

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

MAURÍCIO SAVOLDI

**EDIFICAÇÕES DE PEQUENO PORTE PRÉ-FABRICADAS COM PAINÉIS
ALVEOLARES ESTRUTURAIS**

Alegrete

2014

MAURÍCIO SAVOLDI

**EDIFICAÇÕES DE PEQUENO PORTE PRÉ-FABRICADAS COM PAINÉIS
ALVEOLARES ESTRUTURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Ederli Marangon

Co-orientador: Telmo E. Camilo Deifeld

Alegrete

2014

MAURÍCIO SAVOLDI

**EDIFICAÇÕES DE PEQUENO PORTE PRÉ-FABRICADAS COM PAINÉIS
ALVEOLARES ESTRUTURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 14 de março de 2014.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Ederli Marangon
Orientador
(unipampa)

Prof. Dr. Telmo E. Camilo Deifeld
Co-orientador
(unipampa)

Prof. Dra. Adriana Gindri Salbego
(unipampa)

Prof. Me. Elvira Luiza Arantes Ribeiro Mancini
(unipampa)

Dedico este trabalho a meus pais Luiz e Beatriz, meu irmão Daniel e a minha namorada Caroline, os quais sempre me apoiaram especialmente no período do meu curso de graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela vida.

Agradeço aos meus pais, pela educação, apoio, incentivo e por acreditarem em mim.

Agradeço ao meu irmão, pelo apoio, incentivo, por ser meu melhor amigo e sempre me servir como exemplo.

Agradeço a minha amada namorada Caroline, pelo amor, apoio, incentivo, paciência e toda a dedicação feita a mim.

Agradeço ao meu primo, Eng. Marcelo e sua empresa PREMOLDI, pelo suporte na produção desta pesquisa e permitir que eu realizasse estudos em suas obras, sendo fundamental para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Agradeço aos demais familiares pela boa convivência, pela transmissão de valores e virtudes.

Agradeço ao meu orientador, Ederli Marangon, pela dedicação, incentivo e atenção aplicados à realização deste trabalho.

Agradeço ao meu co-orientador, Telmo Deifeld, pelo incentivo e atenção aplicados a esse trabalho.

Agradeço aos demais professores, pela forma de conduzirem as etapas da graduação e conseguirem transmitir seus conhecimentos a mim.

Agradeço aos meus colegas de república, Alian, Deividi L., Dionatas e Henrique pelo apoio, incentivo e pela amizade construída durante o período de graduação.

Agradeço aos meus colegas, Deividi M., Guilherme, Rafael, Rudy e Wagner pela amizade, parceria e apoio em diversos momentos da graduação.

“Lembre-se que as pessoas podem tirar tudo de você, menos o seu conhecimento”.

Albert Einstein

Resumo

O sistema de painéis alveolares pré-fabricados com função estrutural é uma técnica que teve suas ascendências há poucas décadas e que evoluiu desde então, sendo aplicada em diferentes áreas e escalas da construção civil no país. O trabalho aqui proposto trata de analisar, através de pesquisa bibliográfica e com embasamento técnico teórico e prático, as vantagens e desvantagens do sistema em questão com relação ao sistema convencional de alvenaria em blocos e estrutura em concreto armado, a fim de constituir e desenvolver temas comparativos entre ambos. A pesquisa inicia com um estudo histórico do sistema, algumas aplicações ao longo de seu desenvolvimento e, valendo-se de fontes atualizadas, expõe-se a utilização deste sistema nos dias atuais, comparando-o com o sistema convencional e relacionando-o a fatores que interferem no tempo de execução, eficiência, custo, sustentabilidade e outros. Para analisar o estudo de custos da obra, foi realizado uma simulação de uma construção de uma edificação de pequeno porte nos dois sistemas descritos. Para a análise dos demais componentes, utiliza-se de base teórica e observações de obras em andamento no período do desenvolvimento do trabalho. Os resultados obtidos indicam que o sistema de painéis alveolares apresenta bons resultados comparando-o ao sistema de alvenaria de blocos cerâmicos, o mesmo indica redução significativa de custos e prazos de execução. O sistema de painéis pré-fabricados ainda é uma técnica em desenvolvimento no país, contudo, sua utilização e aprimoramento poderão trazer muitos benefícios para várias áreas da construção civil e ainda, para a comunidade que usufruir desta técnica construtiva.

Palavras-chave: sistema, convencional, pré-fabricados, alveolar.

Abstract

The system of prefabricated alveolate panels with structural function is a technique that their forefathers had a few decades ago and has since evolved, and applied in different areas and scales of construction in the country. The work proposed here is to examine, through a literature review with theoretical and practical and technical basis, the advantages and disadvantages of the system concerned with the conventional system of masonry blocks and reinforced concrete structure in order to establish and develop themes comparison between them. The research starts with a historical study of the system, some applications throughout their development and, availing himself of date sources, exposes the use of this system today, comparing it with the conventional system and relating it to factors that interfere with the execution time, cost, efficiency, sustainability and others. To analyze the study of construction costs, a simulation of a construction of a small construction in the two systems described was conducted. For the analysis of other components, is used for theoretical and observations of construction in progress during the period of their development base. The results indicate that the system of honeycomb panels gives good results compared to that of ceramic masonry block system, they indicate significant reduction of costs and deadlines. The system of prefabricated panels is still a technique developed in the country, however, its use and improvement will bring many benefits to many areas of construction and also for the community to take advantage of this construction technique.

Keywords: system, conventional, prefabricated, alveolate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Alvenaria estrutural (blocos cerâmicos)	15
Figura 2 - Alvenaria estrutural (blocos de concreto)	15
Figura 3 - Laje com painéis alveolares	17
Figura 4 - Içamento de painéis paredes	17
Figura 5 - Desforma dos painéis	18
Figura 6 - Montagem da edificação	18
Figura 7 - Alvenaria de blocos cerâmicos.	19
Figura 8 - Detalhamento transversal de um painel alveolar	20
Figura 9 - Painel alveolar moldado	20
Figura 10 - Painel alveolar extrudado.....	21
Figura 11 - Alvenaria de blocos cerâmicos e estrutura	25
Figura 12 - Concepção estrutural (alvenaria de blocos e sua estrutura)	26
Figura 13 – Edificação com painéis alveolares	27
Figura 14 - Ações atuantes em um sistema estrutural tipo caixa	27
Figura 15 - Aplicação de concreto auto adensável.....	34
Figura 16 - Piso de concreto auto adensável	35
Figura 17 - Painel alveolar em vista	38
Figura 18 - Planta Baixa (Arquitetônico).....	40
Figura 19 - Fachada frontal	41
Figura 20 – Corte transversal	41
Figura 21 - Planta baixa com pilares sistema de alvenaria de blocos cerâmicos.....	42
Figura 22 - Planta baixa com pilares sistema de painéis alveolares	43
Figura 23 - Canteiro de obras convencional.....	44
Figura 24 - Fábrica dos painéis alveolares.....	45
Figura 25 - Canteiro de obras sistema pré-fabricado com painéis alveolares	45
Figura 26 - Fôrmas para pilares, vigas e lajes.....	47
Figura 27 - Concretagem de lajes e vigas	47
Figura 28 - "Picolé" em planta e perspectiva.....	48
Figura 29 - Fôrma para painel alveolar	49
Figura 30 - Produção de painel alveolar.....	49
Figura 31 - Ligação do pilar de união ao painel alveolar.	50
Figura 32 - Vigas baldrame	51

Figura 33 - Blocos de fundação com paredes apoiadas	51
Figura 34 - Armadura de viga e laje (convencional)	52
Figura 35 - Armadura de painel alveolar	53
Figura 36 - Instalações elétricas (convencional)	53
Figura 37 - Instalações elétricas (painéis alveolares).....	54
Figura 38 - Chapisco - sistema de alvenaria de blocos.....	55
Figura 39 - Reboco Paulista	55
Figura 40 - Acabamento face externa (painéis alveolares)	56
Figura 41 - Acabamento face interna (painéis alveolares)	57
Figura 42 - Resíduos de instalações elétricas.....	64
Figura 43 - Resíduos da produção de fôrmas	64
Figura 44 - Construção em painéis alveolares (geração de resíduos)	65
Figura 45 - Protótipo em concreto autoadensável.....	66
Figura 46 - Concretagem com concreto colorido.....	67
Figura 47 - Protótipo com concreto autoadensável	68
Figura 48 - Concreto com fibras de aço	69
Figura 49 - Paredes internas de uma edificação com acabamento em gesso	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Orçamento (alvenaria de blocos cerâmicos)	58
Tabela 2 - Orçamento do sistema de painéis alveolares estruturais	59
Tabela 3 – Relação da proporção de custos das principais etapas	60
Tabela 4 - Consumo e custo de hora/homem por etapa do sistema de alvenaria de blocos cerâmicos.....	61
Tabela 5 - Consumo e custo de hora/homem por etapa do sistema de painéis alveolares.....	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de cimento Portland e suas nomenclaturas (1997)	29
Quadro 2 - Aplicação dos diferentes tipos de Cimento Portland	30
Quadro 3 - Divisão de etapas da construção	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCIC - Associação Brasileira de Construção Industrializada de Concreto

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland

ABESC - Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica

NBR - Norma Brasileira

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

CA - Concreto Armado

TCPO - Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos

SINAPI - Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil

fck - Resistência Característica do Concreto à Compressão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
1.1. Objetivos.....	12
1.2. Justificativa	12
1.3. Estrutura do trabalho.....	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1. Sistemas construtivos	14
2.1.1. Sistema de alvenaria estrutural.....	14
2.1.2. Sistema de painéis alveolares	16
2.1.3. Sistema Tilt-up.....	17
2.1.4. Sistema de alvenaria de blocos.....	19
2.2. Edificações pré-fabricadas e alvenaria de blocos: características	19
2.2.1. Painéis alveolares estruturais	20
2.2.2. Alvenaria de blocos com estrutura de concreto armado	23
2.2.3. Concepção estrutural.....	25
2.2.4. Materiais	28
3. METODOLOGIA E ANÁLISE DOS RESULTADOS	36
3.1. Análise Comparativa.....	37
3.1.1. A concepção do projeto arquitetônico	37
3.1.2. Canteiro de obras	44
3.1.3. Execução do sistema	46
3.1.4. Fôrmas e ligações	46
3.1.5. Viga baldrame	50
3.1.6. Armadura.....	52
3.1.7. Instalações	53
3.1.8. Revestimentos	54
3.1.9. Custos	57
3.1.10. Mão de obra e equipamentos especiais e velocidade de execução.....	60
3.1.11. Geração de resíduos	63
3.2. Propostas de melhorias para o sistema de Painéis Alveolares	65
3.2.1. Uso de Concreto Autoadensável.....	65
3.2.2. Uso de Concreto Colorido	67

3.2.3. Uso de concreto autoadensável com fibras.....	68
3.2.4. Revestimento interno com gesso	70
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
Sugestão para trabalhos futuros.....	73
5. REFERÊNCIAS	74

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor que se encontra em elevado desenvolvimento no país, sofrendo várias influências, principalmente, por linhas de crédito concedidas pelo governo federal. Há anos, o setor de habitações vem sendo impulsionado e há um grande crescimento neste campo. Isso se deve sobretudo às facilidades que a população, em especial a de baixa renda, possui para obter um financiamento imobiliário e ainda, este fato está aliado ao déficit habitacional do país.

