

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Marília Corrêa de Almeida

**FACHADAS COM PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS
ARQUITETÔNICOS DE CONCRETO (PPAC) E DE
ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS COM
REVESTIMENTO DE PASTILHA: COMPARATIVO DOS
PROCESSOS DE EXECUÇÃO**

Porto Alegre

julho 2010

MARÍLIA CORRÊA DE ALMEIDA

**FACHADAS COM PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS
ARQUITETÔNICOS DE CONCRETO (PPAC) E DE
ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS COM
REVESTIMENTO DE PASTILHA: COMPARATIVO DOS
PROCESSOS DOS PROCESSOS DE EXECUÇÃO**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil

Orientadora: Ângela Borges Masuero

Porto Alegre
julho 2010

MARÍLIA CORRÊA DE ALMEIDA

**FACHADAS COM PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS
ARQUITETÔNICOS DE CONCRETO (PPAC) E DE
ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS COM
REVESTIMENTO DE PASTILHA: COMPARATIVO DOS
PROCESSOS DE EXECUÇÃO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Professora Orientadora e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 15 de julho de 2010

Profa. Ângela Borges Masuero
Dra. pela UFRGS
Orientadora

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Paulo Fernando Salvador (UFRGS)
Me. pela UFRGS

Francieli Tiecher (UPF)
Dra. Pela UFRGS

Profa. Ângela Borges Masuero (UFRGS)
Dra. pela UFRGS

Dedico este trabalho a meus pais e ao meu irmão, pois são
pessoas que me apresentam projetos, me desafiam a
construí-los e me ajudam na construção.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a professora Ângela Borges Masuero, orientadora deste trabalho, pela colaboração, empenho e incentivo ao longo da realização do mesmo, pois nos momentos de desânimo e dificuldades sempre encontrei apoio e palavras reconfortantes.

Agradeço a professora Carin Maria Schmitt por corrigir, com esmero e dedicação, esse trabalho e sempre estar disposta a me ajudar nas inúmeras vezes que a procurei para o esclarecimento de dúvidas.

Agradeço a Kamura pela dedicação e auxílio que ela empenhou ao me ajudar com a redação e a pesquisa do mesmo.

A excelência pode ser obtida se você se importa mais do
que os outros julgam ser necessário;
se arrisca mais do que os outros julgam ser seguro;
sonha mais do que os outros julgam ser prático;
e espera mais do que os outros julgam ser possível.

Vince Lombardi

RESUMO

ALMEIDA, M. C. **Fachadas com painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (PPAC) e de alvenaria de blocos cerâmicos com revestimento de pastilha**: comparativo dos processos de execução. 2010. 78 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Além de definir a linguagem estética de um edifício, as fachadas funcionam como vedação e devem desempenhar satisfatoriamente funções de fechamento e de conforto interno. Mas, o revestimento externo é um dos componentes mais sujeitos a manifestações patológicas numa construção. Os painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto apresentam-se como alternativa, pois são constituídos por painéis de concreto pré-fabricados ou moldados *in loco* e podem ser utilizados em obras industriais, comerciais e residenciais. Eles vêm sendo empregados como tecnologia construtiva inovadora e se configuram como práticas frequentes na construção civil. No Brasil, essa tecnologia já é utilizada na execução de fachadas de prédios industriais, porém não é comum o seu uso em fachadas de edifícios residenciais. Os painéis incrementam a produtividade do processo de construção e agregam valor comercial ao edifício, além de viabilizar a redução nos custos da edificação. Nas últimas décadas não foram empregadas inovações tecnológicas efetivas no processo de execução de fachadas, mas, atualmente, o cenário se modifica a fim avançar nos processos de execução. Percebe-se que, para os construtores, o sistema de execução de fachadas tradicionalmente conhecido apresenta-se como uma alternativa facilitadora, já que normalmente não é realizada a supervisão dos procedimentos (elaboração de projetos, organização, gestão e controle de execução). Desta forma, através de um comparativo entre os métodos de execução de fachadas em PPAC e de alvenaria, foram descritos os processos diretamente envolvidos em ambos os métodos. Este foi desenvolvido em quatro etapas: pesquisa bibliográfica; coleta de dados com os envolvidos nos processos; acompanhamento da execução dos processos no canteiro de obras e comparação dos dados obtidos sobre ambos os métodos. Ao final, foi possível observar que o método inovador só pode ser mantido se o desenvolvimento de projetos e planejamento dos painéis for o objetivo dos fabricantes, montadores, projetistas e construtores, voltados para eficiência o do processo de montagem.

Palavras-chave: painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto; inovação tecnológica; alvenaria de blocos cerâmicos com revestimento de pastilha.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: delineamento das etapas de pesquisa	16
Figura 2: seção, em perspectiva, do painel tipo sanduíche com revestimento interno em chapa de gesso acartonado	23
Figura 3: esquema de delimitação do estudo em paredes de alvenaria	26
Figura 4: alvenaria vedação de blocos cerâmicos	26
Figura 5: blocos fornecidos em <i>pallets</i>	27
Figura 6: bloco cerâmico de vedação com furos na horizontal e na vertical	28
Figura 7: blocos cerâmicos	28
Figura 8: junta de vedação	30
Figura 9: porta- <i>pallets</i>	31
Figura 10: carrinho de mão	31
Figura 11: elevador	31
Figura 12: andaime suspenso	32
Figura 13: ligação flexível entre alvenaria e estrutura	33
Figura 14: reforços no encontro alvenaria e estrutura	33
Figura 15: painel pré-fabricado arquitetônico de concreto	34
Figura 16: juntas entre PPAC (Mondial Business Hotel, Praça IV Centenário – Guarulhos/SP)	37
Figura 17: esquema genérico das juntas	37
Figura 18: içamento e manuseio dos painéis arquitetônicos	38
Figura 19: transporte fábrica-obra	39
Figura 20: insertes de içamento em alça de cabo de aço	40
Figura 21: detalhe da fixação de painéis	41
Figura 22: layout da obra do caso estudado	46
Figura 23: armazenagem de blocos no pavimento térreo	47
Figura 24: armazenagem de blocos no andar	47
Figura 25: carrinho para transporte dos materiais	48
Figura 26: lavagem da estrutura com água fria	48
Figura 27: conferência de nível do pavimento	49
Figura 28: marcação da primeira fiada	50
Figura 29: marcação da primeira fiada taliscada	50
Figura 30: utilização de telas de amarração	50
Figura 31: uso do escantilhão metálico e instalações embutidas executadas	51

Figura 32: lixamento da estrutura de concreto	53
Figura 33: nichos de protensão	54
Figura 34: fachada chapiscada	54
Figura 35: contramarco fixado com 1,3 cm de afastamento	55
Figura 36: tela de fachada fixada	55
Figura 37: fachada rebocada	56
Figura 38: pastilhas utilizadas no revestimento da fachada	56
Figura 39: execução dos sulcos	57
Figura 40: limpeza e retirada de resíduos de poeira	57
Figura 41: aplicação do limitador de profundidade – poliestireno	58
Figura 42: proteção das pastilhas com fita adesiva	58
Figura 43: aplicação do selante	58
Figura 44: acabamento no selante com batata	59
Figura 45: retirada da fita adesiva	59
Figura 46: fachada limpa e isenta de resíduos	59
Figura 47: detalhe da junta de dilatação	60
Figura 48: detalhe transversal do revestimento externo de parede com pastilha cerâmica	60
Figura 49: fachada sendo pastilhada	60
Figura 50: produção dos painéis na fábrica	64
Figura 51: armazenamento dos painéis no canteiro da obra	65
Figura 52: contramarcos instalados nos painéis	65
Figura 53: armazenamento dos painéis na fábrica	66
Figura 54: armazenamento dos painéis na obra	66
Figura 55: detalhe do acabamento do painel	67
Figura 56: fundações da base da grua	68
Figura 57: montagem da estrutura da grua	68
Figura 58: içamento do painel	69
Figura 59: posicionamento do painel para fixação	69
Figura 60: utilização do tifor	70
Figura 61: posicionamento dos <i>inserts</i> metálicos à armadura da estrutura	70
Figura 62: fixação inferior	71
Figura 63: execução da solda	71
Figura 64: fixação superior	71
Figura 65: painel fixado	72

Figura 66: espaçamento entre painéis para a execução das juntas.....	73
Figura 67: juntas executadas	73
Figura 68: execução da fachada em PPAC	74
Figura 69: quadro comparativo	76

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 MÉTODO DE PESQUISA	13
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	13
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	13
2.2.1 Objetivo principal	13
2.2.2 Objetivos secundários	14
2.3 PREMISSAS	14
2.4 DELIMITAÇÕES	14
2.5 LIMITAÇÕES	14
2.6 DELINEAMENTO	15
3 SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL DE FACHADA	17
3.1 REQUISITOS MÍNIMOS DE DESEMPENHO DAS FACHADAS	19
3.1.1 Resistência mecânica	20
3.1.2 Deformabilidade	21
3.1.3 Isolamento térmico	22
3.1.4 Isolamento acústico	23
3.1.5 Resistência ao fogo	24
3.2 ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS COM REVESTIMENTO DE PASTILHAS	25
3.2.1 Aspectos de produção	26
3.2.2 Geometria	28
3.2.3 Estanqueidade	29
3.2.4 Transporte horizontal e vertical	30
3.2.5 Fixação	32
3.3 PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS ARQUITETÔNICOS DE CONCRETO	34
3.3.1 Aspectos de produção	34
3.3.2 Geometria	35
3.3.3 Estanqueidade	36
3.3.4 Transporte horizontal e vertical	38
3.3.5 Fixação	40
4 PROCESSOS DE EXECUÇÃO DE SISTEMAS DE VEDAÇÃO VERTICAL ...	42
4.1 FACHADAS DE ALVERNARIA DE BLOCOS CERÂMICOS COM REVESTIMENTO DE PASTILHA	42

4.1.1 Treinamento da mão de obra e documentação	42
4.1.2 Condições para início dos trabalho	43
4.1.3 Execução de alvenaria	45
4.1.4 Execução de emboço externo	52
4.1.5 Execução de revestimento de pastilha	56
4.2 PROCESSOS PARA EXECUÇÃO DE FACHADAS COM PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS ARQUITETÔNICOS DE CONCRETO (PPAC)	61
4.2.1 Treinamento da mão de obra de produção	61
4.2.2 Condições para início dos trabalhos	61
4.2.3 Produção dos painéis	64
4.2.4 Içamento e montagem	67
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO

O cenário competitivo da construção civil exige do subsetor de edificações o estabelecimento de novas estratégias de atuação. É necessário, então, promover uma verdadeira modernização do processo de produção, a fim de garantir a sobrevivência financeira, a obtenção de ganhos de produtividade e conseqüentemente a redução dos custos de construção.

A racionalização do processo produtivo é uma estratégia de atuação das empresas para que o setor da construção torne-se mais competitivo. Esse tem sido **o desafio** para as construtoras, sobretudo quando se busca racionalização através da implantação de inovações tecnológicas nos processos construtivos tradicionais.

A adoção de fachadas com painéis pré-fabricados arquitetônicos de fachada (PPAC) para edifícios residenciais de múltiplos pavimentos pode ser enquadrada como uma dessas inovações. Tais painéis são elementos de vedação compostos de unidades de concreto armado, pré-fabricadas em fôrmas especiais ou padronizadas, com revestimento incorporado em suas faces externas e com função de fechamento, sendo fixadas na estrutura por meio de dispositivos metálicos.

A introdução de métodos inovadores, como as fachadas em PPAC, busca:

- a) a velocidade de execução dos serviços;
- b) o aumento da produtividade da mão de obra;
- c) a redução de etapas de produção em canteiro de obra;
- d) a eliminação de resíduos;
- e) a garantia da qualidade do produto.

Salienta-se que a utilização desse método construtivo nem sempre alcança as vantagens anteriormente descritas. Isso porque, na maioria das vezes, a sua introdução tem sido feita sem um cuidado rigoroso com o desenvolvimento adequado de projetos, o estudo entre as

interfaces dos subsistemas e a análise do atendimento aos requisitos mínimos de desempenho da fachada de um edifício.

Assim, o trabalho foi desenvolvido em cinco capítulos, sendo o primeiro capítulo composto por essa introdução. Na sequência, o segundo capítulo apresenta o método de pesquisa, abordando a questão de pesquisa, os objetivos, as delimitações, limitações e o delineamento da pesquisa.

No terceiro capítulo buscou-se a análise do uso da tecnologia PPAC em comparação com o sistema tradicional de alvenaria de blocos cerâmicos com revestimento de pastilha. Foram considerados os processos de execução de ambos os métodos para estabelecer um comparativo no quarto capítulo. Por fim, no quinto capítulo foram expostas as considerações finais deste trabalho.

