar pelo fornecimento em silo não são inteiramente alcançadas uma vez que o sistema de saco exige grande equipe indireta, áreas e cuidados para o armazenamento das sacarias, ocupação da cremalheira para o transporte vertical etc.

O custo do sistema silo está embutido no preço do material (argamassa); portanto, a construtora, ao comprar a argamassa, está pagando pelo transporte de material e pelo preparo da argamassa, pois se espera que o bombeamento e a mistura proporcionados pelos equipamentos do sistema cumpram com estas funções. É uma nova tratativa comercial, ou seja, compra-se “argamassa pronta no pavimento”. Por isto, o sistema deve ser repensado, visto que atualmente não está atendendo às expectativas do cliente.

Para sanar os problemas de atendimento parcial da torre pelo sistema de silo, poderia se pensar em sistemas que contemplem silos menores, com vistas a facilitar seu posicionamento junto ao edifício. Outra solução que poderia ser estudada é a criação de pontos de armazenamento intermediários no edifício vertical, em que um silo bombeia para outro silo de menor capacidade, ou equipamentos de recepção e bombeamento, gerando bombeamentos sequenciais.

Quanto à projeção, o sistema não é compatível com os misturadores convencionais. Notou-se que, pela diferença de produtividade das equipes acompanhadas neste trabalho, as interrupções de projeção devidas a paradas para produção de argamassa, quando fornecida ensacada, prejudicaram o rendimento dos operários e, portanto, os índices. Para se atingir produtividades próximas ao potencial que o sistema silo apresenta, deve-se trabalhar com

misturadores contínuos em detrimento aos misturadores horizontais convencionais.

Quanto à mão de obra, a primeira barreira para a adequada implantação do sistema é a falta de empresas no mercado preparadas para trabalhar com projeção contínua. Em São Paulo, ainda são muitas as empresas que declinam do convite de participação na concorrência de fornecimento de mão de obra por desconhecimento do sistema.

Ao acompanhar a execução do protótipo e do piloto, notou-se que falta conscientização dos pedreiros quanto à geração de resíduos. A remuneração destes é baseada na área realizada e atividades que atrapalhem sua produtividade são ignoradas. É o caso, por exemplo, do não cumprimento da prática de reaproveitamento do material “cortado” no momento do sarrafeamento. Para o pedreiro, é mais prático derrubar a argamassa de excesso na bandeja ao invés de trazê-la para dentro do balancim e despejá-la no caixote para utilizá-la no preenchimento de vazios. Porque o consumo de material não está vinculado ao contrato da mão de obra, os encarregados também não se preocupam em orientar o operário. Apesar dos fatos mencionados, a projeção contínua apresentou menor perda em relação à projeção por caneca, o que reflete em redução de custo de material e melhor desempenho em questões ambientais.

Quanto à produtividade, os levantamentos de RUPs comprovaram que o sistema tem potencial para atingir elevada produção diária. Entretanto, a rapidez de produção apresentou vantagem sobretudo para o operário que finalizava seu pano mais cedo e ia embora, não cumprindo, por muitas vezes, a jornada de trabalho usual de 9 horas. Em consequência, é reduzida a possibilidade de se finalizar a fachada em tempo menor do que o tempo dimensionado para o sistema tradicional. Os interesses são diferentes: o pedreiro quer executar o que para ele é suficiente economicamente, a construtora busca atender ou reduzir o prazo da obra. Enquanto não houver a união dos esforços e interesses para a realização do serviço, o problema de prazo permanece. Deve-se também repensar a política de remuneração da mão de obra, alterando o pagamento por metro quadrado executado. Um incentivo (bônus) pode motivar os pedreiros a

produzirem mais área por dia, gerando, assim, redução do prazo de execução da fachada.