Além do alto crescimento no setor imobiliário, a partir da década de noventa, a construção civil vem passando também por grandes mudanças, dentre estas, os avanços na qualidade e segurança dos trabalhos executados. O investimento em mão de obra deve ocorrer constantemente, sempre buscando aperfeiçoar sua eficiência, ou seja, é o momento de avaliar os fatores com influência na produtividade da mão de obra, da mesma forma em que as indústrias em geral já fazem (BATLOUNI NETO, 2006).

Mesmo diante da necessidade de aperfeiçoamento da mão de obra para a construção no país, o sistema estrutural mais popular continua sendo o de concreto armado para estrutura e, alvenaria de blocos cerâmicos, para vedação. O uso desse sistema estrutural é considerado o mais tradicional, de fácil execução, que não demanda mão de obra especializada.

Ainda que o sistema de concreto armado seja utilizado, e em larga escala, motivado em especial pela facilidade de execução, atualmente existe grande diversidade de sistemas construtivos efetivos no país, todos com suas particularidades, vantagens e desvantagens, a depender do tipo de construção e local a ser aplicado. Cada construtor tem a possibilidade de criar sua própria técnica construtiva, ou seja, o seu modo de produção específico desde que atenda os quesitos normatizados de modo a garantir a qualidade e eficiência do produto final. Atualmente, ao estudar o modo de produção, pensa-se em produção em série e no resultado final, dessa maneira, se está aplicando ações advindas da Revolução Industrial, as quais estão ligadas ao conceito de industrialização.

A industrialização das construções está relacionada diretamente aos conceitos de organização e em produção em série. O desenvolvimento das construções se identifica com a história da mecanização, ou seja, com a utilização de ferramentas e máquinas para produção de bens. Também, segundo Silva (2011),

o grande marco inicial da industrialização das construções com produção de pré-fabricados ocorreu no período pós-guerra (1955), devido à grande destruição ocasionada pelas batalhas, sendo a Alemanha a grande potência que usufruiu das técnicas desenvolvidas nesse período.

O desenvolvimento ou industrialização da construção civil no país pode ser percebido, em parte, pelo surgimento de sistemas pré-fabricados, os quais podem ser aplicados em diversas áreas da construção civil, podendo ser utilizado em obras de pequeno, médio e grande porte. De modo geral, os elementos com maior importância de pré-fabricação são os pilares, vigas, lajes (elementos estruturais) e paredes (estruturais ou de vedação), pois são os que mais demandam tempo e mão de obra nas construções convencionais. Existem algumas propostas nessa área em andamento, por exemplo, uma das alternativas que pode ser eficiente é a construção com a utilização de sistemas de painéis alveolares pré-fabricados, em que os mesmos podem ser utilizados como laje e parede, dispensando o uso de pilares estruturais, uma vez que os painéis são portantes.

Entretanto, esse sistema de painéis pré-fabricados é relativamente novo no Brasil, porém, tem ganhado espaço nas últimas décadas. Segundo Campos (2009), milhares de unidades já foram construídas no sistema de pré-fabricados de painéis portantes no Brasil. Nas obras em que esse sistema é utilizado, pode-se perceber uma série de vantagens, como aumento de produtividade da obra, eliminação de serviços intermediários (fôrmas, recortes nas paredes, escoramento das lajes, etc.), dispensa de escoramentos, etc. Outra vantagem é a redução de forma significativa do desperdício de materiais, minimizando, assim, a geração de resíduos no canteiro de obras. Uma desvantagem apresentada por este sistema é a impossibilidade de remoção de painéis, pois os mesmos têm função estrutural. Dessa maneira, as alterações posteriores, caso sejam necessárias, são inviáveis (SILVA, 2011).

Mesmo com algumas desvantagens, a industrialização dos processos produtivos, de modo geral, tende a proporcionar maior agilidade ao setor da construção civil e ao mesmo tempo minimizar os desperdícios, o que deve se tornar prioridade para empreendedores brasileiros. A lentidão na produção e dependência de pessoal são fatores que afetam a construção civil, pois o país está enfrentando um crescimento não programado, e está passando por problemas, principalmente no que se refere à mão de obra qualificada (JAZRA, 2013). Devido à necessidade de racionalização das construções para reduzir principalmente os custos e

desperdícios, os elementos pré-fabricados deixam de ser uma visão futurista e passa a ser uma realidade da construção civil, sendo um setor que está conseguindo atender com precisão e agilidade parte da demanda vigente.

Dessa forma, Jazra (2013) afirma que é possível transferir os trabalhos realizados no canteiro de obras para indústrias, onde é possível trabalhar com processos modernos, reduzindo desperdícios, mão de obra e pode-se obter um padrão de qualidade com um controle tecnológico bastante eficiente. Evoluir é o caminho natural de qualquer meio de concepção e a construção civil destaca-se por ter muito a mudar no que diz respeito ao emprego de métodos racionalizados, técnicas construtivas que proporcionem um aumento de produtividade e redução de custos.

Uma pesquisa no contexto de industrialização é relevante, levando em conta que, segundo Batlouni Neto (2006), a mão de obra pode ter uma influência de 50% no custo total, dependendo do tipo de construção e do nível de industrialização. A velocidade de execução de painéis alveolares é um dos maiores argumentos de venda em sistemas completos da estrutura. A obra ganha agilidade e após a montagem da edificação com os pré-fabricados abrem-se atividades para várias frentes de serviço proporcionar a sequência das mesmas, permitindo assim a execução de diversas atividades ao mesmo tempo. Nesse sentido, apresenta-se mais vantajoso em relação a alvenaria com blocos estruturais e/ou de blocos de vedação (MELO, 2007).

Diante do exposto, destaca-se a seguinte questão para a pesquisa: é viável a substituição do sistema convencional de alvenaria de blocos com estrutura de concreto armado pelo sistema de construção com painéis pré-fabricados estruturais, considerando questões de eficiência de mão de obra, necessidade de equipamentos especiais, redução de desperdícios e eficiência estrutural, para edificações de pequeno porte? Para aperfeiçoar o sistema de painéis, quais as características positivas do sistema de alvenaria de blocos cerâmicos que poderiam ser aplicadas no mesmo?

1.1. Objetivos

Este trabalho tem como objetivos comparar o sistema de alvenaria de blocos com o sistema de painéis alveolares e identificar possíveis melhorias para aperfeiçoar o sistema de construções pré-fabricadas com painéis alveolares de uma construtora, com base no sistema construtivo de alvenaria convencional.

Os objetivos específicos são:

- descrever a técnica do sistema de construção dos painéis alveolares pré-fabricados e o sistema convencional de alvenaria de blocos cerâmicos de vedação com estrutura de concreto armado;
- comparar os dois sistemas construtivos identificando as vantagens e desvantagens relacionadas a fatores que interferem no tempo de execução e custo da obra considerando as composições de preço do SINAPI (Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil), com referência aos valores de Porto Alegre;
- identificar as possibilidades de melhorias do sistema construtivo com painéis alveolares e propor aplicações, sem alterar suas características básicas.

1.2. Justificativa

Desperdícios e excesso de consumo de materiais não renováveis, associados à geração de entulhos são fatores que tem demandado grande atenção dos construtores, a partir da década de 90, com a implantação de sistemas de gestão de qualidade e meio ambiente aos canteiros de obras. Verifica-se que, em sua maioria, a construção civil está apresentando-se como sinônimo de ineficiência e desperdícios excessivos.

Neste contexto da construção civil, uma alternativa eficiente é a utilização de painéis alveolares pré-fabricados em concreto, os quais são utilizados como parede estrutural e laje. Os mesmos são produzidos na indústria, com adequado controle tecnológico. Sua montagem é simples e rápida, podendo agilizar significativamente o prazo de entrega da obra.

O sistema construtivo de painéis alveolares tende a conquistar cada vez mais seu espaço no mercado, de acordo com a ABCP (Associação Brasileira de Cimento

Portland) (2008, p. 10), “O mercado da construção civil do século XXI exige obras duráveis, realizadas dentro de padrões técnicos reconhecidos, com segurança estrutural, velocidade de execução e bom gosto estético [...]”. Desse modo, os painéis alveolares pré-fabricados proporcionam que sejam atendidas as exigências do mercado, apresentando-se como um sistema eficiente e fortemente competitivo com os sistemas tradicionais.

A importância da realização de uma pesquisa sobre esse tema procura ressaltar que o uso moderado de matéria prima é fundamental, em tempos que se busca cada vez mais eficiência, qualidade e sustentabilidade. Este sistema de pré-fabricados está em uso há alguns anos, porém sua bibliografia ainda é escassa, existindo poucos livros e artigos publicados, por exemplo, não há referências que indiquem relações de custos entre um sistema de painéis pré-fabricados e o sistema convencional.

1.3. Estrutura do trabalho

Este trabalho está constituído da seguinte forma:

- a) Capítulo 1: está apresentada a introdução, em que são abordadas as considerações referentes ao tema da pesquisa, a contextualização do problema, objetivos gerais e específicos é apresentada a importância da realização desta pesquisa.
- b) Capítulo 2: neste capítulo está apresentada a fundamentação teórica. Descrevem-se os sistemas construtivos em análise, com as características básicas de cada um, também suas vantagens e desvantagens.
- c) Capítulo 3: apresenta-se a metodologia adotada para realização da pesquisa, apresentado as etapas e forma pela qual se dará sua realização e também a comparação realizada entre os sistemas de alvenaria de blocos com o sistema de painéis alveolares.
- d) Capítulo 4: apresentam-se as considerações finais da pesquisa.
- e) Capítulo 5: estão descritas as referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento do trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Apresentam-se a seguir, de forma breve, temas relacionados à pesquisa com o objetivo de embasar o conteúdo em análise. São abordados, da mesma forma, conceitos de industrialização, tecnologia e qualidade das construções.