2 MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo são apresentadas as diretrizes que determinaram o desenvolvimento do trabalho: questão de pesquisa, os objetivos (principal e secundários), as delimitações, as limitações e o delineamento da pesquisa.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: comparativamente, quais são os processos que estão envolvidos na execução da vedação vertical de fachadas utilizando-se o sistema tradicional de alvenaria de blocos cerâmicos com revestimento de pastilha e o sistema inovador de painel pré-fabricado arquitetônico de fachada (PPAC)?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Neste capítulo serão apresentados o objetivo principal e os secundários que direcionaram os estudos do trabalho.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é o estabelecimento de um comparativo dos processos de execução das fachadas de um edifício com PPAC e com alvenaria de bloco cerâmico com revestimento de pastilha.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários deste trabalho são a identificação e descrição, para cada um dos sistemas de vedação vertical de fachadas estudados, dos seguintes itens:

- a) requisitos mínimos de desempenho das fachadas;
- b) exigências de segurança no trabalho, envolvidas em cada um dos processos;
- c) equipamentos necessários;
- d) projetos necessários para execução;
- e) restrições para execução.

2.3 PREMISSAS

Este trabalho tem como premissa que a inserção da nova tecnologia de sistemas de vedação vertical de fachadas exige, dos profissionais envolvidos nos processos de execução, conhecimento das alterações que irão ocorrer na obra em função da utilização desse método.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao acompanhamento e comparação dos sistemas de vedação vertical em edifícios residenciais em Porto Alegre, executados em obras de uma única empresa.

2.5 LIMITAÇÕES

O trabalho limita-se ao estudo de sistemas de vedação vertical executados em PPAC e em alvenaria de blocos cerâmicos com revestimento de pastilha. As limitações impostas abrangem, também, a falta de acesso a informações relativas ao custo da utilização da tecnologia inovadora e, levando-se em consideração o prazo previsto de execução do revestimento de fachada com painel arquitetônico de concreto, não será possível acompanhar

todo o processo, pois será acompanhada uma obra específica com prazo de conclusão posterior ao encerramento deste trabalho.

2.6 DELINEAMENTO

Inicialmente foi feita uma **pesquisa bibliográfica** sobre os dois métodos de execução de sistemas de vedação vertical de fachadas: PPAC e alvenaria de bloco cerâmico com revestimento de pastilha. Em seguida, foi realizada uma **coleta de dados** observados em obra e com equipes especializadas nos processos, objetivando obter o máximo de informações dos agentes envolvidos nos processos de execução dos métodos. Essa fase se dará em três etapas, fazendo-se contato com:

- a) projetistas de arquitetura e engenheiros residentes;
- b) fornecedores de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (visita às fábricas dos painéis);
- c) equipes de montagem e execução dos métodos analisados (visita à obra e acompanhamento dos processos de execução).

Essa etapa buscou subsídios para descrever as variáveis direta e indiretamente envolvidas, como:

- a) características gerais dos materiais;
- b) aspectos de produção;
- c) geometria;
- d) estanqueidade;
- e) transporte vertical e horizontal;
- f) fixação.

Com isso, pôde ser realizada a **comparação entre os processos de execução**. E, por fim, estabelecidas as **considerações finais** da pesquisa. As etapas estão apresentadas no diagrama da figura 1.

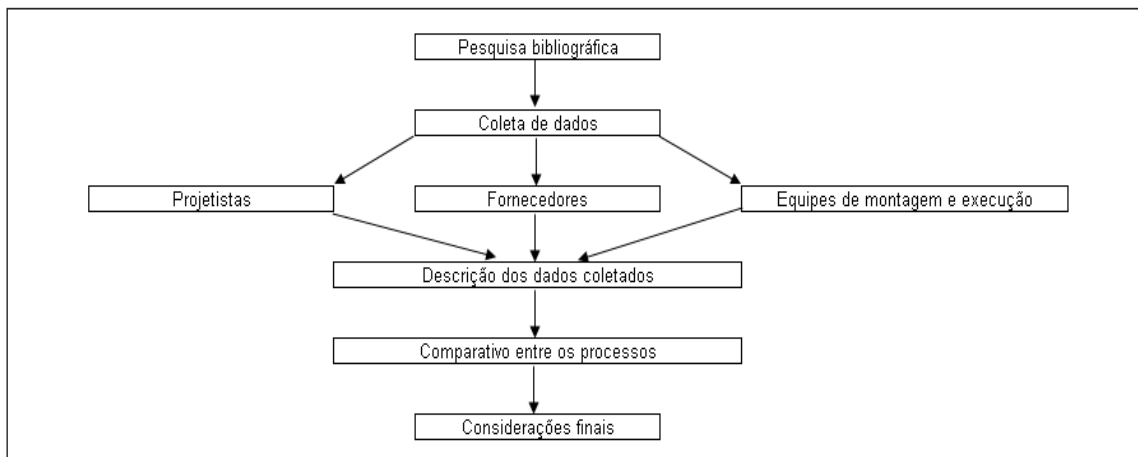


Figura 1: delineamento das etapas de pesquisa

3 SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL DE FACHADA

A vedação vertical pode ser entendida como um subsistema dos edifícios, constituído por elementos que compartimentam e definem os ambientes. Silva (2003, p. 8) explica que, independente do sistema de execução (convencional ou PPAC), as vedações verticais de fachada têm como finalidade isolar a parte interna da parte externa da edificação. Podem assumir, também, outras funcionalidades como, por exemplo, função estrutural, se devidamente projetadas para atingir esses determinados fins. E, segundo Sabbatini et al. (1993, p. 3), podem ser classificadas quanto à:

- a) posição no edifício;
- b) técnica de execução;
- c) densidade superficial.

Em relação à posição no edifício, a vedação pode ser externa (de fachadas) e interna. No primeiro caso, se constitui em uma vedação envoltória ao edifício, sendo que uma das faces está sempre em contato com o meio externo. Já a interna, se localiza no interior da edificação (SABBATINI et al., 1993, p. 3).

A segunda classificação se refere à técnica de execução e se divide em: por conformação e por acoplamento a seco ou úmido. O sistema tradicional é um exemplo de execução por conformação, onde as vedações verticais são moldadas ou elevadas no próprio local, com o emprego de água, é denominada, usualmente, **construção úmida**. Além das vedações em alvenaria, pode-se citar os painéis moldados *in loco*. Outra técnica empregada é por acoplamento a seco, na qual as vedações verticais são montadas a seco, sem a necessidade do emprego de água, usualmente denominadas **construção seca** ou *dry construction*. Trata-se de vedações produzidas com painéis leves. E por fim, existe o método por acoplamento úmido, segundo o qual, as vedações verticais são montadas por solidarização com argamassa. Refere-se a vedações produzidas com elementos pré-moldados ou pré-fabricados de concreto (SABBATINI et al., 1993, p. 3).

Quanto à densidade superficial, classificam-se em leves ou pesados. A vedação de baixa densidade superficial se encontra em um intervalo de 60 a 100 kg/m² e não possui função estrutural. Todavia, a vedação denominada pesada, ou seja, com densidade superior ao limite convencional para vedações leves, pode ou não ter função estrutural (SABBATINI et al., 1993, p. 3).

O subsistema de vedação vertical pode, ainda, ser classificado em função do grau de industrialização do seu processo de produção. Os processos com elevado grau de industrialização são considerados industrializados, ou seja, são vinculados a todos os princípios de organização, planejamento e controle. Os de grau intermediário, como por exemplo os tradicionais, são caracterizados por produção artesanal. Já os racionalizados diferenciam-se pela redução de desperdício, utilizando-se métodos baseados em princípios de planejamento e controle (SABBATINI¹, 1989 apud OLIVEIRA, 2002, p. 16).

Dessa forma, o subsistema de alvenaria de blocos cerâmicos, estudado nesse trabalho, classifica-se como:

- a) vedação externa (de fachada);
- b) execução por conformação;
- c) pesado, sem função estrutural;
- d) racionalizado.

Por outro lado, o subsistema de vedação vertical em PPAC, também estudado neste trabalho, classifica-se como:

- a) vedação externa (de fachada);
- b) execução por acoplamento a seco;
- c) pesado, sem função estrutural;
- d) industrializado.

¹ SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos**: formulação e aplicação de uma metodologia. 1989. 336 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Empresas que buscam ganhos de produtividade e diminuição de perdas, para serem competitivas no mercado, precisam, necessariamente, investir em métodos de racionalização da produção das vedações verticais. Por isso, salienta-se a importância da escolha dos materiais, componentes e sistemas produtivos que passam a ser o **gargalo tecnológico** da construção de edifícios (SILVA, 2003, p. 8).

3.1 REQUISITOS MÍNIMOS DE DESEMPENHO DAS FACHADAS

A NBR 15575-4 – Desempenho de Edifícios Habitacionais até Cinco Pavimentos: sistemas de vedações verticais internas e externas – especifica os requisitos necessários do sistema. Além disso, explica que cabem às vedações verticais as funções de estanqueidade à água, isolamento térmico, acústico e resistência ao fogo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

No caso de edificações com um número maior de pavimentos, essa Norma também poderia ser empregada levando-se em consideração a inexistência de outra no País que estabeleça as necessidades para tais construções. Sendo que, pelo mesmo motivo, essa poderia ser adotada na execução de fachadas com painéis pré-fabricados.

De modo geral, as características de um sistema estão relacionadas ao conjunto dos requisitos de desempenho, às exigências dos usuários e às condições de exposição. Os requisitos de desempenho são variáveis qualitativas e os critérios de desempenho traduzem os requisitos para uma forma quantitativa. Os requisitos avaliados nesse trabalho, detalhados nos próximos itens, serão:

- a) resistência mecânica;
- b) deformabilidade;
- c) isolamento térmico;
- d) isolamento acústico;
- e) resistência ao fogo.

3.1.1 Resistência mecânica

A verificação da resistência mecânica é fundamental na determinação da segurança estrutural da edificação. Através dessa, pode-se analisar a capacidade de suporte dos elementos de vedação quando submetidos a forças exercidas sobre as suas faces e determinar se esses possuem a resistência mecânica adequada (SABBATINI, 1984, p. 93). Além disso, essa resistência pode ser avaliada por meio de ensaios em laboratório, utilizando-se corpos de prova, ou, até mesmo, em campo, empregando-se paredes expostas às condições reais de solicitação.

Segundo Sabbatini et al. (1993, p. 11), no caso de paredes executadas em alvenaria, essa característica pode ser explicada pela conservação da integridade física, considerando o conjunto de componentes e juntas, sob solicitações das ações mecânicas previstas em projeto. Essas ações podem ser divididas de acordo com sua origem em: externas (por exemplo, deformações da estrutura e cargas de vento) e intrínsecas à alvenaria (por exemplo, variação da temperatura e de umidade). Além disso, pode a resistência estar relacionada a:

- a) características dos componentes de alvenaria: ou seja, das resistências específicas dos blocos e tijolos;
- b) características das juntas de argamassa de assentamento: que solidarizam os blocos, proporcionando monoliticidade ao conjunto;
- c) resistência de aderência do conjunto (componentes e juntas): indiretamente à sucção inicial dos componentes, retenção de água da argamassa de assentamento, qualidade da mão de obra, condições de cura, entre outros;
- d) espessura e disposição das juntas: cujos estudos demonstram diferenças sensíveis de resistência para diferentes valores;
- e) propriedades geométricas das paredes: índice de esbeltez, área da seção resistente, relação altura/comprimento;
- f) tipo de fixação da parede de vedação à estrutura: ferro cabelo, chapisco comum, tela metálica, etc.

No caso de vedações executadas em PPAC, os componentes dos painéis devem ser projetados a fim de resistir solicitações referentes a cada fase do seu processo de produção. As fases transitórias compreendem desde o endurecimento do concreto, desfôrma, armazenamento e transporte até a montagem. As fases definitivas correspondem àquelas após a efetiva fixação dos painéis na estrutura suporte, sendo que, na etapa de desforma, esses elementos precisam

apresentar resistência mínima às solicitações de tração aos quais serão submetidos (OLIVEIRA, 2002, p. 21).

3.1.2 Deformabilidade

As características de deformabilidade das paredes de vedação são importantes, pois interferem de forma significativa na capacidade da parede se manter íntegra ao longo da sua vida útil. Esse requisito pode ser classificado em: deformações devidas a ações externas e deformações intrínsecas. A primeira denominação se refere aos esforços induzidos pela deformação da estrutura de concreto. Mesmo não visíveis, essas solicitações não podem ser desprezadas, principalmente quando se tratam das deformações lentas do concreto, já que podem atingir valores muito superiores à deformação inicial. A segunda tem como origem os esforços intrínsecos à parede, provocados por variações dimensionais dos componentes e das juntas. Podem ser resultadas de movimentações higroscópicas, térmicas ou de processos químicos (reações de expansão de determinados materiais) (SABBATINI, 1984, p. 124).

As paredes de alvenaria estão sujeitas a essas deformações externas que podem ser minimizadas na execução dos procedimentos de fixação da alvenaria. Entretanto, passam a ser fundamentais as deformações, quando o comportamento de uma parede com elevado grau de confinamento é bastante diferente do comportamento de uma alvenaria pouco confinada. As paredes confinadas se encontram em um estado de tensões elevado e o acréscimo de tensões pode resultar em um estado inaceitável de fissuração. As manifestações patológicas da deformação da alvenaria, em geral, se traduzem pelo aparecimento de fissuras, causando má impressão aos usuários e possíveis problemas estruturais (SABBATINI et al., 1993, p. 12).

Em contraponto, os painéis arquitetônicos são executados com concretos especiais e reforçados por armaduras. Os acabamentos superficiais são incorporados no seu processo de fabricação, de modo a reduzir consideravelmente a mão de obra, correspondente à aplicação de revestimentos e pinturas nas fachadas convencionais (BARTH; VEFAGO, 2007, p. 29). Os componentes dos PPAC são produzidos, geralmente, com cimento CP V ARI, que confere alta resistência inicial à peça, criando condições de pouca deformabilidade depois de 28 dias.