Deseja-se que este trabalho auxilie na disseminação da tecnologia aos agentes da cadeia produtiva. Espera-se que as diretrizes contribuam para que mais empresas de mão de obra se especializem na técnica de execução e para que mais fornecedores ofereçam o sistema de silo, criando um mercado mais competitivo. Também que sirva como uma provocação para que as empresas evoluam seus produtos (sejam eles argamassas ou equipamentos), seus serviços (inovação na prestação de serviço) e seus sistemas de gestão (qualidade, produtividade, política de remuneração etc.).

7.3 Trabalhos futuros

Sugere-se como trabalho futuro, além do desenvolvimento das melhorias mencionadas na análise crítica (item 7.2), o estudo de argamassas industrializadas para chapisco projetado continuamente. Atualmente não se encontrou produto que seja adequado técnica e economicamente para a execução do preparo da base para o revestimento externo. Utilizam-se chapiscos aplicado com colher de pedreiro (“chapado”), desempenado ou com projeção com caneca, sendo que este último implica em uma duplicidade de sistema de projeção na obra.

Esta contribuição complementaria este trabalho ao auxiliar na otimização do serviço de fachada, uma vez que aumenta a produtividade do serviço que precede a etapa foco desta dissertação, e uniformiza o equipamento e a técnica de aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. **Manual de revestimento de argamassa.** São Paulo. Comunidade da construção, 2002. 104p.

ANVI. Apresenta equipamentos para mistura, bombeamento e projeção de concretos e argamassas. Disponível em: <http://www.anviequipamentos.com>. Acesso em: 14 jun. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277:** Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005. 3p.

_____. **NBR 13278:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005. 8p.

_____. **NBR 13279:** Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005. 9p.

_____. **NBR 13280:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005. 2p.

_____. **NBR 13281:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005. 11p.

_____. **NBR 13528:** Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010. 11p.

_____. **NBR 13749:** Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 2013. 8p.

_____. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3:** Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005. 30p.

_____. **NBR 15259:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005. 3p.

_____. **NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1:** Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013. 71p.

_____. **NBR 15575-4: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 4:** Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013. 75p.

_____. **NBR 15630:** Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 2006. 4p.

_____. **NBR 7200:** Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento. Rio de Janeiro, 1998. 13p.

BAÍA, L. L. M.; SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa.** Série: Primeiros passos da qualidade no canteiro de obras. São Paulo. O Nome da Rosa, 2000. 82p.

BARROS, M. M. S. B. **Metodologia para implantação de tecnologia construtiva racionalizada na produção de edifícios.** 1996. 422p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BAUER, E.; CARASEK, H.; PAES, I. N. L. **Revestimento em argamassa: Influência do substrato no transporte e fixação de água, nos momentos iniciais pós-aplicação.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 5º, São Paulo, 11 a 13 de junho de 2003. p. 533-544.

CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. **Caracterização reológica de argamassas pelo método de squeeze-flow.** In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Florianópolis, 2005. 23p.

CEOTTO, L. H.; BONDUK, R.C.; NAKAMURA, E.H. **Revestimentos de argamassas: boas práticas em projeto, execução e avaliação.** Porto Alegre: ANTAC, 2005. Recomendações Técnicas Habitare, v.1.

CONSTRUINOVA. **Mestrado profissional – Escola Politécnica**. Disponível em: <http://prpg.usp.br/construinoва//paginas/mostrar/3551>. Acesso em: 20 dez. 2013

MEGAMIX. Apresenta sistema de silo. Disponível em: <http://www.megamixargamassas.com.br/home.html#>. Acesso em: 12 jun. 2014.

M-TEC. Apresenta equipamento de mistura automática e bombeamento. Disponível em: <http://www.m-tec.com/pt/Baustellentechnik/Maschinen/mischpumpen/duo-mix.php>. Acesso em: 20 jun. 2014.