2.1. Sistemas construtivos

Um sistema construtivo é a metodologia construtiva em níveis de industrialização e sistematização, composto por uma série de elementos que interagem entre si. Concílio (1998) afirma que um sistema construtivo é composto de partes que se complementam. A grande parte funcional da edificação é dividida em subsistemas, por exemplo: fundação, piso e cobertura. Dietz e Cutler (1970), *apud* Concílio e Abiko (1998, não paginado) afirmam que um subsistema é definido como “[...] uma completa, fisicamente integrada, e dimensionalmente coordenada série de partes que funcionam como uma unidade”.

Para Warszawski (1977), além da industrialização dos processos produtivos, é comum confrontar-se com discussões relacionadas a sistemas construtivos duas características essenciais: a primeira é ideia do conjunto de elementos que unidos formam um todo e a segunda é a interação que existe entre eles.

2.1.1. Sistema de alvenaria estrutural

O sistema de alvenaria estrutural é um dos mais antigos. Há milhares de anos o homem já fazia uso de tijolos de barro com baixa resistência, pedras e outros materiais com função estrutural e de vedação. Grande parte das edificações históricas construídas nesse princípio existe até hoje (RAMALHO; CORRÊA, 2003). Coelho (1998) cita que ao passar dos anos, o sistema foi se aprimorando e adequando-se ao surgimento de novas tecnologias e materiais.

A alvenaria estrutural é um sistema em que as paredes são elementos compostos por blocos cerâmicos ou em concreto com função estrutural e dimensões

padronizadas. Os blocos são unidos por juntas de argamassa, formando um corpo rígido capaz de resistir a esforços gerados pelo peso próprio e de cargas acidentais (PENTEADO, 2003). Segundo Roman *et al.* (1999) a alvenaria estrutural é um processo construtivo em que as paredes possuem função estrutural, tendo assim a obrigação de absorver as solicitações de carregamentos impostas a estrutura, inibindo o uso dos pilares estruturais utilizados nas construções convencionais. Nas Figuras 1 e 2 são ilustradas obras que representam o sistema de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos e de concreto, respectivamente.

Figura 1 - Alvenaria estrutural (blocos cerâmicos)



Fonte: D2R (não paginado)

Figura 2 - Alvenaria estrutural (blocos de concreto)



Fonte: PRONTOMIX (não paginado)

Uma das vantagens do sistema de alvenaria estrutural é que, de maneira geral, ele apresenta custos reduzidos em relação a estruturas convencionais, pois a própria estrutura já tem função de vedação, não necessitando de um sistema exclusivo à vedação (ROMAN *et al.* 1999).

2.1.2. Sistema de painéis alveolares

Os painéis alveolares são um tipo de sistema construtivo que apresenta uma boa eficiência estrutural, segurança à edificação e bom isolamento térmico e acústico, o que o torna, nesse aspecto, mais eficiente que a alvenaria com blocos estruturais e com blocos e estrutura de concreto armado (MELO, 2007).

As lajes alveolares, segundo El Debs (2000), tiveram sua origem na Alemanha e representam um dos mais populares elementos pré-fabricados do mundo, de forma mais significativa na América do Norte e Europa Ocidental.

O sistema de pré-fabricados se identifica com a história da industrialização, que está ligada ao período da mecanização, ou seja, com a evolução de equipamentos para a produção de bens (SERRA et. al, 2005). Conforme a ABCIC (Associação Brasileira de Construção Industrializada de Concreto), no Brasil não existe uma política influente ao desenvolvimento tecnológico do setor industrial da construção civil. Dessa forma, até a década de noventa, os investimentos que existiram foram iniciativa de investidores independentes, com a finalidade de obter melhores produtos com maior racionalização de custos. Sendo assim, até a atualidade, o uso de processos industrializados, tanto em elementos estruturais como em painéis de vedação é mais significativo em obras de médio e grande porte, e menos expressivo em economias unifamiliares.

O primeiro empreendimento que fez o uso deste sistema de painéis pré-moldados de concreto foi um edifício hoteleiro, do ano de 1997 que foi construído na cidade de São Paulo. Após tal feito, a utilização desse sistema só vem crescendo como uma alternativa ao emprego das alvenarias em edifícios (CONSTRUÇÃO SÃO PAULO, 1997). Além do primeiro edifício hoteleiro que fez uso do sistema de painéis pré-fabricados, a construção da primeira edificação, que foi considerada protótipo da tecnologia, teve início em 1993 (ARQUITETURA & URBANISMO, 1996).

Os painéis alveolares não apresentam grandes variações em suas dimensões por serem modulares e ter limitações das fôrmas. Os painéis também apresentam contribuição ao travamento da estrutura sendo responsáveis por absorver esforços solicitados aos mesmos, os quais podem ser de transporte, montagem e uso (MELO, 2007, p. 71). Nas Figuras 3 e 4 são mostrados painéis alveolares de laje e painéis paredes sendo içados, respectivamente.

Figura 3 - Laje com painéis alveolares



Fonte: Autoria própria

Figura 4 - Içamento de painéis paredes



Fonte: Autoria própria

2.1.3. Sistema Tilt-up

O sistema Tilt-up, segundo a ABESC (Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem), baseia-se na fabricação de placas de concreto de grandes dimensões, que têm função estrutural e de fechamento. Pode-se definir o sistema Tilt-up como um sistema construtivo estrutural baseado na execução de paredes pré-moldadas em concreto armado, moldadas na própria obra utilizando uma laje (RIVERA *et al.*, p.5, 2005).

De acordo com Oggi, o Tilt-up oferece excelentes resultados em termos de criação, exclusividade e personalização, o que tem muito a ver com a criatividade e talento dos profissionais brasileiros. Estas paredes podem apresentar variadas formas e texturas, também podem ser incorporados vãos para portas e janelas e ainda é possível adicionar detalhes técnicos de acabamento. Para arquitetos e

engenheiros projetistas, o sistema Tilt-up oferece grande flexibilidade de projeto e, praticamente não impõe limitações (RIVERA *et al.*, p.10, 2005).

O grande diferencial entre as obras convencionais e o sistema Tilt-up é que no Tilt-up o piso já deve ter sido executado e nivelado, o que é extremamente importante já que as placas são moldadas utilizando-se do piso como fôrma e quando eles atingem a resistência necessária, as estruturas são içadas por guindastes e colocadas sobre os blocos das fundações. Na Figura 5 está sendo realizada desforma de um painel Tilt-up.

Figura 5 - Desforma dos painéis



Fonte: Anderson-Moore Construction Corp (não paginado)

Na Figura 6 ilustra-se a montagem de uma edificação do sistema Tilt-up.

Figura 6 - Montagem da edificação



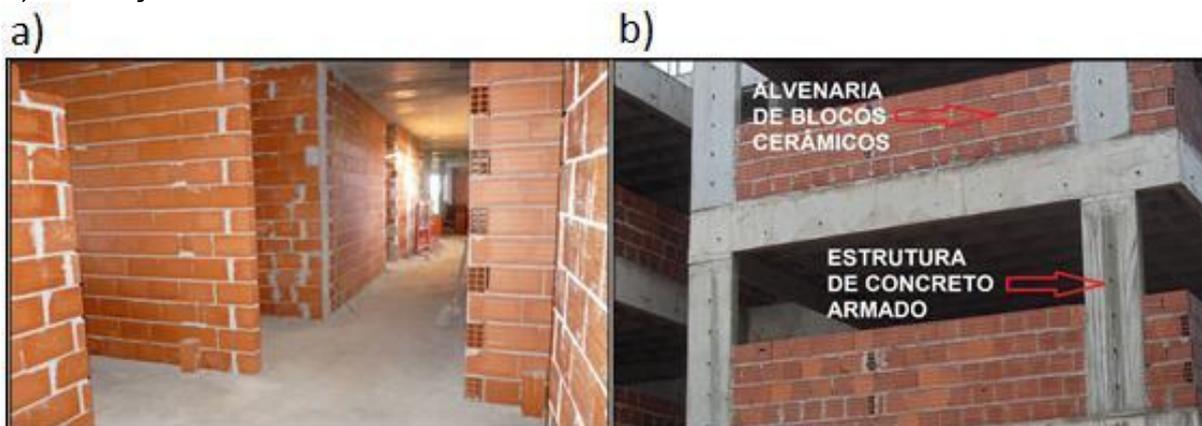
Fonte: Zartman Construction (não paginado)

2.1.4. Sistema de alvenaria de blocos

A alvenaria de blocos é construída em conjunto com estruturas de concreto armado, sendo que possui apenas função de vedação e não estrutural. Segundo Santos (1998), a alvenaria de blocos é executada muitas vezes de forma ultrapassada, produzindo altos desperdícios e é ineficaz, pois o sistema apresenta falta de organização e padronização em sua produção.

Mesmo sendo considerada como ineficiente e com alta produção de resíduos, Silva (2003) afirma que a alvenaria de blocos com estrutura em concreto armado é o sistema mais utilizado para construção de edificações residenciais e comerciais no Brasil. Na Figura 7 são ilustradas edificações que exemplificam a alvenaria de blocos e também, está mostrada além da alvenaria de blocos, a estrutura de concreto armado.

Figura 7 - Alvenaria de blocos cerâmicos a) alvenaria de blocos cerâmicos
b) edificação com estrutura de concreto armado



Fonte: Engenhariacivil.com (não paginado)

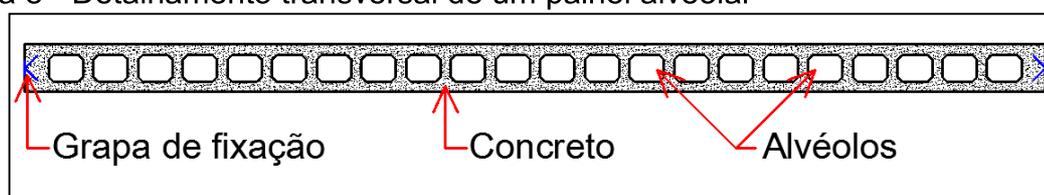
2.2. Edificações pré-fabricadas e alvenaria de blocos: características

Nesta etapa, serão apresentados os sistemas construtivos em análise, primeiramente os painéis alveolares estruturais e em seguida, a alvenaria de blocos cerâmicos. Serão apresentadas as técnicas utilizadas, aplicações, vantagens e desvantagens dos sistemas e métodos empregados.