Sendo assim, há significativa redução de fissuração nas paredes de vedação (OLIVEIRA, 2002, p. 22).

3.1.3 Isolamento térmico

As exigências referentes ao isolamento térmico visam garantir aos usuários das edificações níveis aceitáveis de temperatura, umidade relativa e vento durante todo o ano (SABBATINI et al., 1993, p. 14)². Além disso, esses requisitos objetivam atender às necessidades de conforto térmico dos usuários, considerando-se a região de implantação da obra e as respectivas características bioclimáticas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 2008). Entretanto, no Brasil, não se dispõe de valores normalizados, relacionados ao comportamento térmico, conforme as zonas climáticas e os materiais empregados para os projetos de edificações (SABBATINI et al., 1993, p. 14).

Acerca do sistema de vedação de blocos cerâmicos, uma parede de alvenaria é analisada para utilização, frente às exigências dos usuários, conforme o desempenho térmico de um material conhecido. Sendo assim, o bom comportamento térmico dos blocos se deve ao ar que permanece aprisionado no interior de seus furos (SABBATINI et al., 1993, p. 14).

Por sua vez, o isolamento térmico do sistema de PPAC se configura na possibilidade de se executar um enchimento no espaço existente entre o painel e o divisor interno de parede. Pode ser potencializado com a introdução de espuma rígida, quando localizado entre as cavidades e o concreto exterior. Além disso, possibilita a colocação de lã de vidro no seu interior que evita a concentração de calor, reduzindo, então, o consumo de energia em ambientes climatizados (CIOCHI, 2003, p. [1]). A figura 2 ilustra um exemplo de painel formado por chapa de gesso acartonado (fixada por perfis metálicos) e placa de concreto com revestimento cerâmico, preenchidos com lã de vidro.

² Essa é uma característica que, atualmente, deve ser ponderada, segundo as exigências da norma NBR 15575-4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

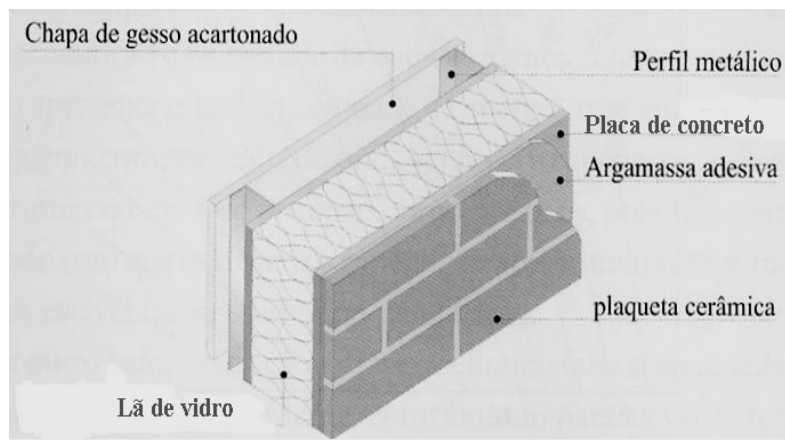


Figura 2: seção perspectiva do painel tipo sanduíche com revestimento interno em chapa de gesso acartonado (adaptada de BARTH; VEFAGO, 2007, p. 156)

3.1.4 Isolamento acústico

O isolamento acústico refere-se às exigências estabelecidas para redução dos níveis de ruídos. Quando se tratam de sistemas de vedação vertical, os requisitos designam a capacidade de isolamento acústico das fachadas, sobretudo nos edifícios localizados em regiões com elevados níveis de poluição sonora, sendo assim, pode ser exemplificado como a redução de índices de vibrações de máquinas ou equipamentos hidráulicos transmitidos pela estrutura ou parede. No Brasil, ainda não há especificações que possam ser adotadas nos projetos de vedações, como em outros países, que introduziram em seus códigos de obras especificações de desempenho acústico (SABBATINI et al., 1993, p. 14).

A NBR 15575-4 regulamenta as necessidades em relação ao conforto acústico e ao nível de desempenho das edificações. Assim, estabelece que o nível de desempenho necessita ser compatível com o nível de ruído de fundo (transmitido via aérea e estrutural) do local de implantação da obra. Sendo que este é determinado a partir do uso a que se destina a dependência da edificação, considerando os limites de estímulos sonoros externos, bem como privacidade acústica. Desta forma, o isolamento é projetado de modo a garantir esse conforto acústico, utilizando, portanto, sistemas compostos de materiais, componentes e elementos destinados a este fim (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

No caso de execução em alvenaria salienta-se, ainda, que em relação ao isolamento acústico, não é possível considerar apenas o comportamento da alvenaria. Deve-se, portanto, levar em consideração que o desempenho acústico das vedações verticais também é dependente das esquadrias (SABBATINI et al., 1993, p. 14).

Os PPAC possuem uma boa resistência no que se refere ao isolamento acústico (GARCIA, 2007, p. 1). Pois, assim como o desempenho térmico, o acústico também é satisfeito a partir do emprego de um sistema de enchimento dos espaços existentes entre o painel e o divisor interno da parede.

3.1.5 Resistência ao fogo

As vedações verticais devem atingir o desempenho relativo ao requisito segurança contra incêndio. A seguir são enunciadas as exigências (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008):

- a) dificultar a ocorrência da inflamação generalizada no ambiente de origem do incêndio;
- b) dificultar a propagação do incêndio para outras unidades habitacionais;
- c) facilitar a fuga dos usuários em situação de incêndio.

Segundo Sabbatini et al. (1993, p. 15), essa característica do sistema diz respeito à capacidade em apresentar resistência à ação do fogo. Mantendo, portanto, sua estabilidade e integridade e conservando suas funções de isolamento térmico e de estanqueidade a chamas e gases quentes durante certo período de tempo.

No caso do sistema tradicional, Franco (2005, p. 9) descreve essa característica das paredes de alvenaria considerando o tempo durante o qual os elementos da construção estão sujeitos a uma elevação padronizada de temperatura. Esse deve possuir a capacidade de manter a sua estabilidade (estrutural) ou integridade, não permitindo a elevação acentuada da temperatura no lado não exposto ao fogo, nem a passagem de gases quentes ou chamas.

As fachadas executadas com PPAC possuem a capacidade, segundo Ciochi (2003, p. [1]), de resistir a quatro horas de exposição ao fogo. Esse desempenho é obtido no momento da

execução de montagem dos painéis. As fixações devem ser embutidas no concreto da laje de cada pavimento com cobertura mínimo de 3 cm de concreto, além de serem protegidas com argamassa de vermiculita projetada.

3.2 ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS COM REVESTIMENTO DE PASTILHAS

Dentre os métodos construtivos de execução de vedação vertical de fachadas moldadas *in loco*, o tipo mais comum no Brasil é o de alvenaria com revestimento de argamassa, com acabamento em pintura ou revestimento cerâmico (SABBATINI et al., 1993, p. 1). A alvenaria pode ser entendida como um componente complexo conformado em obra, a partir da união entre tijolos ou blocos unidos entre si por juntas de argamassa, formando um conjunto rígido e coeso (SABBATINI, 1984, p. 84; SABBATINI et al., 1993, p. 1), isto ocorre até os dias de hoje.

Sabbatini et al. (1993, p. 5) explicam que esse sistema se constitui em uma fachada monolítica, onde a absorção dos esforços transmitidos à vedação é feita por todo o conjunto dos elementos que trabalham solidariamente. Sendo assim, por ser suscetível à interferência das deformações estruturais, requer estruturas mais rígidas para evitar manifestações patológicas.

Seguindo os conceitos apresentados, a parede de alvenaria pode ser dividida em dois tipos: alvenaria resistente ou de vedação. No primeiro caso, a execução pode ser feita pelo método tradicional, com a utilização de tijolos, ou estrutural, com o emprego de blocos. Já no caso de alvenaria de vedação, também é feito o uso de blocos ou tijolos vazados, porém sem função estrutural. A figura 3 sintetiza que para o sistema de vedação em alvenaria faz-se uso de blocos cerâmicos.

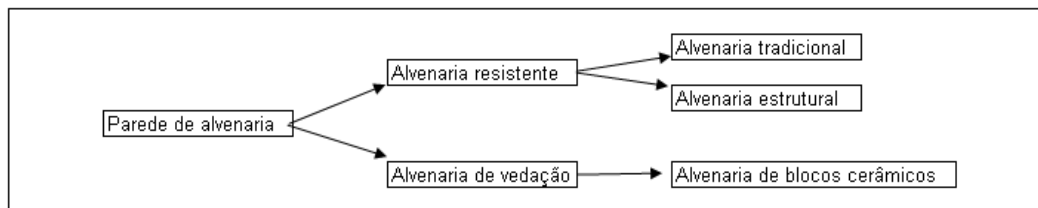


Figura 3: esquema de delimitação do estudo em paredes de alvenaria (SABBATINI et al., 1993, p. 5)

Dentre os possíveis métodos de execução de paredes de alvenaria, apenas um será abordado. Então, o enfoque do presente trabalho será alvenaria de vedação executada em blocos cerâmicos como ilustrado na figura 4.



Figura 4: alvenaria de vedação de blocos cerâmicos

3.2.1 Aspectos de produção

A produção de paredes de alvenaria demanda o consumo de materiais (argamassas e blocos cerâmicos) e de mão de obra (oficiais e ajudantes). Os componentes (blocos) apresentam diferentes características. Dentre elas, pode-se citar: dimensões, formas, propriedades físicas e

mecânicas. Além dos aspectos relacionados aos elementos em si, outros aspectos devem ser considerados para a escolha dos elementos que serão empregados (trabalho não publicado)³:

- a) **processo de execução da alvenaria (tradicional ou racionalizada):** a execução de maneira tradicional apresenta maior desperdício de material, não justificando, por exemplo, o uso de elemento de maior custo unitário;
- b) **existência de coordenação dimensional e modulação:** em casos de existência de coordenação dimensional entre a estrutura, a vedação e as esquadrias, é importante a escolha de elementos com maior uniformidade dimensional;
- c) **forma de fornecimento:** se existe o objetivo de minimizar perdas em transporte e manuseio devem ser escolhidos elementos possíveis de diminuir a manipulação dos componentes antes da aplicação, por exemplo, utilizando blocos fornecidos em *pallets* (figura 5);
- d) **exigências ergonômicas:** dependendo da prática ou costume da mão de obra peças maiores podem resultar em menor produtividade.



Figura 5: blocos fornecidos em *pallets*

O processo do escopo do trabalho classifica-se como racionalizado. Este exige um conjunto de ações que visa otimizar os recursos disponíveis (mão de obra, materiais, equipamentos, tempo) para a execução de um serviço. A alvenaria racionalizada implica no planejamento prévio dos serviços, com a identificação de pontos críticos, cuidados com os materiais, procedimentos de execução e controle. Estas ações resultam na elaboração de um projeto executivo, ou seja, um projeto para a produção. Sendo assim, o processo possibilita a

³ Informações da apostila de Alvenaria, utilizada pelo. Prof. Ruy Alberto Cremonini na disciplina de Edificações I (ENG 01013) do curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

utilização de elementos com maiores dimensões, como os blocos cerâmicos ou de concreto (trabalho não publicado)⁴.

3.2.2 Geometria

Segundo a NBR 15270-1, por definição, bloco é o componente da alvenaria com furos prismáticos perpendiculares às faces que os contém. São assentados com furos na vertical ou horizontal como apresentados na figura 6 e 7 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

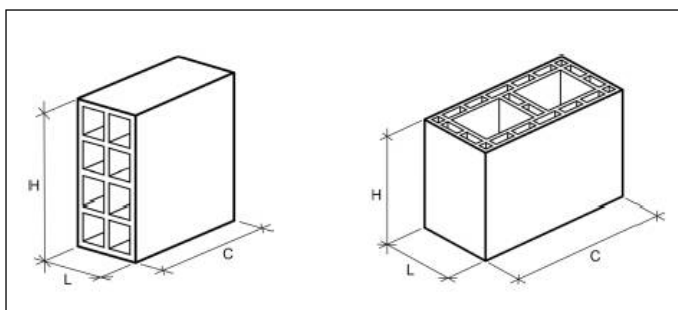


Figura 6: bloco cerâmico de vedação com furos na horizontal e na vertical (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005)



Figura 7: blocos cerâmicos

Os blocos utilizados na alvenaria de vedação não devem apresentar defeitos sistemáticos nas dimensões, no esquadro, na planicidade das faces, entre outros. As dimensões dos elementos

⁴ Informações da apostila de Alvenaria, utilizada pelo. Prof. Ruy Alberto Cremonini na disciplina de Edificações I (ENG 01013) do curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

de alvenaria necessitam ser razoavelmente uniformes, pois têm influência sobre a facilidade e qualidade da execução (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

3.2.3 Estanqueidade

A característica de estanqueidade dos ambientes de uma construção é um requisito fundamental, pois influencia diretamente no conforto, na salubridade e na durabilidade das edificações. A capacidade das paredes de alvenaria em resistir à penetração de águas de chuvas deve ser considerada, pois a sua degradação além de ocasionar desconforto aos usuários, implica em elevados custos de manutenção (trabalho não publicado)⁵.