OLIVEIRA, T. T.; TANNENBAUM, P. R. K. **O uso do SINAPI para a escolha tecnológica em habitações populares**. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Maceió, 2014. 10p.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos**: formulação e aplicação de uma metodologia. 1989. 321 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SANTOS, C. C. N. **Crêterios de projetabilidade para as argamassas industrializadas de revestimento utilizando bomba de argamassa com eixo helicoidal**. 2003. 138p. Tese (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

SOUZA, U. E. L. **Método para a previsão da produtividade da mão-de-obra e do consumo unitário de materiais para os serviços de fôrmas, armação, concretagem, alvenaria, revestimentos com argamassa, contrapiso, revestimentos com gesso e revestimentos cerâmicos**. São Paulo, 2001. 280p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SUSMAN, G. I.; EVERED, R. D. **An assessment of the cientific merits of action research**. Administrative Science quarterly. Vol. 23. nº4. Nova Iorque, 1978. p. 582-603.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 14. ed. São Paulo: Cortez, 2005.

VOTORANTIM. Apresenta linha de argamassas industrializadas e fichas técnicas. Disponível em: <http://mapadaobra.com.br>. Acesso em: 12 jun. 2014.

_____. Apresenta sistema Matrix. Disponível em: <http://mapadaobra.com.br>. Acesso em: 12 jun. 2014.

ZANELATTO, K. C. **Avaliação da influência da técnica de execução no comportamento dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua**. 2012. 123 p. Tese (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

APÊNDICE A

Para a análise de produtividade da execução de revestimento externo com projeção contínua, fez-se o acompanhamento de equipes de oficiais, equipes diretas e equipes indiretas. Para cada dia, foram registrados os horários de entrada e saída de cada funcionário, a área produzida pela equipe e eventuais interferências ocorridas. Com estes dados, calcularam-se as RUPs diária, cumulativa e potencial das equipes oficial, direta e global. Os registros e os cálculos dos índices estão apresentados na Tabela 5, Tabela 6, Tabela 7 e Tabela 8.

Vale ressaltar que, nos levantamentos de equipe indireta, considerou-se os funcionários envolvidos na entrega do material. No caso do silo, foram contabilizadas as horas do motorista do caminhão graneleiro e de um ajudante durante os abastecimentos do silo. Como o silo possuía saída dupla e atendia à duas equipes, dividiu-se estes tempos pela metade, para que se conseguisse computar horas dedicadas apenas à equipe em estudo.

Já para o fornecimento em sacarias, os tempos computados foram aqueles necessários para a descarga apenas da quantidade de sacos utilizada pela equipe em estudo. Como cada caminhão transportava 320 sacos por vez e a descarga deste material demorava, em média, 40 minutos, considerou-se para cada saco 0,0021 minutos.

Tabela 5 - RUPs Oficial e Direta da "equipe silo"