2.2.1. Painéis alveolares estruturais

A utilização do sistema de painéis alveolares estruturais está em desenvolvimento no país. Os painéis pré-moldados de concreto são peças bastante versáteis aplicáveis a diversos fins, como habitacional, comercial ou industrial, tendo sua utilização mais comum na forma de painéis ou fechamento. Na Figura 8, mostra-se uma seção transversal típica do sistema.

Figura 8 - Detalhamento transversal de um painel alveolar



Fonte: Elaboração própria

Dentro da evolução na área de pré-moldados, já existem basicamente dois tipos de lajes alveolares: a extrudada e a moldada, conforme afirma Melo (2004). As lajes extrudadas têm como características: uso de concreto com fator água/cimento relativamente baixo, melhor qualidade final, garantia de alta resistência mecânica e menor índice de vazios do concreto. Nas Figuras 9 e 10 são mostradas as confecções de painéis moldado e extrudado, respectivamente.

Figura 9 - Painel alveolar moldado



Fonte: Autoria própria

Figura 10 - Paineis alveolares extrudados



Fonte: OLMET (2013, não paginado)

A NBR 9062 (ABNT, 2006, p. 2) define elemento pré-fabricado o “elemento pré-moldado, executado industrialmente, mesmo que em instalações provisórias de canteiros de obra, sob condições rigorosas de controle de qualidade [...]”. Na utilização do sistema construtivo de paredes de concreto, o sistema de vedação e estrutura é composto por esse único elemento, definido então como paredes autoportantes.

2.2.1.1. Vantagens e desvantagens do sistema de painéis alveolares

Como qualquer outro sistema construtivo, o sistema de painéis alveolares em concreto armado apresenta vantagens e desvantagens. É importante ressaltar no que se refere ao campo da sustentabilidade, que a produção dos painéis é industrializada e dessa forma, o sistema dispensa a utilização de fôrmas de madeira, reduzindo em parte significativa a geração de resíduos na construção. Além disso, segundo Viero (2008), podem-se considerar as seguintes vantagens ao tipo de sistema:

- a) Aumento na produtividade;
- b) Custo global reduzido; altamente competitivo com alvenaria de blocos;
- c) Execução da estrutura e vedação de forma simultânea;
- d) Não há necessidade de rasgos na parede para instalação elétrica e hidráulica;

- e) Redução na geração de resíduos;
- f) Maior controle tecnológico;
- g) Rapidez na montagem;
- h) Canteiro de obras reduzido;
- i) Amenização da amplitude térmica;
- j) Baixo peso próprio;
- k) Longa vida útil.

Desvantagens:

- a) Flexibilidade modular limitada;
- b) Impossibilidade de remoção futura dos painéis alveolares (sem prévio planejamento);
- c) Necessidade de equipamentos especiais para montagem;
- d) Necessidade de mão de obra especializada.

2.2.1.2. Durabilidade de estruturas de concreto armado

A durabilidade das estruturas é de fundamental importância na escolha do método a ser empregado quando relacionado às modernas normas de projetos. Esses requisitos estão se tornando cada vez mais imponentes, tanto nos projetos como na execução da estrutura (ARAÚJO, 2010).

Os novos requisitos aplicados às normas decorrem, conforme Araújo (2010), em sua maioria, devido a falhas de projetistas e construtores, os quais para obter maior rendimento e lucratividade, acabam deixando de lado esse tema. A falta de atenção para com a durabilidade das edificações tem contribuído para a deterioração precoce de diversas estruturas. Em decorrência desses fatos e com o aprimoramento do conhecimento dos mecanismos de deterioração das estruturas de concreto têm-se alterado de certa forma os conceitos quanto à nova concepção de durabilidade adicionada às atuais normas de projeto, entre elas a NBR-6118 (2003).

Atualmente, as estruturas projetadas devem considerar uma vida útil de 50 anos. Esse tempo, dependendo da importância da edificação, pode ser superior. As exigências de durabilidade direcionam-se a manter a conservação das características iniciais da estrutura por toda sua vida útil. Por esse período, não

devem ser necessárias medidas de reparos ou manutenção para com essa (ARAÚJO, 2010).

No entanto, a durabilidade está associada a diversos critérios que devem ser previstos em fase de projeto, execução e utilização da estrutura de forma a evitar a sua deterioração. Dentre os requisitos a serem atendidos estão a qualidade do concreto, o respeito ao cobrimento mínimo das armaduras, verificação da abertura de fissuras e o detalhamento correto das armaduras (ARAÚJO, 2010).

2.2.1.3. Patologias a serem evitadas

O controle da qualidade na produção é de fundamental importância para uma boa condição final do produto e para uma durabilidade satisfatória, sendo assim, algumas patologias podem ser evitadas, dentre as quais:

- Durante a cura dos painéis alveolares, que é realizada na fábrica, microfissuras imperceptíveis de retração podem ocorrer nas faces. As mesmas fazem parte do processo executivo e não comprometem o desempenho do painel alveolar (MELO, 2007).
- Caso a fachada não seja vedada, a água pode penetrar pelas microfissuras e invadir os alvéolos. Tal umidade pode marcar as microfissuras, tornando-as visíveis, no entanto, esse efeito, apesar de apresentar aspecto visual negativo, não afeta o desempenho mecânico do painel, porém, a presença de umidade nos alvéolos deve sempre ser evitada (MELO, 2007).
- Caso especificada necessidade de preenchimento dos alvéolos, o mesmo deve ser concretado com o mesmo controle tecnológico que o painel alveolar, pois deve ocorrer uma aderência eficiente entre a face do painel e o novo concreto (MELO, 2007).

2.2.2. Alvenaria de blocos com estrutura de concreto armado

Ao se falar em alvenaria de blocos, não se pode deixar de citar a estrutura de concreto armado em conjunto, a qual absorve os esforços do sistema, portanto, seguem alguns aspectos do composto.

2.2.2.1. Estrutura de concreto armado

As construções com estrutura em concreto armado representam o processo construtivo convencional. A combinação do concreto com o aço possibilita o vencimento de longos vãos e alturas consideráveis. Além desses aspectos, o concreto é considerado um material plástico e moldável e que possibilita sua confecção nos mais variados formatos, pois se adapta a qualquer tipo de fôrma. No início de sua aplicação, o concreto armado foi utilizado em embarcações e tubulações hidráulicas, porém ainda no século XIX passou-se a utilizá-lo em edificações. (FERNANDES *et al*, *apud* BENEVOLO, 1976).

2.2.2.2. Histórico da alvenaria de blocos

Um dos primeiros sistemas de construções empregados pelo homem é o de alvenaria de blocos cerâmicos. O vasto conhecimento obtido ao passar do tempo, hoje, já não recebe mais tanta importância, isso devido à grande transformação presenciada pelo setor da construção civil (DIAS, 2002).

Entretanto, desde 4000 a.C. os materiais cerâmicos são empregados pelo homem e destacam-se pela matéria prima abundante. Possivelmente tenham sido os romanos os desenvolvedores dessa metodologia construtiva e o registro se dá através das ruínas de tal civilização. O registro mais antigo de bloco foi encontrado nas escavações arqueológicas em Jericó, no Oriente Médio, durante o período Neolítico inicial (ANICER, 2002).

2.2.2.3. Alvenaria de vedação

A alvenaria de vedação é composta por materiais com finalidade de preencher e vedar os vãos de uma estrutura convencional de concreto armado, aço ou outros materiais. Tal sistema é composto pelo assentamento de blocos furados, com a finalidade de resistir apenas ao seu peso próprio, pois as solicitações de esforços são absorvidas pela estrutura aporcada (DIAS, 2002).

2.2.2.4. Blocos cerâmicos

Os blocos cerâmicos são componentes básicos nas construções em alvenaria. Os blocos são produzidos a partir da argila, geralmente sob a forma geométrica de paralelepípedo, possuem coloração avermelhada e apresentam canais/furos ao longo de seu comprimento (INMETRO, 2001).

2.2.3. Concepção estrutural

O sistema estrutural define qual a configuração da propagação de tensões de determinada edificação.

2.2.3.1. Alvenaria de blocos cerâmicos e estrutura de concreto armado

O sistema de alvenaria de blocos cerâmicos furados constituem paredes com função de suportar apenas seu peso próprio, sem papel estrutural. Tais alvenarias são usadas comumente como paredes de vedação com função de promover o isolamento de ambientes internos e externos, e são empregadas juntamente com estrutura de concreto armado (MENDES *et al*, 2012). A Figura 11 está mostrando o sistema de alvenaria de blocos com estrutura aporcada em concreto armado.

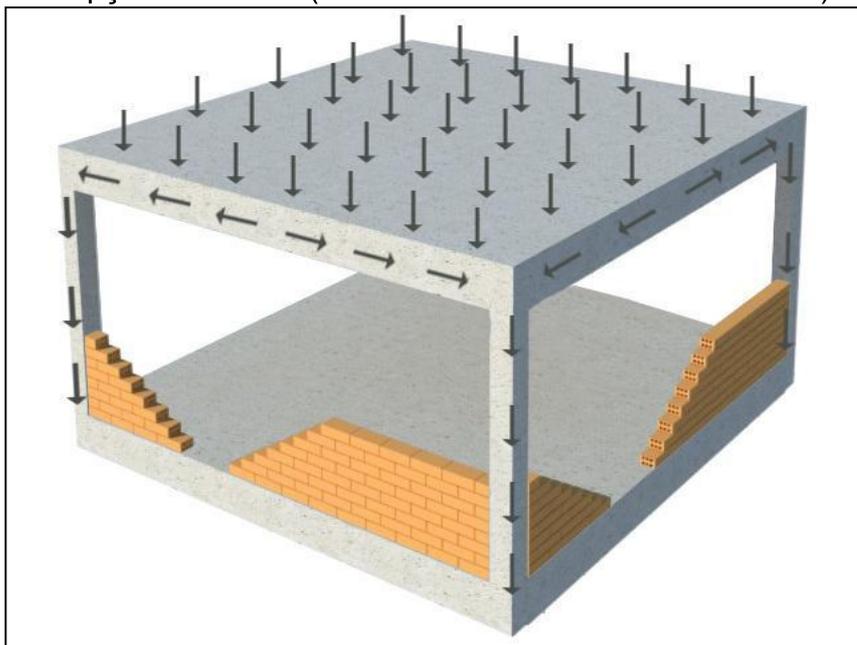
Figura 11 - Alvenaria de blocos cerâmicos e estrutura



Fonte: Crisius (2011, não paginado)

Na Figura 12, mostra-se a concepção estrutural do sistema de alvenaria de blocos com estrutura de concreto armado, sendo demonstrado o caminho a ser percorrido pelas forças aplicadas. As cargas são aplicadas às lajes, que conseqüentemente descarregam nas vigas, as quais descarregam nos pilares, e estes, por sua vez transmitem os esforços às fundações.