Para as paredes de alvenaria, constituídas por materiais porosos e com inúmeros pontos suscetíveis à penetração de água, como por exemplo a interface bloco e argamassa, deve-se garantir a resistência através de camadas de proteção incorporadas à parede. A aplicação de revestimentos argamassados ou cerâmicos e a adoção de detalhes construtivos podem garantir a minimização dos efeitos da incidência direta e a facilidade do escoamento de água sobre a superfície (ilustrado na figura 8). Os beirais, juntas e pingadeiras são maneiras de assegurar a estanqueidade (SABBATINI et al., 1993, p. 14).

⁵ Informações da apostila de Tijolos e blocos, utilizada pelo. Prof. Ruy Alberto Cremonini na disciplina de Edificações I (ENG 01013) do curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

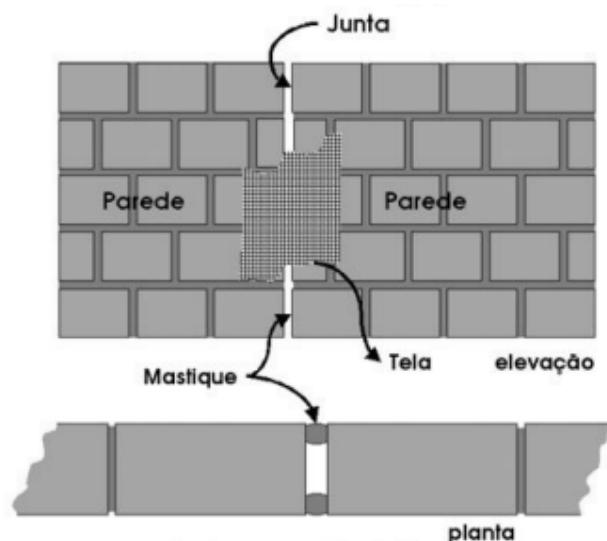


Figura 8: junta de vedação (adaptado de trabalho não publicado)⁶

3.2.4 Transporte horizontal e vertical

O transporte de materiais é uma atividade que, embora não agregue valor na construção civil, corresponde a aproximadamente 80% das atividades de construção (GEHBAUER, 2004, p. 13). Quanto mais contínuo for um sistema de transportes, tanto maior a sua produtividade. Entretanto, o tamanho e a forma do que será transportado influem na escolha do sistema (LIMMER, 1997, p. 7).

Conforme Sabbatini et al. (1993, p. 14-15), o estudo dos sistemas de transporte pode ajudar na sua otimização, no desenvolvimento de novas soluções ou, finalmente, na quantificação de vantagens associadas à adoção de um novo equipamento frente a uma solução tradicional. Alguns equipamentos são tradicionalmente utilizados para transporte horizontal e vertical de materiais em obras e são definidos como:

- a) móveis: equipamentos de transporte horizontal, como porta-*pallets* (figura 9), carrinhos de mão (figura 10) e caminhões;

⁶ Informações da apostila de Tijolos e blocos, utilizada pelo. Prof. Ruy Alberto Cremonini na disciplina de Edificações I (ENG 01013) do curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- b) fixos: equipamentos de transporte vertical, como elevadores e andaimes suspensos, ilustrados nas figuras 11 e 12.



Figura 9: porta-pallets (SABBATINI et al., 1993, p. 17)



Figura 10: carrinho de mão (SABBATINI et al., 1993, p. 17)



Figura 11: elevador (SABBATINI et al., 1993, p. 18)



Figura 12: andaime suspenso (SABBATINI et al., 1993, p. 18)

3.2.5 Fixação

A fixação da alvenaria de blocos cerâmicos exige uma técnica adequada para ligação com a estrutura permitindo a acomodação das deformações internas da parede e evitando que as parcelas significativas da deformação das estruturas as sobrecarreguem (FRANCO, 2005, p. 1). Os vínculos previstos entre a parede de alvenaria e os componentes estruturais estão estabelecidos no projeto estrutural, a fim de definir os materiais e técnicas a serem adotadas para a fixação dos blocos (SABBATINI et al., 1993, p. 7).

Essa etapa se inicia pela locação ou marcação das fiadas de alvenaria, que tem por objetivo posicionar as paredes para posterior elevação. O assentamento é iniciado pelas extremidades ou pelos encontros entre a alvenaria e pilares, unindo suas faces com linhas, definindo, assim, o alinhamento da parede. A etapa final é a fixação da parte superior à estrutura, denominada encunhamento (trabalho não publicado)⁷.

O encunhamento pode ser rígido ou flexível, esse último método foi o utilizado no sistema estudado, ilustrado na figura 13, conforme a necessidade de transferência de cargas de deformações da estrutura à alvenaria. No rígido ocorre a transmissão de cargas, enquanto no flexível não ocorre. A ligação rígida é adotada quando a alvenaria contribui para o contraventamento da estrutura ou quando se deseja travar a parede sobre uma estrutura pouco deformável. A flexível é utilizada quando existe o comportamento conjunto da alvenaria e da estrutura, mas não é desejável a transferência de cargas significativas, uma vez que não há dimensionamento da alvenaria para estes esforços. Além disso, o encunhamento deve ser

⁷ Informações da apostila de Tijolos e blocos, utilizada pelo Prof. Ruy Alberto Cremonini na disciplina de Edificações I (ENG 01013) do curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

realizado com materiais que tenham elevada capacidade de absorver deformações (baixo módulo de deformação) (trabalho não publicado)⁸.

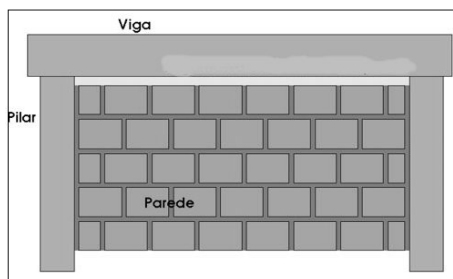


Figura 13: ligação flexível entre alvenaria e estrutura (trabalho não publicado)⁹

O reforço da ligação entre a estrutura e a alvenaria deve ser realizado para evitar o surgimento de fissuras na interface e aumentar a segurança quando há ocorrências de movimentações da estrutura, esforços devido ao vento e estabilidade da parede, etc. Esse pode ser realizado pelo procedimento de fixação de telas metálicas chumbadas à estrutura, e posicionadas bem próximas às juntas, sendo repousadas sobre a argamassa, conforme apresentado na figura 14 (trabalho não publicado)¹⁰.

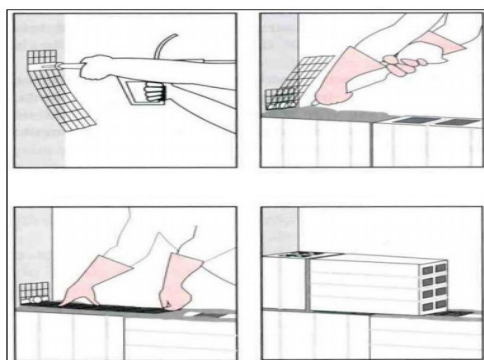


Figura 14: reforços no encontro alvenaria e estrutura (trabalho não publicado)¹¹

⁸ Informações da apostila de Tijolos e blocos, utilizada pelo Prof. Ruy Alberto Cremonini na disciplina de Edificações I (ENG 01013) do curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

⁹ Idem

¹⁰ Idem

¹¹ Idem

3.3 PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS ARQUITETÔNICOS DE CONCRETO

Os painéis de concreto foram introduzidos no mercado internacional nos anos 50 e notou-se um declínio no emprego desses painéis em meados dos anos 60. Nos últimos anos, os painéis de concreto foram revitalizados na forma de painéis de concreto arquitetônico, com revestimento incorporado. Painéis de vedação são painéis sem função estrutural fixados à estrutura principal do edifício de modo a preencher vãos entre elementos estruturais (SILVA, 2003, p. 16). Dentre outras funções, as fachadas de PPAC (figura 15) são elementos condicionadores do edifício e possibilitam melhoria da eficiência energética do mesmo (BARTH; VEFAGO, 2007, p. 22).



Figura 15: painel pré-fabricado arquitetônico de concreto

3.3.1 Aspectos de produção

Um dos principais atrativos para aplicação dos PPAC se refere ao tempo de execução das obras. As fases de projeto e de produção dos painéis são antecipadas, possibilitando, desta forma, a realização do acoplamento em tempos relativamente curtos, se comparados com o sistema tradicional. Isso se deve ao fato da maior parte das atividades de produção das fachadas serem transferidas à indústria. Permite, então, o controle de produção, alcançando padrões de qualidade elevados e com menores riscos de atraso (variações climáticas ou outros imprevistos em obra) (BARTH; VEFAGO, 2007, p. 183).

Os PPAC podem ser produzidos em fábrica ou mesmo no canteiro de obras. A determinação é feita em função do número de painéis a serem produzidos, das distâncias a serem percorridas,

dos equipamentos e dos profissionais disponíveis. A fabricação no canteiro somente é economicamente viável quando uma determinada escala de produção é atingida, na qual ocorre a redução dos custos com transportes de insumos e de componentes e das despesas com impostos de produção e comercialização. Então, obras de pequeno e médio porte, geralmente, contratam os serviços de uma empresa de pré-fabricados para produção dos PPAC (CIOCHI, 2003, p.[1]; BARTH; VEFAGO, 2007, p. 183-184).

Além disso, Silva (2003, p. 15) esclarece o benefício referente à significativa diminuição de custos pela padronização da fôrma, tendo em vista que é aumentada a velocidade de produção. Assim, são reduzidos os custos operacionais, o tempo de confecção de moldes, erros de detalhamento e de produção.

Ao mesmo tempo, pode-se explicar a utilização de pré-fabricados como garantia de execução de qualquer tipo de detalhe arquitetônico, ou seja, peças retas e até mesmo curvas. Sendo assim, a execução em fábrica assegura a qualidade e a facilidade do processo (CIOCHI, 2003, p. [1]; GEROLLA, 2009, p. 44).

Para a execução de vedação vertical em PPAC no País, Gerolla (2009, p. 33) explica que pode ser empregada a NBR 9062/2006 – projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Ela estabelece requisitos exigíveis para projeto, execução e controle, como também define os limites de deslocamentos em serviço, evitando manifestações patológicas nas interfaces com outros sistemas construtivos e parâmetros para a utilização de ligações.

3.3.2 Geometria

A geometria e a forma do painel são determinadas em projeto, considerando ainda fatores de produção e manuseio. Segundo Silva (2003, p. 15), as condições de exposição e a tipologia da edificação alimentam a etapa de dimensionamento dos painéis. Sendo assim, deve-se considerar as solicitações mecânicas, que envolvem a ação dos ventos, do peso próprio e os esforços durante a desfôrma.

As dimensões dos painéis e seu peso são limitados por dificuldades práticas de transporte e manuseio. A altura típica dos painéis se situa entre 1,20 m e 1,30 m, enquanto que o

comprimento pode ser até três vezes maior. Já a espessura do painel varia de acordo com seu comprimento, com a zona de armadura e com o cobrimento mínimo necessário, sendo este igual a 40 mm (SILVA, 2003, p. 21).

O tipo de molde a ser utilizado na fabricação dos painéis é definido em função do número e das características de forma dos componentes a serem realizados, da qualidade do acabamento desejado, do ritmo de produção e dos critérios econômicos. Os moldes são tipos de fôrma utilizados na produção em série de painéis. Eles se diferem das fôrmas comumente utilizadas na construção convencional por manterem sua integridade na ocasião da retirada do componente que foi fabricado. A escolha do material do molde é determinada pela possibilidade de reaproveitamento da fôrma, que tem grande influência nos custos da produção e pelas dimensões das peças, que determinam a resistência requerida da fôrma (BARTH; VEFAGO, 2007, p. 35).

3.3.3 Estanqueidade

A NBR 15575-4 estabelece a necessidade de estanqueidade dos sistemas de vedações verticais externas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008). Assim como nas fachadas de alvenaria, o sistema em PPAC carece igualmente dessa característica.

Nesse sentido, para a adequação do sistema, é imprescindível um bom desempenho das juntas. Essas se constituem em linhas de separação horizontais ou verticais entre os painéis de concreto justapostos ou sobrepostos, devendo ser de alguma forma seladas. As juntas horizontais têm função similar às pingadeiras e estão sujeitas a esforços de compressão, originários do peso próprio dos painéis. Já as verticais estão mais sujeitas às intempéries e tendem a canalizar a água da chuva, exigindo maiores cuidados quanto à vedação. Independentemente do sentido, são projetadas com formato geométrico simples, justapostas com uma largura média de 12 mm (SILVA, 2003, p. 16). As figuras 16 e 17 ilustram o esquema das juntas.