DIA	HORÁRIOS EQUIPE SILO ⁽¹⁾								HORAS TOTAL (OFICIAL)	HORAS TOTAL (DIRETA)	ÁREA PRODUZIDA (t)	OFICIAL			DIRETA			INTERFERÊNCIA ⁽¹⁾
	Pedreiro 1		Pedreiro 2		Pedreiro 3		Ajudante					RUP DIÁRIA	RUP CUM.	RUP POT.	RUP DIÁRIA	RUP CUM.	RUP POT.	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída										
1	6:30	15:30	6:30	16:00	6:30	16:00	6:30	15:48	28:00:00	37:18:00	45,42	0,62	0,62		0,82	0,82		
2	6:30	16:20	6:30	16:20	6:30	16:20	6:30	14:55	29:30:00	37:55:00	38,62	0,76	0,68		0,98	0,89		
3	6:30	17:01	6:30	16:30	6:30	16:36	6:30	16:00	30:37:00	40:07:00	63,53	0,48	0,60		0,63	0,78		
4	6:30	16:00	não produziu		não produziu		06:30	10:00	9:30:00	13:00:00	24,97	0,38	0,57		0,52	0,74		falta de energia
5	6:40	16:10	faltou		6:40	17:00	6:40	16:00	19:50:00	29:10:00	25,92	0,77	0,59		1,13	0,79		
6	6:20	15:00	faltou		6:20	15:00	6:20	14:25	17:20:00	25:25:00	25,92	0,67	0,60		0,98	0,82		
7	7:10	16:20	faltou		não produziu		7:15	9:00	9:10:00	10:55:00	10,92	0,84	0,61		1,00	0,82		chuva
8	8:00	14:20	não produziu		não produziu		8:00	9:20	6:20:00	7:40:00	10,92	0,58	0,61		0,70	0,82		bandeja quebrada
9	7:20	14:45	faltou		7:20	15:40	7:20	8:30	15:45:00	16:55:00	17,16	0,92	0,63		0,99	0,83		
10	faltou		7:30	11:30	6:20	11:30	6:20	10:30	9:10:00	13:20:00	17,11	0,54	0,62		0,78	0,83		
11	6:30	16:15	6:30	16:05	6:30	15:15	6:30	15:30	28:05:00	37:05:00	50,51	0,56	0,61		0,73	0,81		
12	faltou		7:40	17:20	6:40	14:20	6:40	14:30	17:20:00	25:10:00	46,74	0,37	0,58		0,54	0,78		
13	7:30	15:20	7:30	15:05	7:30	15:10	6:30	10:30	23:05:00	27:05:00	29,21	0,79	0,60		0,93	0,79		
14	não houve aplicação								-	-	-		0,60			0,79		chuva
15	não houve aplicação								-	-	-		0,60			0,79		limpeza da obra
16	não houve aplicação								-	-	-		0,60			0,79		chuva e sindicato
17	7:20	14:20	faltou		7:40	14:00	7:20	13:00	13:20:00	19:00:00	18,84	0,71	0,60		1,01	0,80		
18	feriado								-	-	-		0,60			0,80		
19	7:30	15:10	7:20	16:30	6:30	12:00	6:30	10:30	22:20:00	26:20:00	52,35	0,43	0,58		0,50	0,77		
20	7:45	14:10	8:00	16:30	7:00	14:10	7:00	18:00	22:05:00	33:05:00	54,88	0,40	0,57		0,60	0,75		
21	7:10	14:00	7:10	16:30	7:00	13:45	7:20	12:00	22:55:00	27:35:00	52,14	0,44	0,55		0,53	0,73		
22	7:00	15:30	7:10	16:55	6:30	12:00	6:30	10:30	23:45:00	27:45:00	48,58	0,49	0,55		0,57	0,72		
23	6:40	13:00	7:20	15:30	6:40	12:00	6:40	12:00	19:50:00	25:10:00	36,95	0,54	0,55		0,68	0,72		
24	7:00	12:40	7:20	16:45	6:40	12:40	6:40	14:30	21:05:00	28:55:00	40,42	0,52	0,55		0,72	0,72		
25	faltou		7:00	13:00	faltou		7:00	11:30	6:00:00	10:30:00	21,05	0,29	0,54		0,50	0,71		
26	7:20	12:20	7:15	16:30	6:50	12:30	6:50	11:30	19:55:00	24:35:00	42,92	0,46	0,54		0,57	0,70		
27	7:00	12:30	7:00	17:00	6:30	12:00	6:30	10:00	21:00:00	24:30:00	42,96	0,49	0,53		0,57	0,69		
28	7:00	11:30	7:20	15:30	6:40	11:30	6:40	19:15	17:30:00	30:05:00	43,82	0,40	0,53		0,69	0,69		
29	7:30	14:45	7:40	16:30	7:20	14:45	7:20	10:10	23:30:00	26:20:00	43,76	0,54	0,53		0,60	0,69		
30	7:00	12:20	7:00	16:10	7:00	11:45	7:00	9:30	19:15:00	21:45:00	43,07	0,45	0,52		0,50	0,68		
31	8:30	14:30	7:30	17:20	7:45	13:00	7:30	11:30	21:05:00	25:05:00	41,32	0,51	0,52		0,61	0,68		
32	7:00	15:00	7:00	15:50	7:00	15:15	6:50	9:30	25:05:00	27:45:00	24,37	1,03	0,53		1,14	0,69		
33	7:00	13:30	faltou		6:40	14:00	6:40	9:50	13:50:00	17:00:00	24,66	0,56	0,54		0,69	0,69		
34	10:00	14:50	6:50	16:50	6:50	15:15	6:50	9:40	23:15:00	26:05:00	47,47	0,49	0,53		0,55	0,68		
35	7:45	11:45	7:35	13:00	7:30	13:00	6:50	9:50	14:55:00	17:55:00	40,37	0,37	0,53		0,44	0,67		
Médias =>	7:12:51	14:27:32	7:10:52	15:52:37	6:50:56	13:56:31	6:49:31	12:11:04	19:10:23	24:31:56	36,35	0,56	0,57		0,72	0,76		
Méd. hs diárias =>	7:14:41		8:41:44		7:05:36		5:21:33		Medianas =>			0,52	0,58		0,68	0,77		