Figura 12 - Concepção estrutural (alvenaria de blocos e sua estrutura)



Fonte: Elaboração própria

2.2.3.2. Painéis alveolares

A estrutura dos painéis alveolares funciona de forma semelhante à alvenaria estrutural, onde as tensões são absorvidas pelas paredes e transmitidas às fundações. Segundo Camacho (2006), as paredes resistentes trabalham de forma interativa com as lajes e formam uma estrutura tipo caixa, em que está submetida a ações verticais (carga permanente e acidental) e horizontais (cargas de vento).

O esquema estrutural do sistema de painéis alveolares funciona com a resistência das paredes combinada com as lajes, ambos trabalhando como painéis, sendo que as lajes transmitem os esforços para as paredes resistentes, que por sua vez transmitem os esforços para as fundações. Na Figura 13 está mostrada uma edificação que estava sendo construída no sistema de painéis.

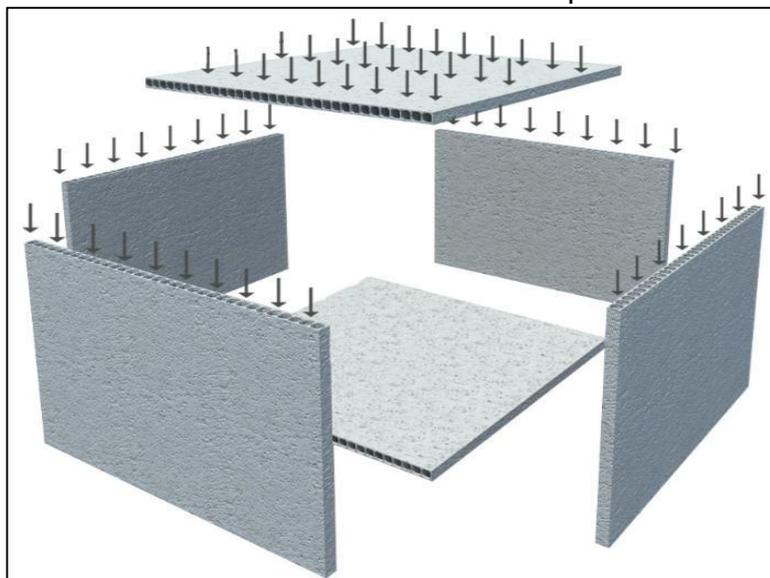
Figura 13 – Edificação com painéis alveolares



Fonte: Autoria própria

Na Figura 14, ilustra-se a concepção estrutural do sistema de painéis alveolares de concreto armado, em que é demonstrado o caminho percorrido pelas tensões. As cargas são aplicadas às lajes, que conseqüentemente descarregam nas paredes, as quais transmitem os esforços às fundações.

Figura 14 - Ações atuantes em um sistema estrutural tipo caixa



Fonte: Elaboração Própria

2.2.4. Materiais

2.2.4.1. Cimento Portland

Cimento Portland é a nomenclatura conhecida mundialmente do aglomerante hidráulico mais utilizado na construção civil. É um pó fino, com propriedades aglomerantes, o qual endurece ao entrar em contato com a água e, depois de endurecido, mesmo exposto diretamente em contato com a água manterá sua forma pétreia (ABCP, 2002). Segundo Yazigi (2009, p. 227):

Cimento Portland é o produto obtido pela pulverização de clínquer constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfato de cálcio natural, e com eventualmente adição de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego.

As características do cimento Portland podem ser variáveis pela finura, por exemplo, a qual influencia na velocidade de hidratação. O aumento da finura melhora a resistência, reduz a exsudação, melhora a trabalhabilidade, aumenta a coesão e também a impermeabilidade.

O alto grau de finura do cimento também pode aumentar a retração, devido ao aumento da produção de calor de hidratação e também aumentar o consumo de água. As adições originam diferentes tipos de cimento Portland, por isso, o mercado oferece uma diversidade de tipos de cimento, cada um com um tipo de aplicação mais indicado (HELENE, 1992). No Quadro 1 mostra-se os tipos de cimento Portland comercializados no Brasil.

Quadro 1 - Tipos de cimento Portland e suas nomenclaturas (1997)

Nome técnico		Sigla	Classe	Identificação do tipo e classe
Cimento Portland comum (NBR 5732)	Cimento Portland comum	CP I	25	CP I-25
			32	CP I-32
			40	CP I-40
	Cimento Portland comum com adição	CP I-S	25	CP I-S-25
			32	CP I-S-32
			40	CP I-S-40
Cimento Portland composto (NBR 11578)	Cimento Portland composto com escória	CP II-E	25	CP II-E-25
			32	CP II-E-32
			40	CP II-E-40
	Cimento Portland composto com pozolana	CP II-Z	25	CP II-Z-25
			32	CP II-Z-32
			40	CP II-Z-40
Cimento Portland composto com fíler	CP II-E	25	CP II-F-25	
		32	CP II-F-32	
		40	CP II-F-40	
Cimento Portland de alto-forno (NBR 5735)		CP III	25	CP III-25
			32	CP III-32
			40	CP III-40
Cimento Portland pozolânico (NBR 5736)		CP IV	25	CP IV-25
			32	CP IV-32
Cimento Portland de alta resistência inicial (NBR 5733)		CP V-ARI	-	CP V-ARI
Cimento Portland resistente aos sulfatos (NBR 5737)		-	25	Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo RS.
			32	Exemplo:
			40	CP I-32RS, CP II-F-32RS.
Cimento Portland de baixo calor de hidratação (NBR 13116)		-	25	Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo BC.
			32	Exemplo:
			40	CP I-32BC, CP II-F-32BC.
Cimento Portland branco (NBR 12989)	Cimento Portland branco estrutural	CPB	25	CPB-25
			32	CPB-32
			40	CPB-40
	Cimento Portland branco não estrutural	CPB	-	CPB
Cimento para porços petrolíferos (NBR 9831)		CPP	G	CPP - classe G

Fonte: ABCP (2002, p. 18)

No Quadro 2 mostra-se quais tipos de cimento Portland são comercializados e quais as aplicações apropriadas para cada tipo.

Quadro 2 - Aplicação dos diferentes tipos de Cimento Portland

Aplicação	Tipos de cimento portland
Argamassa de revestimento e assentamento de tijolos e blocos	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Argamassa de assentamento de azulejos e ladrilhos	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F) e Pozolânico (CP IV)
Argamassa de rejuntamento de azulejos e ladrilhos	Branco (CPB)
Concreto simples (sem armadura)	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Concreto magro (para passeios e enchimentos)	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Concreto armado com função estrutural	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Concreto protendido com protensão das barras antes do lançamento do concreto	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-Z, CP II-F), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Concreto protendido com protensão das barras após o endurecimento do concreto	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Concreto armado para desforma rápida, curado por aspersão de água ou produto químico	de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI), Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Concreto armado para desforma rápida, curado a vapor ou com outro tipo de cura térmica	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Elementos pré-moldados de concreto e artefatos de cimento curados por aspersão de água	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural) (VER NOTA) (*)
Elementos pré-moldados de concreto e artefatos de cimento para desforma rápida, curados por aspersão de água	de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI), Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Elementos pré-moldados de concreto e artefatos de cimento para desforma rápida, curados a vapor ou com outro tipo de cura térmica	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Pavimento de concreto simples ou armado	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Pisos industriais de concreto	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI)
Concreto arquitetônico	Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Argamassa armada (VER NOTA) (*)	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Solo-Cimento	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Argamassas e concretos para meios agressivos (água do mar e de esgotos)	de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e Resistente a Sulfatos
Concreto-massa	de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e de Baixo Calor de Hidratação
Concreto com agregados reativos	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)

Fonte: ABCP (2002, p. 23-24)

2.2.4.2. Agregados

Agregados são materiais granulares, com forma e volume indefinidos, quase sempre inertes com dimensões e características apropriadas ao uso de obras de engenharia (YAZIGI, 2009).

Os agregados têm a finalidade de transmitir as tensões submetidas ao concreto, minimizar os efeitos da retração que provoca variação volumétrica e diminuir os custos do mesmo. A composição ideal se dá com granulometria contínua, pois proporciona um melhor empacotamento granulométrico (ISAIA, 1988).

Para Helene (1992, p. 226-228) na dosagem do concreto, o fator granulométrico influencia de forma significativa. No caso dos agregados miúdos, as influências decorrem da “[...] granulometria, inchamento, coeficiente de inchamento, umidade crítica, apreciação petrográfica e curvas normatizadas”. Já para os agregados graúdos, os fatores influentes são a “granulometria, dimensão máxima característica, massa específica, apreciação petrográfica e mistura dos agregados graúdos.

2.2.4.3. Concreto

O concreto é o material resultante da mistura de agregados com cimento e água. É possível ser utilizados aditivos químicos ou também minerais, podendo os últimos ser escórias de alto-forno, pozolanas, fileres calcários, microsilica, etc., onde tanto os aditivos químicos quanto os aditivos minerais têm função de melhorar as características do concreto em seu estado fresco e endurecido (ARAÚJO, 2010). Para Yazigi (2009), o concreto deve apresentar as seguintes propriedades básicas:

- Estado fresco:

- a) trabalhabilidade;
- b) não ocorrência de exsudação e segregação;
- c) tempos de início e final de pega.

- Estado endurecido:

- a) resistência adequada aos esforços mecânicos;
- b) impermeabilidade;

c) durabilidade mediante a ações externas.

As características de um concreto endurecido dependem de diversos fatores, como o consumo de cimento por metro cúbico de concreto, a quantidade de água adicionada a mistura, o grau de adensamento, os tipos de agregados e de aditivos, etc. Quanto mais água adicionar à mistura, menor a resistência do concreto, isso ocorre porque toda água excedente às reações de hidratação do cimento, ao evaporar, gera vazios, reduzindo assim a resistência mecânica do mesmo.