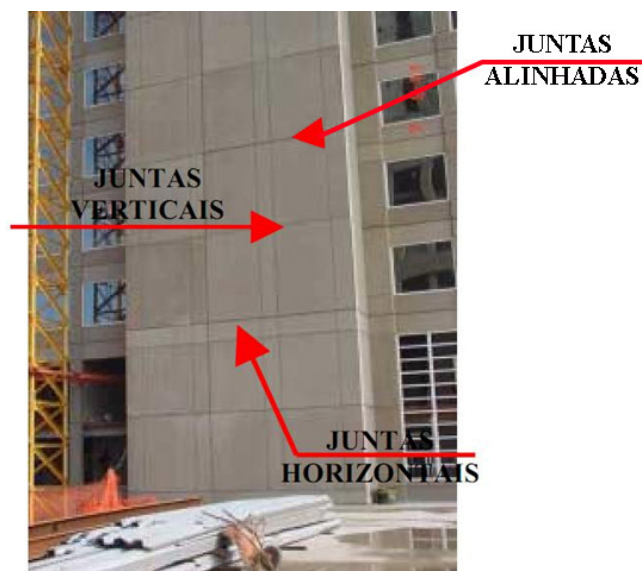


Figura 16: juntas entre PPAC (Mondial Business Hotel, Praça IV Centenário – Guarulhos/SP) (OLIVEIRA, 2002, p. 47)

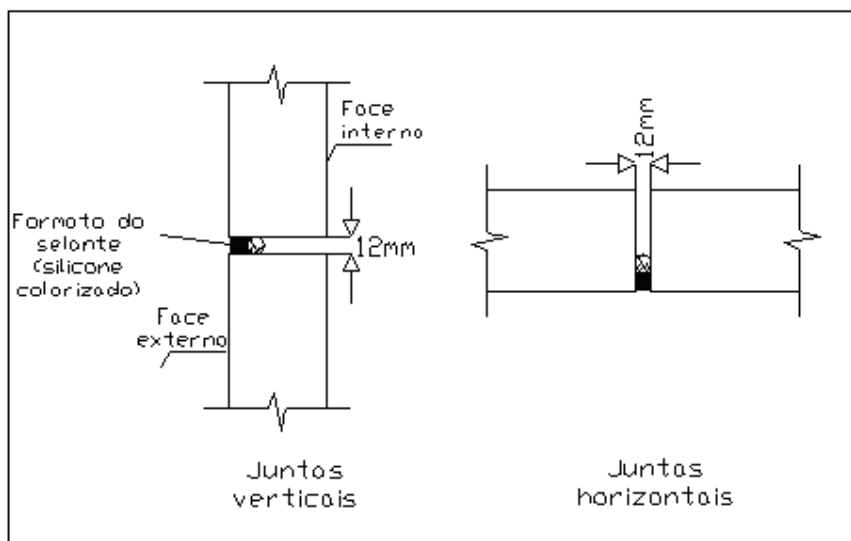


Figura 17: esquema genérico das juntas

A vedação das juntas pode ser obtida pelo emprego de selantes ou gaxetas, em barreira simples ou dupla, como recomendado pelos fabricantes nacionais. Os selantes utilizados em vedações de PPAC são o polissulfeto acrílico, mais utilizado pela boa capacidade de deformação, e o silicone de baixo módulo de elasticidade, mais durável. Além disso, cabe

salientar que as juntas que possuem selante na face externa têm custo inicial mais baixo (SILVA, 2003, p. 17).

3.3.4 Transporte horizontal e vertical

Um cuidado especial deve ser dado à forma de transporte dos painéis. Desde dentro da fábrica, passando pelo deslocamento fábrica-obra e finalizando no canteiro de obras.

Na fábrica, o transporte dos PPAC é realizado normalmente através de pontes rolantes, cuja capacidade de carga se dá em função do vão e dos equipamentos de içamento. Esses equipamentos servem para realizar o desmolde e o transporte interno até a zona de armazenamento (BARTH; VEFAGO, 2007, p. 21; GEROLLA, 2007, p. 47). Esse transporte é apresentado na figura 18.

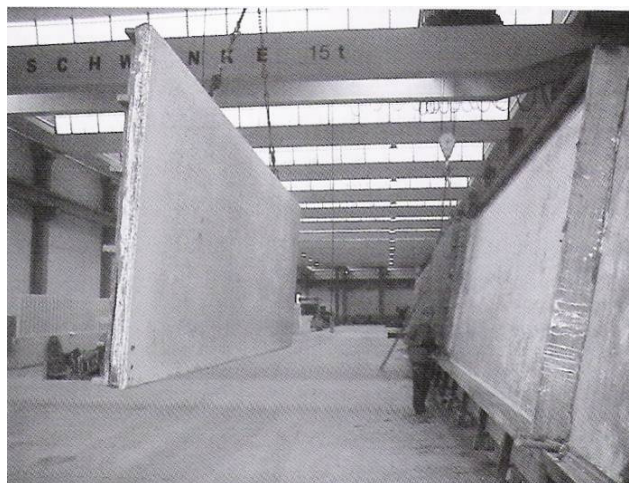


Figura 18: içamento e manuseio dos painéis arquitetônicos (BARTH; VEFAGO, 2007, p. 195)

Na fase fábrica-obra, os painéis são apoiados sobre *pallets* em dois pontos e são cuidadosamente fixados à base de carretas ou caminhões. Devem ser descarregados individualmente ou em conjunto, através dos dois pontos superiores do mesmo. Desta forma, os equipamentos auxiliam para aumento da produtividade na montagem, evitando repetições de operações de armazenamentos parciais. Além de liberar rapidamente o acesso em obras

com dificuldade de permanência no local, ocorrência frequente nos centros urbanos, como ilustrado na figura 19 (BARTH; VEFAGO, 2007, p. 21; GEROLLA, 2007, p. 47).



Figura 19: transporte fábrica-obra (CHAMBERLAIN, [2004?], p. 5)

Os painéis costumam ser transportados por caminhões ou carretas cuja base varia de 7 a 18 m de comprimento, largura de 2,50 m e altura de 4,50 m. Essas limitações fazem com que os painéis tenham suas dimensões máximas fixadas pelo tipo de transporte (BARTH; VEFAGO, 2007, p. 51).

Os PPAC não apresentam grandes problemas de peso, como ocorre com as estruturas pré-fabricadas, pois, em geral, são mais esbeltos e podem incorporar núcleos isolantes mais leves (BARTH; VEFAGO, 2007, p.51). Essa leveza facilita o sistema de transporte vertical no canteiro da obra, realizado por guias que são, também, utilizadas na montagem. O içamento dos painéis exige um cuidado extra na elaboração destes, pois é necessário planejamento para o posicionamento de algum tipo de espera ou gancho durante a produção, já que o transporte é realizado pelas guias por meio dos insertes metálicos, colocados ainda na fase de fabricação nos painéis. As fixações dos insertes são normalmente ancoragens (reforçadas ou aparafusadas) em forma de elo, de anel, de alça de cabo de aço ou de encaixe para gancho. Esse detalhe é ilustrado na figura 20 (SILVA, 2003, p. 19).

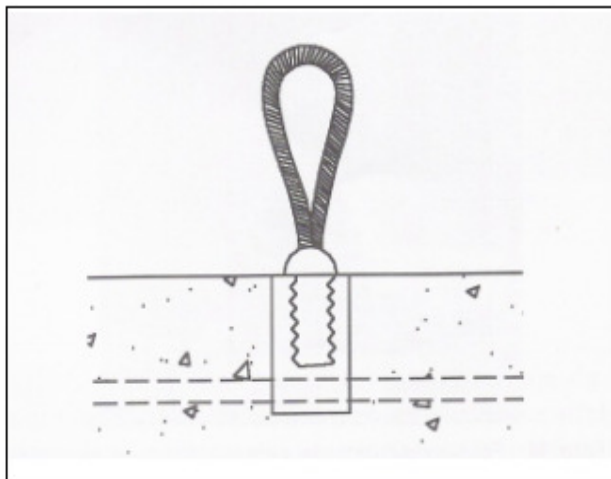


Figura 20: insertos de içamento em alça de cabo de aço (SILVA, 2003, p. 19)

3.3.5 Fixação

Existe uma grande variedade de sistemas de fixação dos painéis à estrutura. Estas fixações devem permitir graus de liberdade para movimentações decorrentes das variações de temperatura, de umidade e da ação do vento, evitando o surgimento de esforços adicionais. Portanto, deve ser considerada uma tolerância na escolha do método de fixação para viabilizar essas movimentações dos painéis (BARTH; VEFAGO, 2007, p.197; SILVA, 2003, p. 20).

Os painéis costumam apresentar fixações nas partes superiores e inferiores. As inferiores mais empregadas são as uniões secas, aparafusadas ou soldadas. No entanto, as soldadas exigem o controle dimensional dos insertos nos painéis e na estrutura de concreto, de modo a compatibilizar seu posicionamento em uma montagem sem improvisação. Já as fixações superiores do painel também podem ser aparafusadas, os parafusos possibilitam a regulagem, o que facilita o posicionamento do painel na fachada (BARTH; VEFAGO, 2007, p.197-198).

O modo de fixação de painéis, sem base horizontal para apoio na laje é ilustrado na figura 21, na qual é possível verificar que cantoneiras de fixação são aparafusadas e soldadas em dois pontos no topo do painel, para suporte do peso da peça. A fixação entre painéis é feita por uma chapa metálica aparafusada que tem por função resistir apenas às cargas de vento que poderiam causar rotação do painel ao redor de sua conexão (SILVA, 2003, p. 24).

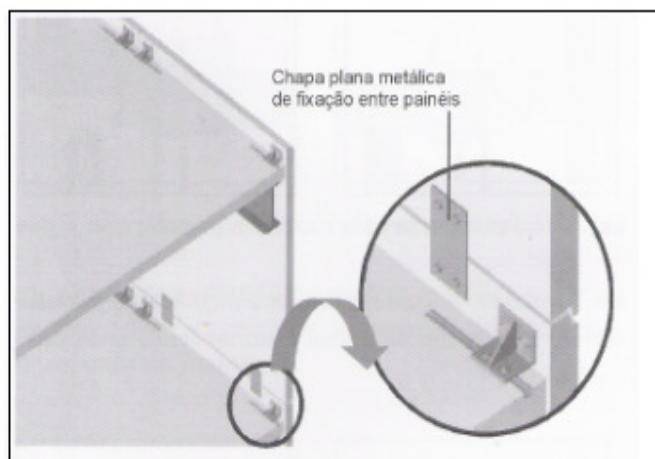


Figura 21: detalhe da fixação de painéis (SILVA, 2003, p. 24)

4 PROCESSOS DE EXECUÇÃO DE SISTEMAS DE VEDAÇÃO VERTICAL

Neste capítulo são apresentadas as diretrizes que determinaram os processos de execução de fachadas com PPAC e de alvenaria de blocos cerâmicos com revestimento de pastilha.

4.1 FACHADAS DE ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS COM REVESTIMENTO DE PASTILHA

Os próximos itens abordam os processos relacionados à execução de fachada de alvenaria de blocos cerâmicos com revestimento de pastilha. São apresentadas as condições iniciais de trabalho e os procedimentos para as execuções da alvenaria, emboço externo e assentamento das pastilhas.

4.1.1 Treinamento da mão de obra e documentação

Objetivando a racionalização dos serviços em obra, teve-se uma preocupação com o meio produtivo e com a padronização das técnicas construtivas. Priorizou-se, então, a adoção de procedimentos condizentes com a normalização e com as boas práticas da engenharia.

Quando do início do processo de vedação vertical de alvenaria verificou-se a necessidade de que todos os membros da equipe responsáveis pela execução deveriam ter um mesmo grau de conhecimento e instrução referentes aos procedimentos envolvidos. O sistema de alvenaria com blocos cerâmicos estruturais precisa, necessariamente, de qualificação da mão de obra para eficácia e o bom desempenho do sistema.

Portanto, fez necessário o treinamento de toda a equipe de controle da produção e execução da obra em relação aos procedimentos operacionais que foram executados. Esse treinamento teve fundamental importância, também, em relação à segurança do trabalho, pois assim, reduziu-se o risco de acidentes.

A fim de garantir o cumprimento das exigências legais as empresas contratadas deveriam entregar à gerência da obra algumas documentações referentes à contratação de mão de obra, ao fornecimento de materiais, ao treinamento de mão de obra, aos procedimentos operacionais, ao controle da obra e dos procedimentos de entrega de materiais. Essa documentação foi entendida como um elemento importante para o fluxo de informações, pois foi possível localizar, identificar e controlar cada etapa do processo.