(1) Dados medidos pela Daher Engenharia

(1) Dados medidos pela Daher Engenharia

Tabela 6 - RUP Global da "equipe silo" (equipe indireta)

DIA	HORÁRIOS EQUIPE SILO ⁽¹⁾								HORAS TOTAL (INDIRETA)	HORAS TOTAL (DIRETA)	ÁREA PRODUZIDA (t)	GLOBAL		
	Ajudante 1				Ajudante 2		Motorista					RUP DIÁRIA	RUP CUM.	RUP POT.
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída						
1	6:00	6:10	16:00	16:30	16:00	16:30	16:00	16:30	1:40:00	37:18:00	45,42	0,86	0,86	0,61
2	6:00	6:10							0:10:00	37:55:00	38,62	1,00	0,92	
3	6:00	6:10	8:00	8:30	8:00	8:30	8:00	8:30	1:40:00	40:07:00	63,53	0,66	0,81	
4	6:00	6:10							0:10:00	13:00:00	24,97	0,53	0,77	
5	6:00	6:10	14:00	14:30	14:00	14:30	14:00	14:30	1:40:00	29:10:00	25,92	1,19	0,82	
6	6:00	6:10							0:10:00	25:25:00	25,92	0,99	0,84	
7	6:00	6:10	13:30	14:00	13:30	14:00	13:30	14:00	1:40:00	10:55:00	10,92	1,15	0,86	
8	7:50	8:00							0:10:00	7:40:00	10,92	0,72	0,85	
9	7:10	7:20							0:10:00	16:55:00	17,16	1,00	0,86	
10	6:00	6:10							0:10:00	13:20:00	17,11	0,79	0,86	
11	6:10	6:20							0:10:00	37:05:00	50,51	0,74	0,84	
12	6:10	6:20	16:00	16:30	16:00	16:30	16:00	16:30	1:40:00	25:10:00	46,74	0,57	0,80	
13	6:20	6:30							0:10:00	27:05:00	29,21	0,93	0,81	
14									-	-	-		0,81	
15									-	-	-		0,81	
16									-	-	-		0,81	
17	7:00	7:10							0:10:00	19:00:00	18,84	1,02	0,82	
18									-	-	-		0,82	
19	6:10	6:20							0:10:00	26:20:00	52,35	0,51	0,79	
20	6:40	6:50							0:10:00	33:05:00	54,88	0,61	0,77	
21	7:00	7:10							0:10:00	27:35:00	52,14	0,53	0,75	
22	6:20	6:30	8:00	8:30	8:00	8:30	8:00	8:30	1:40:00	27:45:00	48,58	0,61	0,74	
23	6:20	6:30							0:10:00	25:10:00	36,95	0,69	0,73	
24	6:20	6:30							0:10:00	28:55:00	40,42	0,72	0,73	
25	6:50	7:00							0:10:00	10:30:00	21,05	0,51	0,73	
26	6:20	6:30	8:30	9:00	8:30	9:00	8:30	9:00	1:40:00	24:35:00	42,92	0,61	0,72	
27	6:10	6:20							0:10:00	24:30:00	42,96	0,57	0,71	
28	6:10	6:20							0:10:00	30:05:00	43,82	0,69	0,71	
29	6:50	7:00							0:10:00	26:20:00	43,76	0,61	0,71	
30	6:50	7:00							0:10:00	21:45:00	43,07	0,51	0,70	
31	7:00	7:10	16:00	16:30	16:00	16:30	16:00	16:30	1:40:00	25:05:00	41,32	0,65	0,70	
32	6:50	7:00							0:10:00	27:45:00	24,37	1,15	0,71	
33	6:30	6:40							0:10:00	17:00:00	24,66	0,70	0,71	
34	6:20	6:30							0:10:00	26:05:00	47,47	0,55	0,70	
35	6:50	7:00							0:10:00	17:55:00	40,37	0,45	0,69	