O fator água/cimento é um dos fatores considerados na dosagem do concreto, que deve assegurar a plasticidade do mesmo e, após a cura, atingir a resistência considerada no cálculo do projeto estrutural. Para a comprovação da resistência devem ser moldados corpos de prova durante a concretagem conforme o Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone (NBR 7223). No traço, a quantidade de cimento deve ser especificada em peso com relação água/cimento não superior a 0,6 (Yazigi, 2009).

2.2.4.4. Barras de armadura

A armadura que constitui a estrutura é composta por aço, que pode ser obtido diretamente do minério, em seu estado sólido através da redução direta, ou descarbonatando-se o gusa líquido, através do sopro de oxigênio ou ainda refundindo-se a sucata juntamente com o gusa sólido em fornos elétricos a seco. É um material metálico constituído por ferro e carbono. O mesmo é amplamente utilizado na construção civil, por possuir excelentes resultados quando submetido a esforços de resistência à tração e compressão (BAUER, 2011).

Os aços empregados em estruturas de concreto armado no Brasil são normatizados pela NBR 7480 (ABNT, 2007) e são classificados como barras os aços de diâmetro nominal de 5 mm ou superior, obtidos exclusivamente por laminação a quente, e como fios, os com diâmetro nominal de 10 mm ou inferior, obtidos por trefilação ou processo equivalente.

Segundo Yazigi (2009), os aços empregados em edificações de concreto armado podem ser os seguintes:

a) vergalhões;

- b) telas de aço soldado;
- c) fios e cordoalhas para concreto protendido;
- d) barras para concreto protendido;
- e) fibras de aço.

Cada produto requer cuidados básicos nas especificações de projeto, compra e armazenamento. Segundo Yazigi (2009, p. 221), “A verificação da qualidade do aço deve ser feita por intermédio de laboratório especializado [...]”, para assim comprovar as resistências consideradas no dimensionamento da estrutura.

2.2.4.5. Aditivos químicos

Os aditivos químicos são produtos adicionados ao concreto em proporções de até 5% relacionado à massa de cimento, com o objetivo de modificar algumas das suas propriedades no sentido de melhor adequá-lo a determinadas condições de uso e desempenho, podendo ser retardadores ou aceleradores de pega, plastificantes e superplastificantes, etc. Também se sabe que ao adicionar aditivo em um concreto ruim, apenas se obterá um concreto ruim com aditivo, o que indica a necessidade de ter uma dosagem de qualidade para determinada aplicação, primeiro requerendo a obtenção de um bom concreto, e então adicionar aditivos para melhorar sua qualidade e desempenho (ISAIA, 1988).

A NBR 117668 (ABNT, 2011) cita vários tipos de aditivos com diversas aplicações, dentre eles o de maior interesse a esse trabalho são os aditivos superplastificantes, os quais tornam o concreto mais fluido, reduzindo o consumo de água na mistura. Os principais benefícios concedidos ao uso de aditivos são:

- a) alta taxa de redução do consumo de água (até 45%, relação água/cimento em torno de 0,30);
- b) melhor aderência e textura da superfície de concreto;
- c) produção de concretos mais coesivos e ao mesmo tempo trabalháveis;
- d) redução da exsudação;
- e) grande plasticidade e manutenção da mesma no estado fresco.

2.2.4.6. Concreto auto adensável

O concreto auto adensável é obtido através da adição de aditivos químicos e adições minerais, garantindo alta fluidez, facilidade em adentrar em locais com obstáculos e apresenta ótimo desempenho ao inibir a segregação (GOMES, 2011). Na Figura 15, mostra-se a concretagem de uma laje com concreto autoadensável.

Figura 15 - Aplicação de concreto auto adensável



Fonte: Portal Nickavoltz (2013, não paginado)

No caso de concreto para paredes, é importante obter uma boa qualidade superficial de modo a reduzir o acabamento requerido. Nos concretos convencionais vibrados, a responsabilidade pelo acabamento é do elemento operador do vibrador, podendo não haver uniformidade no mesmo painel concretado. Devido suas características, em concretos autoadensáveis é possível produzir um material que atende aos requisitos de acabamento requeridos (PACIOS; BARRAGÁN, 2010). Na Figura 16 ilustra-se um piso produzido com concreto auto adensável, em que pode se observar a qualidade do acabamento atribuído ao mesmo.

Figura 16 - Piso de concreto auto adensável



Fonte: Mendes Lima Engenharia (2013, não paginado)

3. METODOLOGIA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A construção civil exige cada vez mais dos construtores e empreendedores, melhores propostas construtivas, tanto economicamente, quanto em termos de qualidade. Neste capítulo está descrita a forma com que esta pesquisa foi conduzida para análise do sistema de construção com painéis alveolares autoportantes comparando-o com o sistema de alvenaria de blocos.

Como o método construtivo de painéis alveolares não é muito comum devido a questões legais (patente), e dessa forma, o trabalho consistiu em analisar obras de uma construtora do município de Bom Jesus, localizada ao sul do estado do Piauí, a qual trabalha com construções de edificações residenciais e comerciais e têm posse da patente do sistema. Já, para avaliar o método de alvenaria de blocos, o trabalho foi realizado em obras do município de Rodeio Bonito, no norte do estado do Rio Grande do Sul. Foram acompanhadas obras de edificações de pequeno porte, as quais serviram de embasamento para a elaboração da pesquisa.

Nesta pesquisa se fez análise considerando ambos os sistemas a fim de realizar um estudo comparativo entre o sistema de painéis alveolares e o sistema de alvenaria em blocos. No decorrer do trabalho foi abordado o sistema detalhado da forma como os painéis alveolares são concebidos. Para a alvenaria de blocos com estrutura de concreto armado foi descrita a metodologia básica para viabilizar a comparação entre ambos. Para conduzir o trabalho, as etapas serão ordenadas da seguinte forma:

➤ Etapa 1 - Descrição dos sistemas analisados

Descrição do sistema de alvenaria de blocos com a estrutura de concreto armado e do sistema de painéis alveolares estruturais. Diante disso, foi realizada a apresentação do projeto e suas limitações para cada um dos sistemas. Para o sistema de painéis alveolares foi realizado acompanhamento na indústria e na obra, obtendo as informações técnicas necessárias da empresa executora. No sistema de alvenaria de blocos com concreto armado as informações técnicas foram obtidas no referencial teórico pesquisado e também pelo acompanhamento em obra.

➤ Etapa 2 - Comparação dos sistemas

Para a comparação dos sistemas, o acompanhamento em obra se faz de grande relevância. A comparação se fundamentou em avaliar a velocidade de

execução de etapas da edificação. Também foi verificado a mão de obra requerida pelos sistemas, considerando a formação profissional dos trabalhadores e também a necessidade de equipamentos especiais, os quais podem exigir pessoal com experiência e conhecimento suficientes. Foram comparados os canteiros de obras em relação a um tema bastante discutido nos últimos anos, que é a geração de resíduos na construção civil, identificando qual deles têm a menor geração de resíduos e se algum dos sistemas é mais eficiente no destino alternativo dos mesmos.

➤ Etapa 3 - Apresentação dos resultados

Com base nas informações obtidas, foi apresentada a comparação dos dois sistemas de forma a viabilizar a identificação de falhas e excelências. Foram criadas propostas de melhorias ao sistema de painéis alveolares como um todo. Dentre as propostas, estaria o uso de concreto auto adensável para concretagem dos painéis, o qual dispensaria o uso de vibração e proporcionaria melhor acabamento nas faces. Também há a proposta de fazer o uso de concreto colorido nos painéis, o qual pode ser auto adensável e colorido, assim desperdiçando a vibração mecânica, obtendo-se assim um acabamento adequado para determinadas finalidades e eliminando a necessidade de pintura.

3.1. Análise Comparativa

É grande a diversidade dos parâmetros a serem considerados na adoção de um sistema quando se está avaliando a construção de uma futura edificação. Alguns desses inúmeros parâmetros são a amplitude de produção, o padrão de qualidade exigido, a complexidade da edificação, etc. Nesse capítulo, é descrita comparação realizada na pesquisa.

3.1.1. A concepção do projeto arquitetônico

Para cada um dos tipos de sistemas construtivos, o projeto arquitetônico é previamente direcionado ao que será executado, atendendo sempre aos requisitos dos seus usuários, com atenção aos custos de construção e manutenção, tempo de

execução, requisitos de desempenho e segurança e outros fatores inerentes a construção e a própria edificação em seu uso.

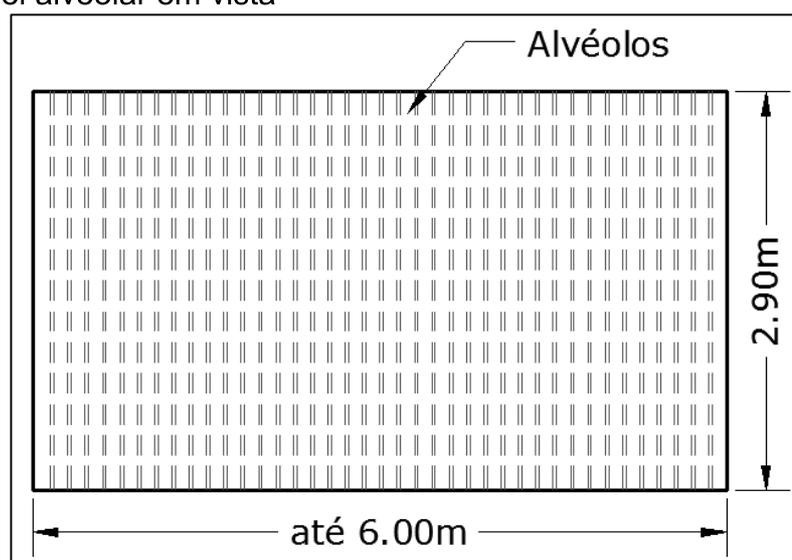
- Alvenaria de blocos com estrutura de concreto armado:

O projeto é realizado sem particularidades rigorosas, sendo esse o sistema mais flexível nesse parâmetro, ou seja, não exige que o projeto se adapte a uma determinada modulação, visto o grande uso de formas geométricas variadas, já que a modelagem com o uso de blocos de dimensões pequenas se dá de maneira facilitada. Normalmente, qualquer tipo de projeto pode ser construído em alvenaria de blocos.