4.1.2 Condições para início dos trabalhos

Depois de concluída a parte da estrutura de concreto armado protendida da edificação – laje concretada há pelo menos 45 dias e o escoramento retirado no mínimo com 15 dias de antecedência –, deu-se início aos processos para a execução da vedação vertical em alvenaria. Porém, antes dos trabalhos, fez-se necessário uma fase de verificação das condições para execução, podendo-se identificar uma série de pré-requisitos e restrições que devem estar de acordo, tais como:

- a) projetos disponibilizados,
 - arquitetônico executivo;
 - de modulação da primeira fiada;
 - de modulação das vistas;
 - de revestimento executivo;
 - de juntas de dilatação;
 - elétrico;
 - de comunicação;
 - hidrossanitário;
 - de proteção contra incêndio;
 - de proteção de periferia;
 - de andaimes suspensos e/ou tubulares;
 - de fixação dos andaimes suspensos;
 - de fixação dos cabos de linha de vida;
 - da tela fachadeira;
- b) documentos aprovados,

- memorial descritivo do empreendimento;
 - documentação legal da empresa fornecedora de mão de obra;
 - documentação legal dos equipamentos utilizados (betoneiras, elevadores de carga, etc.);
 - *checklist* dos equipamentos (betoneira, elevador de carga, andaimes suspensos e/ou tubulares);
 - análise da fauna (natureza) e da necessidade de proteção da vizinhança;
 - ART de montagem dos andaimes;
 - ART da tela fachadeira;
 - laudo de aterramento da betoneira;
- c) materiais e equipamentos,
- colher de pedreiro;
 - trena;
 - nível à laser;
 - escantilhão metálico;
 - esquadro;
 - prumo de face;
 - andaimes suspensos;
 - lava-jatos;
 - esmerilhadeira;
 - aplicador de silicone;
 - quadro de traços;
 - blocos cerâmicos;
 - arame recozido;
 - pinos 27 com arruela 23;
 - nata colorida;
 - pistola finca-pinos;
 - tela fachadeira;
 - argamassa expansora;
 - cimento CP IV;
 - cimento CP V-ARI;
 - fita adesiva;
 - areia grossa;
 - areia média;
 - cal aérea (CH II);

- poliuretano (PU);
 - ácido muriático;
 - polietileno em cordão;
 - tela anti-trincas;
 - batata;
 - equipamentos de proteção individual;
- d) treinamentos realizados,
- de integração;
 - admissional;
 - de ordem de serviço para execução de trabalho na periferia;
 - de trabalho em altura em andaime suspenso;
 - de operador de esmerilhadeira;
 - de operador de betoneira;
 - de operador de lixadeira;
 - de operador de finca-pinos.

4.1.3 Execução de alvenaria

Para obtenção de bons resultados o primeiro parâmetro de qualidade foi referente aos materiais utilizados. A argamassa de assentamento de blocos cerâmicos, a argamassa de encunhamento (argamassa expansora) e a argamassa de chapisco utilizadas seguiram a recomendação do projetista, sendo escolhidas argamassas industrializadas por serem produtos uniformes e homogêneos, os quais foram entregues na obra em sacos, devendo ser misturadas em equipamentos apropriados. O tipo de misturador, o tempo de mistura e a quantidade de água a ser adicionada, adotados em obra, foram os especificados pelo fabricante.

O bloco cerâmico é um componente industrializado, produzido em equipamentos que garantem a uniformidade e a qualidade do produto. Este foi recomendado pelo projetista para ser utilizado nas paredes externas, conforme modulação, com a dimensão de 14 x 19 x 29 cm, sendo entregues *palletizados* em quantidade uniforme.

Foi necessário observar todas as condicionantes relativas ao processo e suas implicações. A partir disso quantificaram-se os materiais necessários que demandaram prazo de entrega, tais

como: argamassa de assentamento, argamassa de chapisco, cimento, blocos cerâmicos e contramarcos.

O início do processo, em obra, envolveu o recebimento e a armazenagem dos materiais utilizados, conforme *layout* pré-definido pela gerência da obra (figura 22). Esse croqui contemplava os locais destinados a armazenagem, transporte horizontal e vertical dos materiais. Como local de depósito de blocos e argamassas, foi especificada uma pequena área do pavimento térreo e, também, dos pavimentos onde as alvenarias seriam imediatamente executadas, como ilustrado nas figuras 23 e 24.

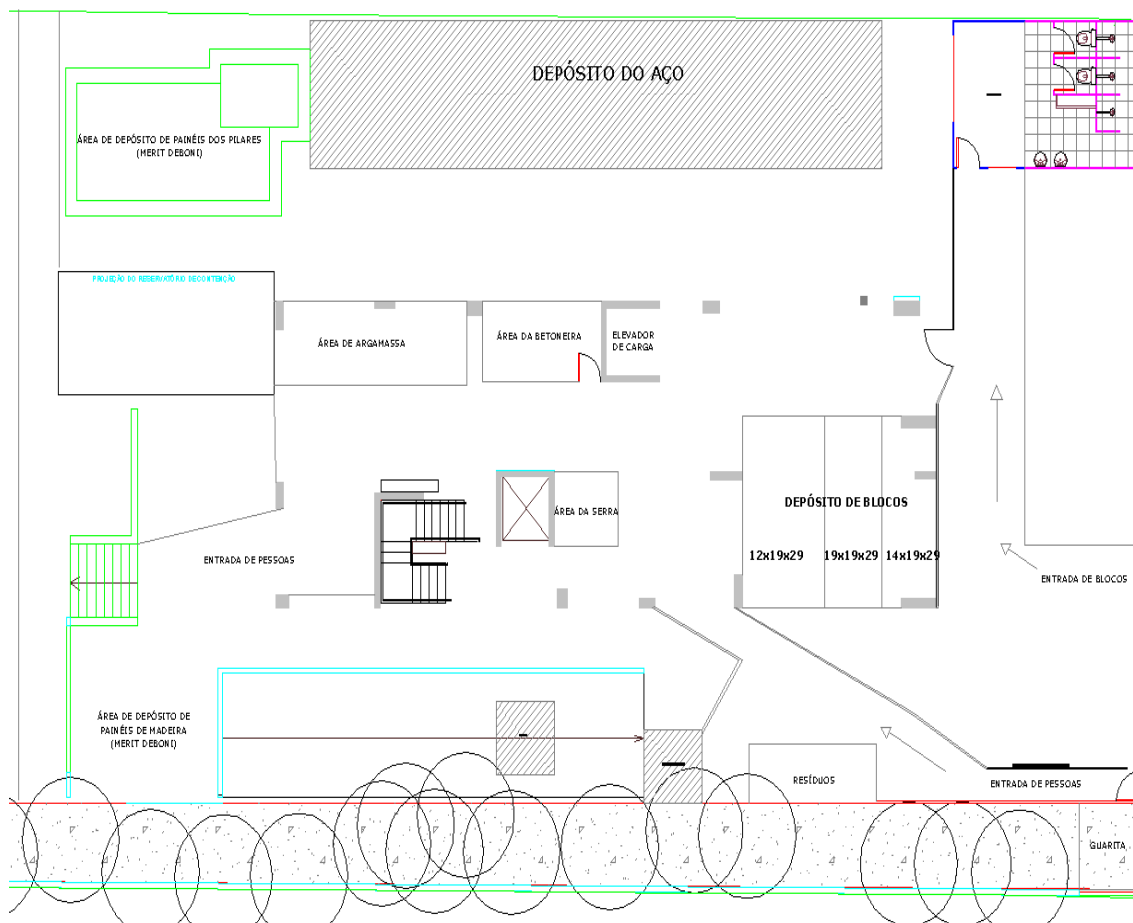


Figura 22: *layout* da obra do caso estudado



Figura 23: armazenagem de blocos no pavimento térreo



Figura 24: armazenagem de blocos no andar

Esses locais foram especialmente escolhidos por possibilitarem que os materiais ficassem depositados em locais planos, ao abrigo de intempéries e afastados do contato direto com o solo, no mínimo com 30 cm. Foi possível, também, organizar os *pallets* de blocos por geometrias diferentes em pilhas separadas.

O modo de descarregamento e transporte do material foi analisado e definido como manual e mecanizado. Os blocos e argamassas, principais materiais, foram transportados horizontalmente por caminhões *munck*, sendo o material todo *palletizado*. As descargas foram realizadas e colocadas diretamente sobre o carrinho porta-*pallets*, facilitando a locomoção até o local indicado pelo *layout*.

Para o transporte vertical de todos os materiais, fez-se uso do elevador de carga, porém com um grave inconveniente: os *pallets* eram maiores que a cabina do elevador. Sendo, então, necessária a utilização de carrinhos de transporte de blocos (figura 25) ou, até mesmo, carrinho de mão, visando evitar esforço desnecessário da mão de obra, um tempo desnecessário que não agrega valor à atividade.



Figura 25: carrinho utilizado para transporte dos materiais

A execução das alvenarias de vedação exigiu cuidados relativos às técnicas utilizadas. Procurou-se evitar o risco de, ao fim do trabalho, ter como resultado uma parede desnivelada, mal posicionada, fora de prumo, instável, insegura ou mesmo, com alto índice de desperdício de material.

Antes do início da execução de alvenaria, foi necessária a realização de lavagem, com água fria, da estrutura (pilares e vigas), com equipamento lava-jato, nos locais de posterior interface com a alvenaria, visando à remoção de resíduos de desmoldante e poeira que impedem a boa aderência da argamassa ao substrato (figura 26). Posteriormente à limpeza, iniciou-se o subprocesso de aplicação do chapisco rolado (industrializado) à estrutura (pilares e fundo de vigas), realizado com três dias de antecedência ao início da execução da alvenaria.



Figura 26: lavagem da estrutura com água fria

A fim de garantir o alinhamento das juntas horizontais dos blocos cerâmicos, realizou-se a conferência do nivelamento da laje, identificando-se possíveis pontos de desnível conforme a

figura 27. Caso esse desnível fosse superior a 2 cm em relação ao nível especificado no projeto estrutural, esse defeito deveria ser corrigido, realizando-se um enchimento nos locais de nível mais baixo com argamassa apropriada. No caso abordado, o procedimento não se fez necessário.



Figura 27: conferência de nível do pavimento

Em seguida, com as condições ideais verificadas, tendo-se a equipe de produção familiarizada com o projeto de produção da alvenaria e os processos sistematizados e de acordo com planejamento, deu-se início à marcação das paredes, conforme o projeto de modulação da primeira fiada, partindo-se sempre dos blocos das extremidades. Neste momento, já com os eixos de locação da alvenaria posicionados no pavimento, foram marcadas as paredes, garantindo-se o nivelamento da primeira fiada, o esquadro entre as paredes e as dimensões dos ambientes, com a utilização de taliscas para garanta de apenas 1 cm de revestimento interno posteriormente (figura 28 e 29).



Figura 28: marcação da primeira fiada



Figura 29: marcação da primeira fiada taliscada

Após realizar a marcação, e antes de iniciar a segunda fiada, fez-se a ligação entre a alvenaria e os pilares, utilizando-se o método de fixação através de telas de aço, com o auxílio de pistola finca-pinos e pinos adequados ao serviço. De acordo com a marcação dos níveis das fiadas, fixaram-se as telas dobradas e chumbadas aos pilares para posterior posicionamento dos blocos (figura 30).



Figura 30: utilização de telas de amarração

A elevação das fiadas seguintes foi executada de acordo com projeto de modulação, com o cuidado de preencher com argamassa as juntas verticais e horizontais entre os blocos. Para manter o mesmo nível entre as fiadas de blocos e possibilitar a amarração das paredes, fez-se o uso do escantilhão metálico para especificar o nível e alinhamento.

Atentou-se, também, para a execução concomitante das instalações hidráulicas, elétricas, gás e ar-condicionado embutidas na alvenaria, previamente compatibilizadas por profissional capacitado (figura 31). A locação desses pontos estava associada à distribuição horizontal dos blocos, permitindo que os eletrodutos ou tubulações hidráulicas passassem dentro dos furos sem quebras ou rasgos na alvenaria. O projeto de modulação estabelecia, também, os locais onde seriam posicionadas as vergas e contravergas de janelas e portas, essas, previamente fabricadas na obra de acordo com tamanho especificado para cada abertura.



Figura 31: uso do escantilhão metálico e instalações embutidas executadas

Para executar a ligação da alvenaria à estrutura, na zona de encunhamento, utilizou-se a argamassa expansora industrializada, partindo-se dos pavimentos superiores da edificação para os inferiores. Esse método foi utilizado visando não acumulação de tensões excessivas nas paredes dos primeiros pavimentos.

As etapas dos serviços de execução de alvenaria foram respeitadas e concluídas para que as novas etapas fossem iniciadas, evitando interferências e obstáculos na execução da alvenaria

de vedação. O ambiente de trabalho deveria permanecer constantemente limpo e organizado, propiciando um local de fácil acesso, livre circulação, seguro e produtivo.

4.1.4 Execução de emboço externo

Terminado o processo de execução da alvenaria, há pelo menos 15 dias, com base no projeto executivo e no memorial descritivo da edificação, deu-se início ao processo de revestimento externo da fachada. A montagem dos andaimes suspensos foi realizada em conformidade com o projeto dos mesmos, ou seja, após a etapa de definição de prumadas, que teve por objetivo o conhecimento da espessura do revestimento através do mapeamento previamente realizado e as etapas de produção subsequentes.

Esta definição de prumadas auxiliou também na colocação dos contramarcos na fachada, de acordo com o revestimento interno das paredes. Esses deveriam estar fixados e chumbados à alvenaria antes da execução do emboço externo para posterior colocação das esquadrias.

Com o objetivo de aperfeiçoamento do processo, foram planejadas, conforme ordens de execução, sequências de subidas e descidas dos andaimes suspensos. Teve-se como situação ideal a de que sempre a primeira subida, realizada no turno da manhã, fosse destinada ao encunhamento das alvenarias, caso houvessem falhas do encunhamento realizado internamente, como, também, ao corte e desbaste de possíveis restos da desfôrma que ficaram salientes. Outro procedimento adotado durante essa subida foi o lixamento da estrutura de concreto armado com o auxílio de uma lixadeira com disco diamantado (figura 32), para a retirada de resíduos de desmoldante e abertura dos poros da estrutura. Além disso, sendo a laje executada pelo método alveolar protendido, um trabalho concomitante de protensão e tratamento das cordoalhas foram executados (figura 33), a fim de proteger os nichos.