(1) Dados medidos pela Daher Engenharia

(1) Dados medidos pela Daher Engenharia

Tabela 7 - RUPs Oficial e Direta da "equipe saco"

DIA	HORÁRIOS EQUIPE SACO ⁽¹⁾								HORAS TOTAL (OFICIAL)	HORAS TOTAL (DIRETA)	ÁREA PRODUZIDA (1)	OFICIAL			DIRETA			INTERFERÊNCIA ⁽¹⁾	
	Pedreiro 1		Pedreiro 2		Pedreiro 3		Ajudante					RUP DIÁRIA	RUP CUM.	RUP POT.	RUP DIÁRIA	RUP CUM.	RUP POT.		
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída											
1	7:10	16:00	7:10	16:00	7:30	10:30	7:00	14:00	20:40:00	27:40:00	27,56	0,75	0,75	0,62	1,00	1,00	0,79		
2	6:40	15:00	6:40	15:00	6:40	15:00	6:30	15:00	25:00:00	33:30:00	41,62	0,60	0,66		0,80	0,88			
3	7:10	16:45	7:10	17:30	7:10	15:40	7:00	16:00	28:25:00	37:25:00	45,89	0,62	0,64		0,82	0,86			
4	não houve aplicação								-	-	-	0,64			0,86			falta de energia	
5	7:20	17:00	7:20	17:00	7:20	15:00	7:10	16:30	27:00:00	36:20:00	20,47	1,32	0,75		1,77	1,00			
6	7:45	16:15	8:00	16:15	7:45	15:40	7:40	16:00	24:40:00	33:00:00	53,63	0,46	0,66		0,62	0,89			
7	7:10	12:20	7:20	12:20	7:10	7:25	7:15	12:00	10:25:00	15:10:00	4,84	2,15	0,70		3,13	0,94			vento forte e chuva
8	7:45	16:10	faltou		7:45	15:20	7:45	14:30	16:00:00	22:45:00	24,50	0,65	0,70		0,93	0,94			
9	7:00	16:20	7:00	13:10	7:00	15:10	7:00	14:30	23:40:00	31:10:00	23,70	1,00	0,73		1,31	0,98			
10	8:00	16:00	faltou		8:00	15:00	8:10	11:00	15:00:00	17:50:00	15,19	0,99	0,74		1,17	0,99			funcionário novo
11	7:00	15:30	7:00	15:30	7:00	13:50	7:00	13:00	23:50:00	29:50:00	11,14	2,14	0,80		2,68	1,06			
12	7:00	16:05	7:00	16:05	7:00	14:40	7:00	16:30	25:50:00	35:20:00	32,02	0,81	0,80		1,10	1,06			
13	7:00	17:30	7:00	17:30	7:00	16:10	7:00	17:00	30:10:00	40:10:00	45,71	0,66	0,78		0,88	1,04			
14	não houve aplicação								-	-	-	0,78			1,04			chuva	
15	não houve aplicação								-	-	-	0,78			1,04			limpeza da obra	
16	não houve aplicação								-	-	-	0,78			1,04			chuva e sindicato	
17	7:00	17:30	7:00	17:15	7:00	17:00	7:00	13:00	30:45:00	36:45:00	43,74	0,70	0,77		0,84	1,02			