- Painéis alveolares estruturais:

O projeto que se prevê o uso do sistema de painéis pré-fabricados é complexo em relação ao que utiliza alvenaria de blocos. Apesar de ser um sistema modular, o projetista tem bastante flexibilidade ao ajustar as dimensões dos painéis, pois os mesmos têm apenas uma dimensão fixa que é a altura de 2,9 m, porém o comprimento pode ser ajustado em até 6 m. A Figura 17 ilustra um painel alveolar com suas dimensões máximas construídas pelo sistema analisado, considerando edificações de pequeno porte.

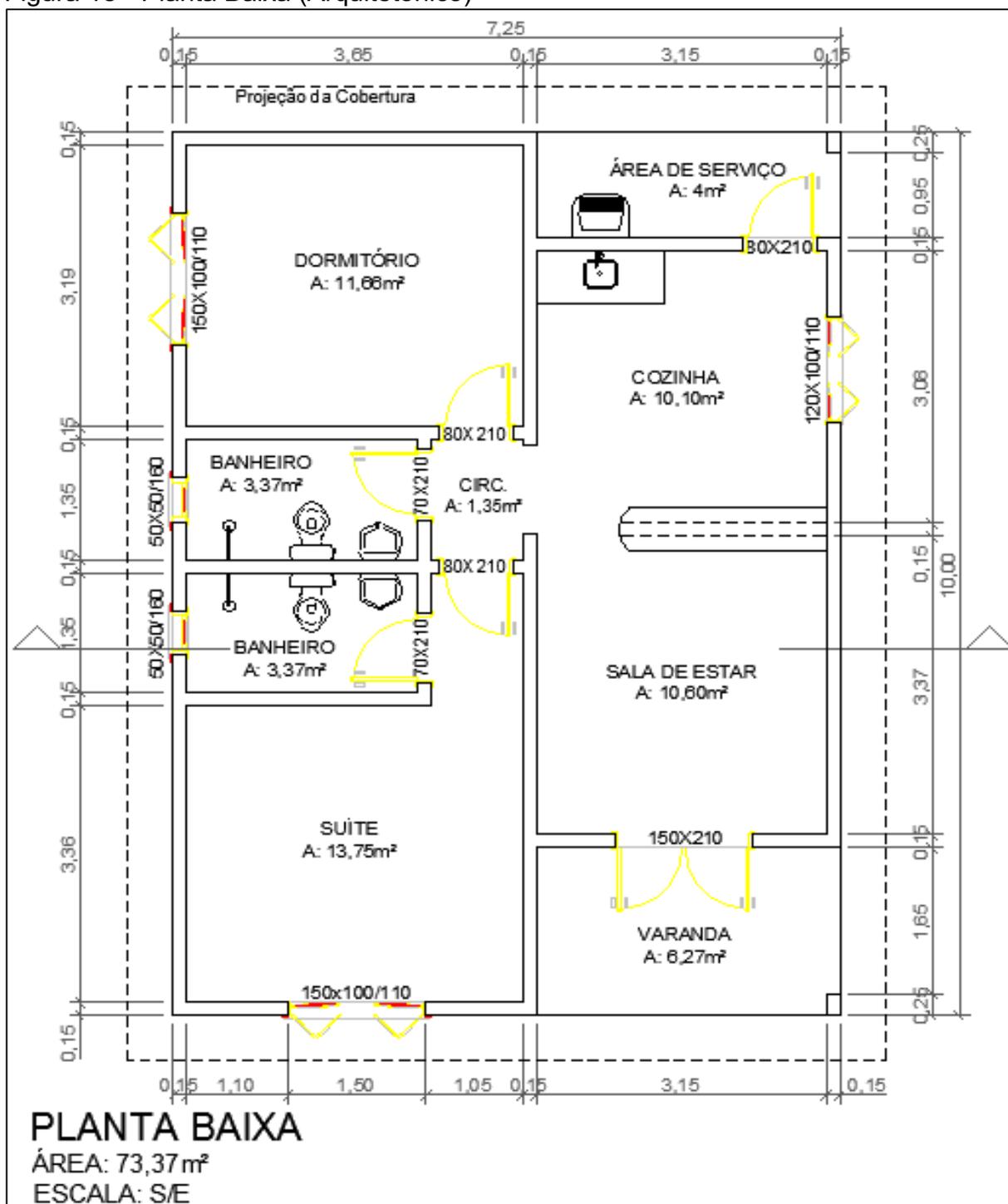
Figura 17 - Painel alveolar em vista



Fonte: Elaboração Própria

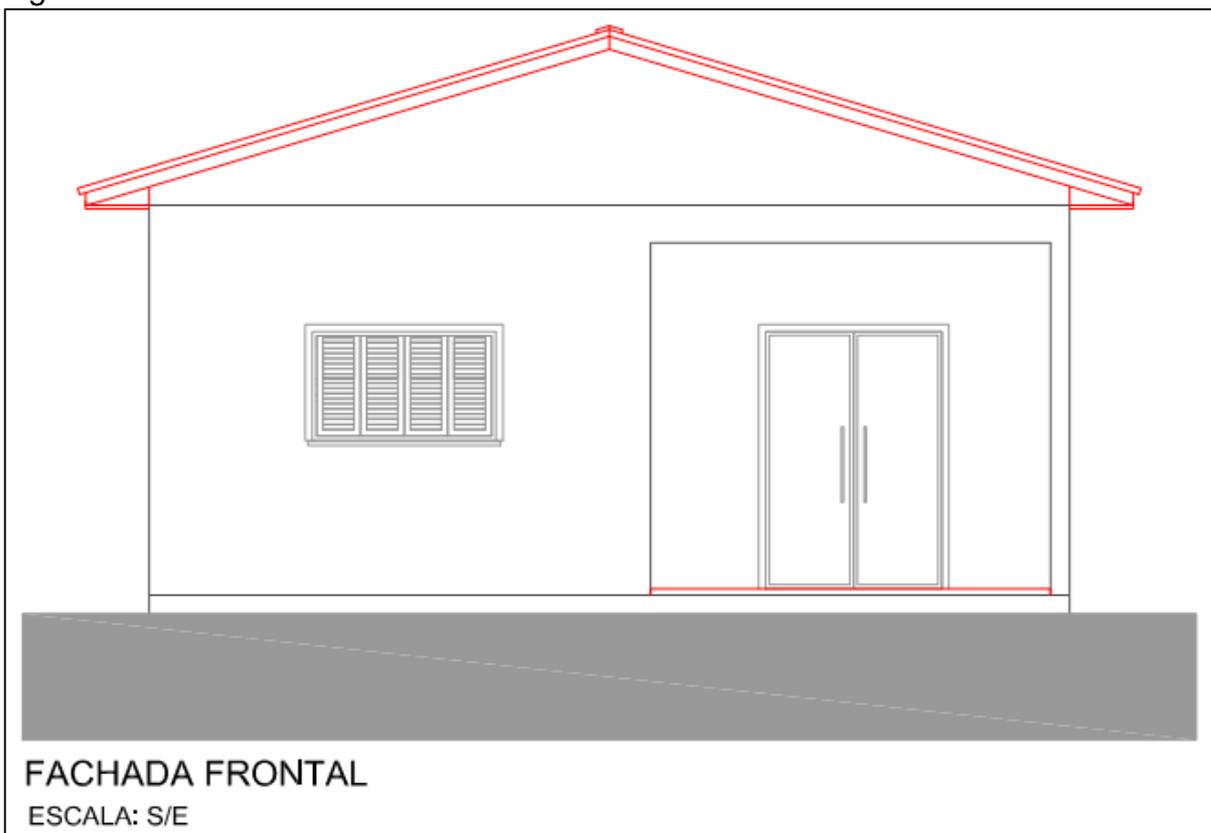
Para elaboração dos orçamentos do item 3.1.9, foi criado um projeto de uma edificação de pequeno porte adaptado aos dois sistemas, o qual possui: sala de estar, cozinha, dormitório, suíte, banheiro, circulação, lavanderia e varanda, totalizando uma área de 73,37m², conforme mostrado na Planta Baixa a seguir. As considerações para os dois sistemas são as mesmas, apenas adequando as suas particularidades construtivas. Na Figura 18 está ilustrada a Planta Baixa do projeto arquitetônico, na Figura 19 está ilustrada a fachada frontal do projeto, na Figura 20 um corte transversal (indicado em planta baixa), ambos do projeto arquitetônico desenvolvido para a elaboração da análise. Na Figura 21, ilustra-se a configuração referente ao sistema de alvenaria de blocos cerâmicos, em que se mostra a locação dos pilares. Na Figura 22 mostra-se a modulação do sistema de painéis alveolares com pilares de união.

Figura 18 - Planta Baixa (Arquitetônico)