Figura 32: lixamento da estrutura de concreto

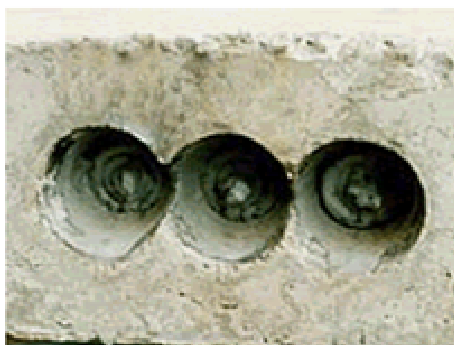


Figura 33: nichos de protensão

Em seguida, no final da tarde, foi realizada a primeira descida para a lavagem de toda fachada, com água fria. O objetivo da realização da limpeza da fachada foi a retirada de poeira que pudesse dificultar a aderência da argamassa de chapisco, aplicado na segunda subida do andaime suspenso com o traço em volume de 1:3:0,25 (cimento CP V-AR: cal hidratada I: areia grossa úmida), conforme a figura 34.



Figura 34: fachada chapiscada

A segunda descida, destinada ao procedimento do emboço, foi liberada somente após alguns itens imprescindíveis estarem de acordo com o estabelecido nos projetos de execução:

- a) contramarcos posicionados, nivelados e chumbados, pelo lado interno, com espaçamento mínimo de 1,3 cm da talisca (figura 35) em locais com revestimento cerâmico interno;
- b) peitoris com caimento mínimo de 1 cm, de acordo com o acabamento, para posterior colocação das esquadrias;
- c) prumadas de quinas e aberturas coincidentes, marcadas com arame fixado no terraço até o ponto mais baixo da edificação;
- d) fixação de tela galvanizada com pinos no encontro das vigas de pavimentos com o encunhamento e no encontro de pilares com a alvenaria, para evitar fissuras por movimentação térmica, em toda fachada (figura 36);
- e) vão de 60 cm sem reboco no encontro das fachadas com as lajes, para impermeabilização;
- f) chegada da tubulação pela parte superior de pontos elétricos externos, para evitar a percolação de água;
- g) fachada chapiscada há pelo menos 72 horas.



Figura 35: contramarco fixado com 1,3 cm de afastamento



Figura 36: tela de fachada fixada

Com os itens conformes, o serviço do emboço era liberado para ser executado com o traço de 1:0,5:1:4 (cimento CP V-ARI: cal hidratada: areia fina: areia média), conforme ilustrado na figura 37. Tendo o cuidado, caso fosse necessário um emboço superior a 3 cm, deveria ser executado, então, em duas camadas em momentos distintos. A segunda camada só era aplicada após o endurecimento da primeira e após fixação de telas de reforço e armação.

Também, receberam atenção especial os locais com necessidade de aplicação de manta asfáltica para impermeabilização (encontro de fachada com laje). A superfície da base da alvenaria foi regularizada, para então, ser colocada uma tela galvanizada com 60 cm de altura, seguida de reboco.



Figura 37: fachada rebocada

4.1.5 Execução de revestimento de pastilha

Concluída a etapa de execução de emboço externo e passado, pelo menos, 30 dias, deu-se início à execução do revestimento de pastilha porcelanizada (com tamanho de 5x5 cm de cor amarelo e marrom), conforme figura 38, a partir do projeto de paginação. Porém, antes do início, foi necessário verificar o ponto de largada e o nível, a fim de manter um padrão e alinhamento das placas cerâmicas.

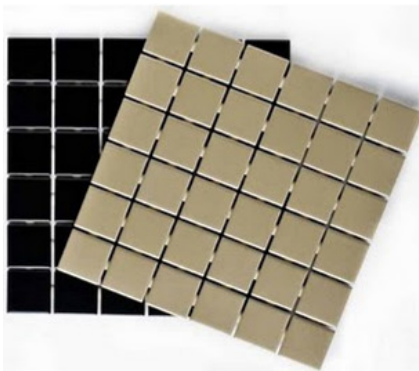


Figura 38: pastilhas utilizadas no revestimento da fachada

Para o assentamento das pastilhas, foi utilizada nata colorida, preparada em um recipiente isento de impurezas e em local protegido do sol, da chuva e do vento, com o traço de 3:1 (nata:água) e com consumo entre 4,5 e 5 kg/m². Além disso, utilizou-se uma desempenadeira dentada de aço para a realização de sulcos, formando cordões de argamassa.

Seguindo a orientação das prumadas e com o projeto de juntas de movimentação e de dessolidarização, foi iniciada a execução da última etapa. Essa consistia em executar cortes com disco diamantado de serra circular, em locais previamente estabelecidos pelo projeto de juntas (figura 39).



Figura 39: execução dos sulcos

Após, foi realizada uma limpeza dos resíduos através da remoção de poeira provenientes do processo anterior (figura 40). Em seguida, posicionou-se o limitador de profundidade – poliestireno – (figura 41) e protegeu-se a face das pastilhas com fita adesiva, visando-se evitar o manchamento (figura 42) para a aplicação do selante (figura 43).

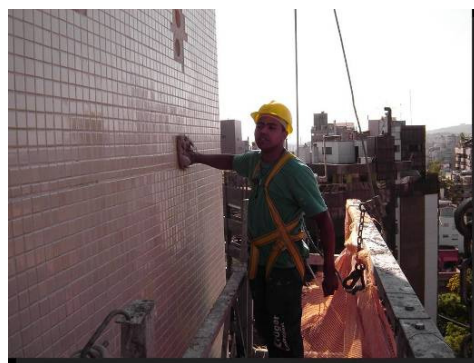


Figura 40: limpeza e retirada de resíduos de poeira



Figura 41: aplicação do limitador de profundidade – poliestireno



Figura 42: proteção das pastilhas com fita adesiva



Figura 43: aplicação do selante

A fim de dar um melhor acabamento ao selante, foi passado um pedaço de batata, removendo-se o excesso depositado nas bordas das juntas e deixando uma textura uniforme (figura 44). Por fim, retirou-se a fita adesiva que protegia as pastilhas já com as juntas de dilatação executadas (figuras 45 a 47), concluindo o processo de execução de fachadas de alvenaria de blocos cerâmicos com revestimento de pastilhas (figuras 48 e 49).



Figura 44: acabamento no selante com batata



Figura 45: retirada da fita adesiva



Figura 46: fachada limpa e isenta de resíduos



Figura 47: detalhe da junta de dilatação

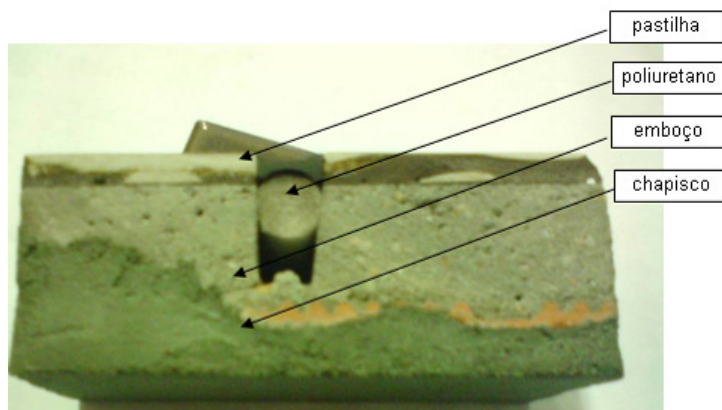


Figura 48: detalhe transversal do revestimento externo de parede com pastilha cerâmica



Figura 49: fachada sendo pastilhada

4.2 PROCESSOS PARA EXECUÇÃO DE FACHADAS COM PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS ARQUITETÔNICOS DE CONCRETO (PPAC)

Os próximos itens abordam os processos relacionados à execução de fachada com painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (PPAC). São apresentadas as condições iniciais de trabalho e os procedimentos para a execução e fixação dos painéis na fachada.

4.2.1 Treinamento da mão de obra de produção

O ponto mais importante, no caso de implantação de uma nova tecnologia, foi identificar se a mão de obra disponível atendia à mudança tecnológica. Se essa não estivesse capacitada, deveria ter motivação suficiente para aprender, por meio de treinamentos, a nova técnica, pois o envolvimento e o interesse foram fundamentais para o sucesso da introdução do novo processo de execução de revestimento de fachadas.

Para a implantação desse foi necessário dominar a técnica de execução a fim de diagnosticar as rotinas de trabalho e as tarefas envolvidas no processo. O manual de execução e o de materiais utilizados, entregue pela empresa contratada, facilitou a identificação e o controle de cada etapa do processo, desse modo, foi possível rastrear eventuais problemas e as possíveis soluções. Além disso, a documentação forneceu subsídios para estabelecer condições de contratação de mão de obra e de fornecedores de materiais e para definir elementos para treinamento de pessoal e controle dos serviços executados.

4.2.2 Condições para início dos trabalhos

Após conclusão de parte da estrutura de concreto armado, deu-se início aos processos para execução da vedação vertical com PPAC. Porém, antes dos trabalhos, assim como no processo de execução em alvenaria, fez-se necessário uma fase de verificação das condições para execução, identificando-se uma série de pré-requisitos e restrições que devem estar de acordo, tais como:

- a) projetos disponibilizados,
 - arquitetônico executivo;
 - de modulação dos painéis;
 - de revestimento executivo;
 - de juntas de dilatação;
 - elétrico;
 - de comunicação;
 - hidrossanitário;
 - de telefonia;
 - de proteção contra incêndio;
 - de proteção de periferia;
 - de andaimes suspensos e/ou tubulares;
 - de fixação dos andaimes suspensos;
 - de fixação dos cabos de linha de vida;
 - do plano de cargas;

- b) documentos aprovados,
 - memorial descritivo;
 - documentação legal da empresa fornecedora de mão de obra;
 - documentação legal dos equipamentos utilizados (grua, máquinas de solda andaimes, etc.);
 - *checklist* dos equipamentos (betoneira, grua, andaimes suspensos e/ou tubulares, etc.);
 - análise da fauna e da necessidade de proteção da vizinhança;
 - laudo de aterramento da grua;
 - liberação da EPTC para interdição do tráfego;
 - ART de montagem dos andaimes;
 - ART de montagem da grua;

- c) materiais e equipamentos,
 - cimento;
 - aço;
 - aditivos;
 - pigmentos;
 - agregados;
 - insert metálicos;
 - silicone;

- parafusos;
 - polietileno;
 - aplicador de silicone;
 - vibrador;
 - equipamento de jateamento;
 - máquina de solda;
 - tórfor;
 - grua;
 - nível à laser;
 - prumo de face;
 - rádio comunicador;
 - equipamento de proteção individual;
- d) treinamentos realizados,
- de integração;
 - admissional;
 - de ordem de serviço para execução de trabalho na periferia;
 - de trabalho em altura para andaime suspenso;
 - de operador de grua;
 - de operador de máquina de solda;
 - de sinalizador da grua;
 - de operador de betoneira;
 - da equipe com relação ao plano de cargas.

4.2.3 Produção dos painéis

O processo de execução de fachadas com painéis pré-fabricados arquitetônicos é uma forma integrada e indissociável de construir estruturas e fachadas, com lajes planas protendidas. A empresa além de ser responsável pela execução também possui produção própria dos painéis e considera, para o projeto, estrutura com lajes planas protendidas.

As lajes planas protendidas foram construídas com a utilização de cordoalhas de aço que funcionam na estrutura de maneira ativa, enquanto barras de aço foram utilizadas como armadura passiva. O emprego desses artifícios proporcionou aumentos de vãos livres,

ausência de vigas, maior isolamento acústico entre os pavimentos e maior impermeabilidade da laje.

O desenvolvimento de uma apropriada paginação diferiu do processo convencional de fachadas por trabalhar com especificações mais precisas, importantes no processo de produção e instalação. Nesse sistema, as formas do projeto arquitetônico da fachada puderam ser flexíveis, as fôrmas planas paginadas, em baixo ou alto relevo, através de moldes protótipos, serviram como preparação das famílias de painéis produzidos, em fábrica, para cada pano de fachada.

As dimensões dos painéis foram especificadas de acordo com o projeto estrutural, considerando-se o tamanho dos vãos entre os pilares, a capacidade de carga do equipamento utilizado, na produção e na montagem, e a dimensão máxima que o sistema de transporte comportava (figuras 50 e 51). A fim de aperfeiçoar o processo de produção, o método de execução determinado foi de executar o fechamento da fachada através do posicionamento dos painéis por prumada.



Figura 50: produção dos painéis na fábrica

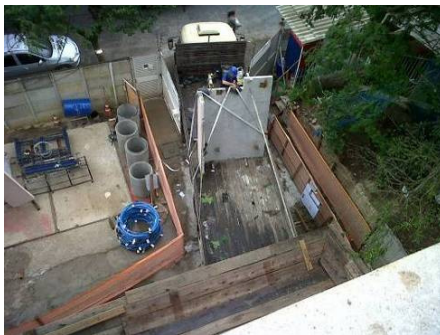


Figura 51: armazenamento dos painéis no canteiro da obra

Ainda durante a etapa de produção, as aberturas e esquadrias receberam atenção especial. Com objetivo de atingir maior precisão dimensional, os contramarcos foram chumbados durante o processo de produção no painel (figura 52). Sendo assim, restou apenas colocação posterior das esquadrias, reduzindo etapas em obra e conferindo estanqueidade ao sistema.