18	feriado								-	-	-	0,77			1,02				
19	7:10	16:30	7:10	17:00	7:10	16:40	7:20	16:00	28:40:00	37:20:00	45,92	0,62	0,76		0,81	1,00			
20	7:35	17:00	7:35	17:00	8:40	11:30	7:20	11:30	21:40:00	25:50:00	32,01	0,68	0,75		0,81	0,98			
21	7:00	17:10	7:00	17:10	7:00	15:45	7:00	11:30	29:05:00	33:35:00	49,18	0,59	0,74		0,68	0,95			
22	7:00	17:00	7:00	17:00	7:00	16:45	7:00	14:30	29:45:00	37:15:00	49,11	0,61	0,73		0,76	0,94			
23	7:00	17:10	7:00	17:10	7:00	16:00	7:00	14:30	29:20:00	36:50:00	49,13	0,60	0,71		0,75	0,92			
24	7:00	16:15	7:00	16:15	7:00	16:55	7:00	14:30	28:25:00	35:55:00	26,90	1,05	0,73		1,34	0,94			problema no misturador
25	não houve aplicação								-	-	-	0,73			0,94			sábado	
26	7:20	15:10	7:20	14:50	7:20	15:45	7:15	14:30	23:45:00	31:00:00	40,83	0,58	0,72		0,76	0,93			
27	7:00	15:40	7:00	15:40	7:00	15:05	7:10	13:00	25:25:00	31:15:00	45,53	0,56	0,71		0,69	0,91			
28	7:00	15:30	7:00	15:30	8:00	10:30	7:30	10:15	19:30:00	22:15:00	23,59	0,83	0,71		0,94	0,91			
29	7:30	17:15	7:30	17:15	7:30	7:40	7:30	11:30	19:40:00	23:40:00	24,24	0,81	0,72		0,98	0,92			
30	7:00	15:00	7:00	15:00	não produziu		7:00	9:30	16:00:00	18:30:00	24,15	0,66	0,72		0,77	0,91			balancim em manutenção
31	7:30	17:10	7:30	17:15	7:30	15:30	7:30	14:30	27:25:00	34:25:00	41,81	0,66	0,71		0,82	0,91			
32	7:00	16:30	7:00	16:30	7:00	16:05	7:00	13:30	28:05:00	34:35:00	41,76	0,67	0,71		0,83	0,90			
33	7:00	14:20	7:00	14:20	7:00	9:00	não produziu		16:40:00	16:40:00	4,28	3,89	0,73		3,89	0,92			transf. de equipam. de andar
34	7:30	17:10	7:30	17:10	7:30	15:00	7:30	12:10	26:50:00	31:30:00	43,21	0,62	0,72		0,73	0,91			
35	7:00	16:00	7:00	16:00	7:00	15:20	7:00	11:00	26:20:00	30:20:00	43,14	0,61	0,72		0,70	0,90			
Médias =>	7:11:33	16:10:52	7:09:27	16:05:56	7:17:09	14:16:58	7:11:58	13:37:19	24:04:08	30:16:12	33,61	0,93			1,15				
Méd. hs diárias =>	8:59:19		8:56:29		6:59:49		6:25:21		Medianas =>			0,66	0,73		0,83	0,94			