Figura 52: contramarcos instalados nos painéis

Após a etapa da produção concluída os painéis foram colocados em estruturas apropriadas para mantê-los na posição vertical (araras) a fim de atingir a resistência à compressão, especificada no projeto de 30 MPa, aos 28 dias, como ilustrado na figura 53. Aguardou-se a liberação da obra para realizar o transporte e a fixação na fachada. Porém, ocorreu um atraso não previsto no planejamento: a etapa de instalação dos painéis coincidiu com a época de chuvas, impedindo, durante alguns dias, a instalação dos painéis assim que os mesmos chagassem na obra atrasando o cronograma planejado. Esse imprevisto exigiu rearranjo do *layout* do canteiro para depósito dos painéis em obra (figura 54).



Figura 53: armazenamento dos painéis na fábrica

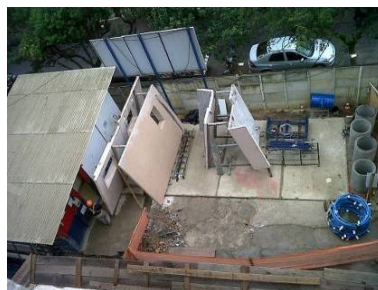


Figura 54: armazenamento dos painéis na obra

Os PPAC produzidos com insumos e concretos, e acabamento superficial incorporados ao processo de produção de modo a melhor controlar a mão de obra de aplicação, proporcionando uma boa qualidade. Esses poderiam ter sido de três tipos de acabamentos principais, que partem do mesmo princípio: a exposição dos agregados da matriz cimentícia. A combinação de cores dos agregados graúdos e médios, com a matriz formada por cimento e areias, possibilitou a obtenção de diferentes padrões de acabamentos superficiais, porém com alta variabilidade nos tons da coloração.

Todos os painéis produzidos tiveram o mesmo acabamento, partindo-se do princípio da exposição dos agregados. O revestimento foi executado juntamente com a camada de concreto na própria forma do painel. Podendo ser executada em micro concreto, argamassa ou ser a própria camada de concreto que, após desforma, recebia em sua superfície tratamento com jato de areia, gerando acabamentos superficiais rugosos com média exposição do agregado – caso estudado.

A combinação de cores dos agregados graúdos e médios, com a matriz formada por cimento e areias, possibilitou a obtenção de diferentes padrões de acabamentos superficiais. O nível de

exposição dos agregados definiu a rugosidade da superfície e influenciou nos padrões de cores e tonalidades dos painéis (figura 55).



Figura 55: detalhe do acabamento do painel

Esse processo de acabamento externo se tornou problemático, pois o nível de exposição do agregado definiu a rugosidade da superfície e influenciou nos padrões de cor e tonalidade, ou seja, quando os agregados de um painel eram um pouco mais ou menos expostos, ou quando outros fatores presentes no ambiente influenciavam – luz, sombra, umidade, temperatura – a tonalidade final não era a mesma dos painéis anteriores.

Logo, esses painéis retornavam à fábrica devendo então ser reparados com aplicação de ácidos e tratamentos específicos. Esse problema gerou um retrabalho de alto custo, pois só se conseguiu avaliar variações das tonalidades quando os painéis foram instalados na fachada e comparados com os demais.

4.2.4 Içamento e montagem

O içamento dos painéis para colocação na fachada foi realizado através de uma grua automontante, pois o canteiro tinha um espaço reduzido, que possuía uma lança de 25 metros de comprimento e uma altura de 50 metros. Para instalação da base desse sistema de transporte vertical foi necessário a execução de uma fundação (figura 56). E para montagem da estrutura da grua foi utilizado um guindaste telescópico computadorizado com uma

capacidade de erguer até 120 toneladas, possuindo uma lança de até 68 metros de altura (figura 57).



Figura 56: fundações da base da grua



Figura 57: montagem da estrutura da grua

Para montagem dos painéis (figura 58) foi elaborado o procedimento do processo que incluía os itens a serem seguidos, para que todos os cuidados necessários estivessem sendo levados em consideração. evitando queda de painéis ou, até mesmo, tombamento da grua. Esse definiu a carga máxima permitida para elevação, o plano de cargas (braço de alavanca da lança) e a circulação de pessoas no canteiro durante o processo.



Figura 58: içamento do painel

Os cuidados relativos à segurança para trabalhos na periferia contemplaram a utilização de tubos de linha de vida, com duplo cabo de aço de meia polegada (figura 59). Esse sistema de proteção coletiva viabilizou que o funcionário responsável pelo posicionamento do painel pudesse se aproximar da periferia através da fixação do cinto de segurança no cabo de aço. Para o posicionamento do painel no correto ponto da prumada e do nível, que haviam sido anteriormente estabelecidos, utilizou-se o tifor, ferramenta ideal para puxar ou elevar cargas (figura 60).



Figura 59: posicionamento do painel para fixação



Figura 60: utilização do tifor

A fixação dos painéis à estrutura foi realizada através de solda de um *insert* metálico especialmente fabricado para esses, (figura 61) com o desempenho, o tamanho (dimensões), a resistência, a localização e o tipo de eletrodo determinados em projeto. Esse *insert* foi colocado na armadura negativa da laje, outro foi colocado na parte inferior do painel, durante a etapa de produção (figura 62). Estas uniões foram protegidas contra corrosão, por isso, após o processo de solda (figura 63) realizou-se uma pintura com zarcão, evitando que futuramente sofram algum dano que coloque em risco a sua integridade. Para fixação da parte superior do painel à estrutura foram utilizados parafusos (figura 64), que deveriam atender aos requisitos de resistência mecânica e à corrosão determinados pelo projetista.



Figura 61: posicionamento dos *inserts* metálicos à armadura da estrutura



Figura 62: fixação inferior



Figura 63: execução da solda



Figura 64: fixação superior

O painel devidamente fixado na estrutura por quatro pontos (figura 65) possibilitou a análise do sistema de fixação. O sistema inferior resiste à ação da gravidade, com função de transmitir os esforços verticais, como o peso próprio. O sistema superior resiste ao

contraventamento, com função de transmitir os esforços horizontais, como o das cargas de vento.



Figura 65: painel fixado

Projetadas e especificadas, as juntas das fachadas de PPAC, segundo alguns critérios de desempenho, proporcionaram ao projetista flexibilidade na composição dos desenhos da fachada. Sendo assim, vários tipos de juntas foram executados com silicone inerte, tomando-se o cuidado para que esses componentes não sofressem nenhum tipo de agressão por objeto cortante ou por qualquer outro, pois poderiam comprometer a integridade das vedações da fachada.

O processo de execução das juntas foi semelhante ao executado em fachadas do sistema convencional, excetuando-se o fato de que não houve necessidade de executar sulcos no revestimento para inserção do poliuretano. Pois a paginação dos painéis foi determinada de forma que fosse deixado um espaçamento mínimo de 2 cm, entre os painéis, para colocação do limitador de profundidade e posterior colocação do selante colorido (figuras 66 e 67), concluindo-se a execução do sistema de vedação vertical com PPAC (figura 68).



Figura 66: espaçamento entre painéis para a execução das juntas



Figura 67: juntas executadas



Figura 68: execução da fachada em PPAC

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo pretende-se, resumidamente, fazer as considerações finais sobre os dois métodos construtivos descritos no trabalho. O principal objetivo proposto foi o de realizar um comparativo, figura 69, entre dois processos de execução de sistemas de vedação vertical, o qual uma vez concluído permitiu estabelecer uma avaliação qualitativa entre os processos.

Como maior vantagem, apresentada pelo fornecedor da tecnologia de PPAC foi o potencial que esse possui de incrementar o processo de produção do edifício, em nível de industrialização. No entanto, no processo de produção das fachadas com painéis, esse não pode ser considerado como industrializado. Pois sua produção, que engloba as fases de elaboração de projetos, fabricação e montagem, apresentou características artesanais, em especial na fase de fabricação, que não incrementaram a produtividade nem o nível produção dos painéis.

Isso ocorre porque não existe uma uniformidade do projeto arquitetônico, ou seja, as peças produzidas não foram projetadas para atender a uma produção em série, sendo específicas para cada fachada da obra. O maior motivo disto ter acontecido no projeto estudado, é que foi elaborado para execução com o método convencional, tendo de ser adaptado ao longo das decisões de elaboração do restante dos projetos.

O maior ganho com o emprego do PPAC nas fachadas foi a velocidade de execução, ou seja, potencialmente, o sistema pôde apresentar grande produtividade e, conseqüentemente, reduzir os prazos de entrega da obra e os custos de mão de obra. Essa vantagem pôde ser mantida, pois o desenvolvimento de projetos e planejamento dos painéis foi o objetivo principal dos fabricantes, montadores, projetistas e construtores, voltados para eficiência o do processo de montagem. O planejamento voltou-se para a eficiência da montagem dos painéis, considerando alguns aspectos como: seqüência de fabricação e envio das peças, localização da grua, métodos e seqüência de montagem, içamento, fixação e armazenamento.

Os processos construtivos tendem à industrialização, sendo assim, faz-se necessário o aperfeiçoamento dos profissionais, buscando treiná-los e motivá-los em relação a diferença do sistema construtivo industrializado do tradicional. E faz-se necessário, também, o desenvolvimento de manuais e normas técnicas que estabeleçam parâmetros no âmbito

técnico, estabelecendo critérios de desempenho, coordenação dimensional, padronização e as tolerâncias.

PROCESSOS	PPAC	BLOCOS CERÂMICOS
Treinamento da mão de obra de produção	X	X
Documentação	X	X
Layout	X	X
Verificação das condições iniciais	X	X
Necessidade de estoque de materiais em obra		X
Layout	X	X
Grua	X	
Elevador de carga		X
Necessidade de transpote horizontal no canteiro		X
Conferência do nível dos pavimentos	X	X
Lavagem da estrutura		X
Necessidade de equipes terceiras durante o processo de execução		X
Necessidade de utilização de andaimes suspensos		X
Instalação dos contramarcos das janelas no canteiro		X
Necessidade de execução de juntas	X	X
Montagem de armaduras	X	
Execução de concretagem	X	
Execução de solda	X	
Maior velocidade de execução	X	
Aumento da produtividade da mão de obra	X	
Redução de etapas de produção no canteiro	X	
Eliminação de resíduos	X	
Garantia de qualidade do produto	X	X

Figura 69: quadro comparativo

Os comparativos realizados no presente trabalho não esgotam as possibilidades de que outros estudos sejam efetuados, a fim de complementar as considerações obtidas. Uma sugestão para trabalhos futuros é a realização de uma análise dos custos envolvidos na implementação dos dois sistemas de execução de vedação vertical.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1**: componentes cerâmicos – parte 1 – blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575-4**: desempenho de edifícios habitacionais até cinco andares – parte 4: sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2008.

BARTH, F.; VEFAGO, L. H. M. **Tecnologia de fachadas pré-fabricadas**. Florianópolis: Letras Contemporâneas, 2007.

CHAMBERLAIN, Z. Concreto pré-moldado. [2004?]. Disponível em: <<http://usuarios.upf.br/~zacarias/Pre-moldado-introducao.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2009.

CIOCHI, L. As vantagens dos painéis de concreto industrializados. Revista **Téchne**, São Paulo, n. 76, p. 27-31, jul. 2003. Disponível em: <<http://www.piniweb.com.br/construcao/noticias/as-vantagens-dos-paineis-de-concreto-industrializados-80193-1.asp>>. Acesso em: 26 abr. 2009.

GARCIA, C. Sem improvisação. Revista **Arquitetura e Urbanismo**, São Paulo, n.164, p. 13-16, nov. 2007. Disponível em: <<http://www.revistaau.com.br/arquitetura-urbanismo/164/artigo66938-2.asp>>. Acesso em: 11 jun. 2009.

GEHBAUER, P. F. **Racionalização na construção civil**: como melhorar processos de produção e de gestão. Recife: FTD, 2004.

GEROLLA, G. Fachadas prontas. Revista **Téchne**, São Paulo, n. 119, p. 23-28, fev. 2007. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/119/artigo42997-1.asp>>. Acesso em: 15 maio 2009.

_____. Paredes prontas. Revista **Téchne**, São Paulo, n. 145, p. 17-19, abril 2009. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/145/artigo131688-2.asp>>. Acesso em: 15 maio 2009.

FRANCO, L. S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada**. 2005. 319 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo.

LIMMER, C. V. **Planejamento, orçamento e controle de projetos e obras**. Rio de Janeiro: LTC, 1997.

OLIVEIRA, L. A. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. 2002. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária**. 1984. 298 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SABBATINI, F. H.; FRANCO, L. S.; BARROS, M. M. S. B. **Tecnologia de vedações verticais**. São Paulo: EPUSP, 1993. Apostila da disciplina de tecnologia da construção de edifícios I. Disponível em: <[http://www.dptoce.ufba.br/construcao1\(downloads\).html](http://www.dptoce.ufba.br/construcao1(downloads).html)>. Acesso em: 10 nov. 2009.

SILVA, M. G. **Manual da construção em aço**: painéis de vedação. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2003.