(1) Dados medidos pela Daher Engenharia

(1) Dados medidos pela Daher Engenharia

Tabela 8 - RUP Global da "equipe saco" (equipe indireta)

DIA	HORÁRIOS EQUIPE SACO ⁽¹⁾								HORAS TOTAL (INDIRETA)	HORAS TOTAL (DIRETA)	ÁREA PRODUZIDA (t)	GLOBAL		
	Operador de cremalheira		Ajudante 1 a 5		Ajudante 6 e 7		Motorista					RUP DIÁRIA	RUP CUM.	RUP POT.
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída						
1	14:30	15:50	14:30	15:50	9:00	9:12	9:00	9:12	8:18:00	27:40:00	27,56	1,31	1,31	0,93
2	14:30	15:12	14:30	15:12	9:00	9:42	9:00	9:42	5:15:00	33:30:00	41,62	0,93	1,08	
3	14:30	16:40	14:30	16:40	9:00	9:20	9:00	9:20	13:30:00	37:25:00	45,89	1,11	1,09	
4									-	-	-		1,09	
5	14:00	14:13	14:00	14:13	9:00	9:02	9:00	9:02	1:21:00	36:20:00	20,47	1,84	1,20	
6	14:25	15:35	14:25	15:35	9:00	9:11	9:00	9:11	7:16:30	33:00:00	53,63	0,75	1,08	
7	14:25	14:47	14:25	14:47	9:00	9:03	9:00	9:03	2:16:30	15:10:00	4,84	3,60	1,14	
8									-	22:45:00	24,50	0,93	1,12	
9	14:30	15:20	14:30	15:20	9:00	9:08	9:00	9:08	5:12:00	31:10:00	23,70	1,53	1,16	
10	15:30	16:32	15:30	16:32	9:00	9:09	9:00	9:09	6:25:30	17:50:00	15,19	1,60	1,18	
11	13:10	14:23	13:10	14:23	9:00	9:11	9:00	9:11	7:34:30	29:50:00	11,14	3,36	1,27	
12	14:30	16:10	14:30	16:10	9:00	9:15	9:00	9:15	10:22:30	35:20:00	32,02	1,43	1,29	
13	15:20	16:40	15:20	16:40	9:00	9:12	9:00	9:12	8:18:00	40:10:00	45,71	1,06	1,26	
14									-	-	-		1,26	
15									-	-	-		1,26	
16									-	-	-		1,26	
17	14:40	15:51	14:40	15:51	9:00	9:11	9:00	9:11	7:22:30	36:45:00	43,74	1,01	1,23	
18									-	-	-		1,23	
19	16:00	17:13	16:00	17:13	9:00	9:13	9:00	9:13	7:37:30	37:20:00	45,92	0,98	1,20	
20	14:20	14:57	14:20	14:57	9:00	9:06	9:00	9:06	3:51:00	25:50:00	32,01	0,93	1,19	
21	15:25	16:47	15:25	16:47	9:00	9:09	9:00	9:09	8:25:30	33:35:00	49,18	0,85	1,15	
22	18:00	19:35	18:00	19:35	9:00	9:14	9:00	9:14	9:51:00	37:15:00	49,11	0,96	1,14	
23	14:00	15:55	14:00	15:55	9:00	9:17	9:00	9:17	11:55:30	36:50:00	49,13	0,99	1,13	
24	15:30	16:10	15:30	16:10	9:00	9:06	9:00	9:06	4:09:00	35:55:00	26,90	1,49	1,14	
25									-	-	-		1,14	
26	14:30	15:34	14:30	15:34	9:00	9:10	9:00	9:10	6:39:00	31:00:00	40,83	0,92	1,13	
27	14:20	16:38	14:20	16:38	9:00	9:21	9:00	9:21	14:19:30	31:15:00	45,53	1,00	1,12	
28	14:30	15:12	14:30	15:12	9:00	9:06	9:00	9:06	4:21:00	22:15:00	23,59	1,13	1,12	
29	14:25	15:54	14:25	15:54	9:00	9:13	9:00	9:13	9:13:30	23:40:00	24,24	1,36	1,13	
30	15:30	15:55	15:30	15:55	9:00	9:04	9:00	9:04	2:36:00	18:30:00	24,15	0,87	1,12	
31									-	34:25:00	41,81	0,82	1,10	
32									-	34:35:00	41,76	0,83	1,09	
33	15:30	16:38	15:30	16:38	9:00	9:10	9:00	9:10	7:03:00	16:40:00	4,28	5,54	1,11	
34	14:00	14:40	14:00	14:40	9:00	9:06	9:00	9:06	4:09:00	31:30:00	43,21	0,83	1,10	
35									-	30:20:00	43,14	0,70	1,08	

(1) Dados medidos pela Daher Engenharia

(1) Dados medidos pela Daher Engenharia