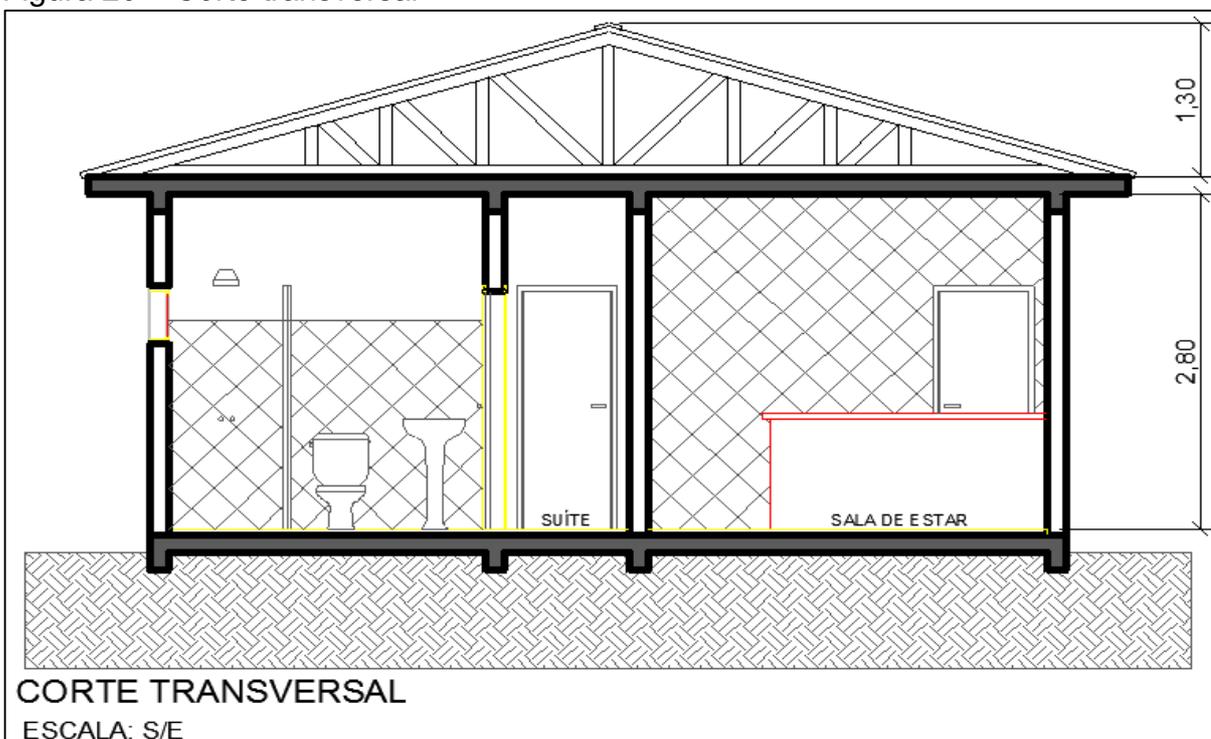
Fonte: Autoria própria

Figura 19 - Fachada frontal



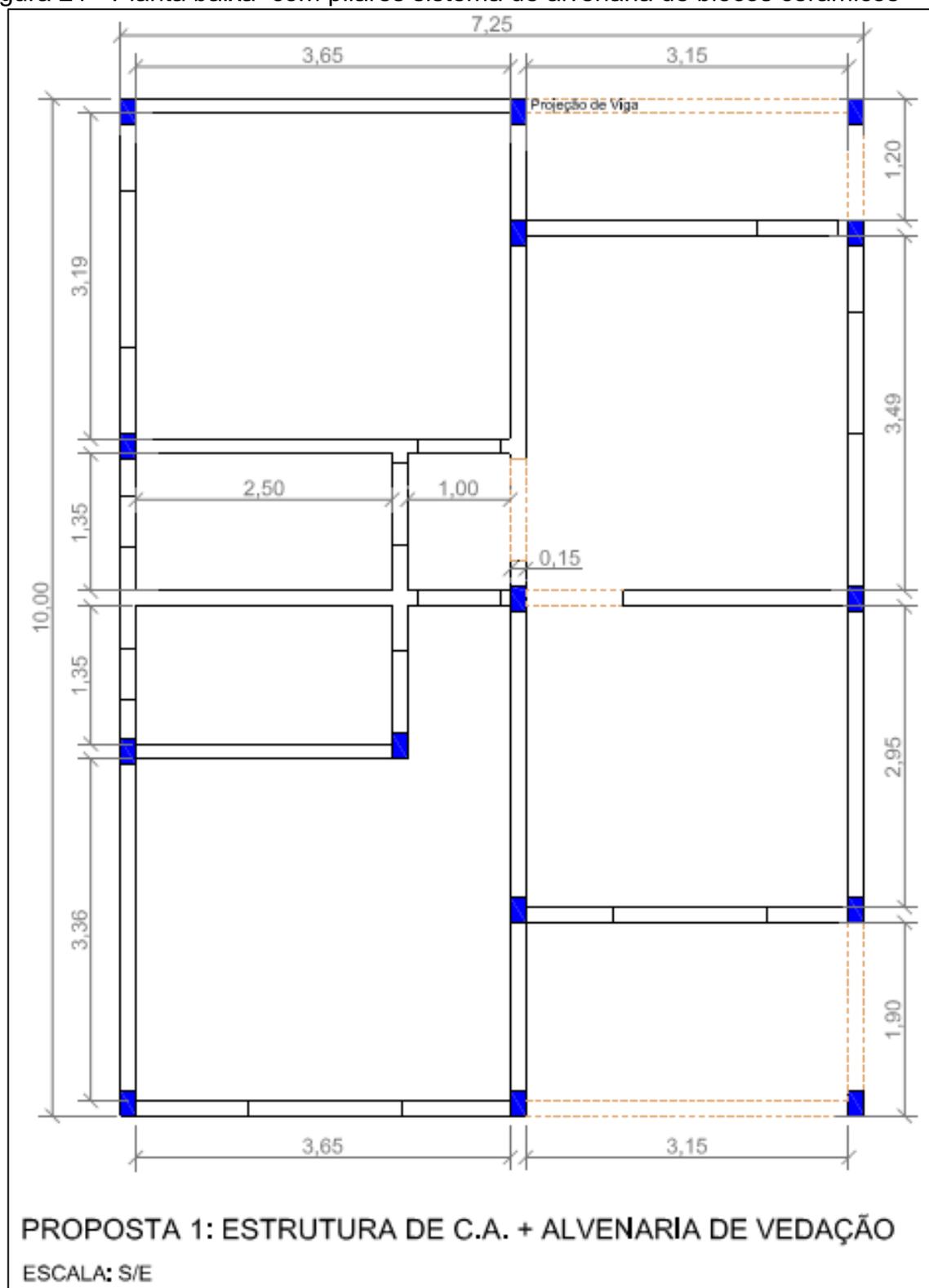
Fonte: Autoria própria

Figura 20 – Corte transversal



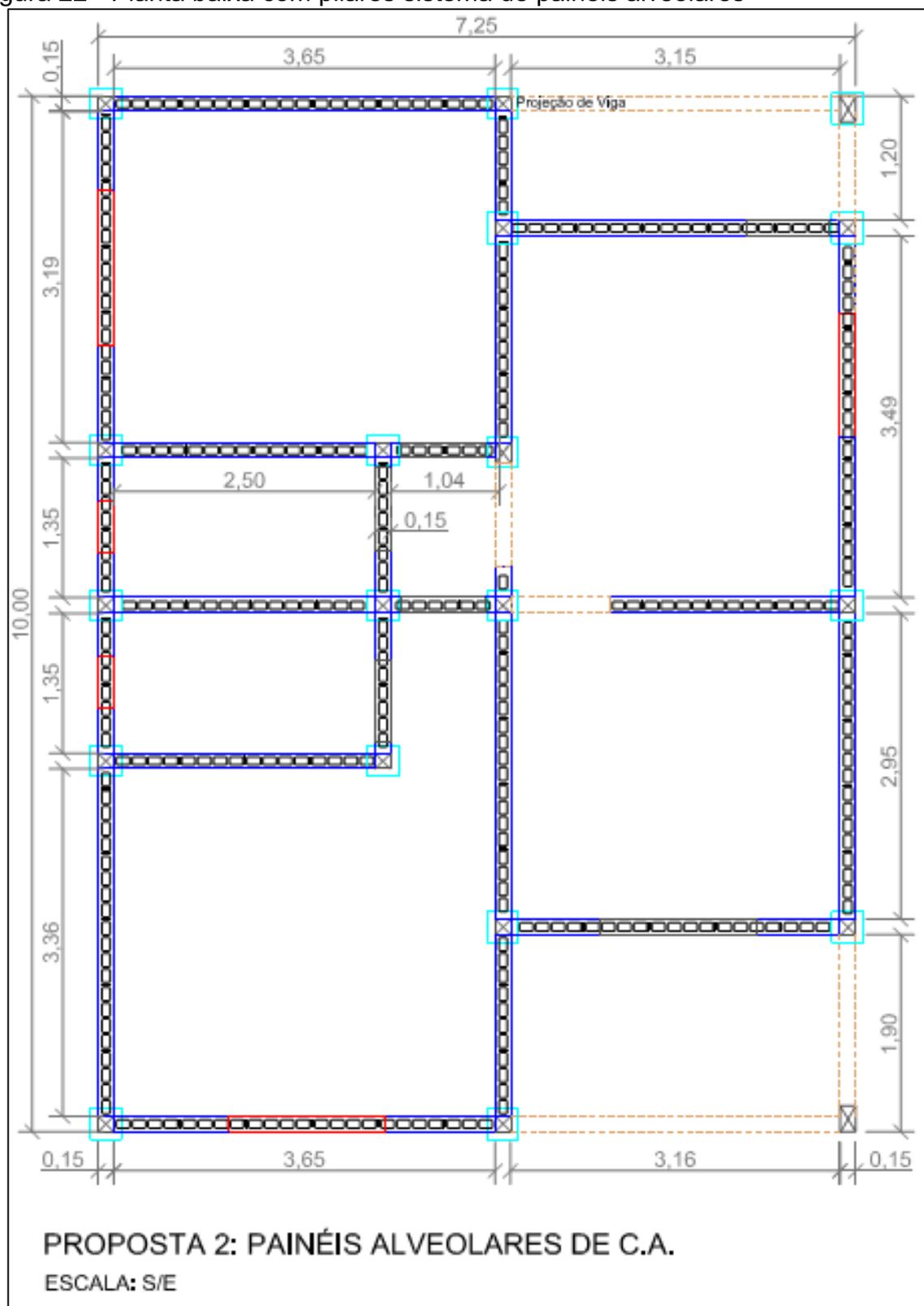
Fonte: Autoria própria

Figura 21 - Planta baixa com pilares sistema de alvenaria de blocos cerâmicos



Fonte: Autoria própria

Figura 22 - Planta baixa com pilares sistema de painéis alveolares



Fonte: Autoria própria

3.1.2. Canteiro de obras

- Alvenaria de blocos com estrutura de concreto armado:

O canteiro de obras deve conter espaço físico suficiente para armazenagem dos materiais e instalação dos equipamentos que estão sendo utilizados na construção da edificação, sendo os principais: areia, brita, blocos, ferragem, cimento, betoneira, entre outros, os quais estão em locais adequados e que facilitam a utilização. Na Figura 18 está ilustrado o canteiro de obras da construção de uma edificação no sistema de alvenaria de blocos com estrutura de concreto armado.

Figura 23 - Canteiro de obras convencional



Fonte: Elaboração Própria

- Painéis alveolares estruturais:

A produção dos painéis alveolares ocorre em uma fábrica, por isso não se pode deixar de tratar sobre a mesma, pois é onde ocorre uma importante etapa na produção dos painéis e releva a diferença entre os sistemas.

A fábrica mesma dispõe de fôrmas, equipamento para adensamento do concreto, betoneira e todos os outros materiais necessários para a fabricação das peças. O canteiro de obras contém espaço físico suficiente para a manobra de caminhão Munck e respectivo içamento das peças. Deve existir uma previsão de sequência para a montagem das partes da edificação, principalmente em casos que o espaço físico seja limitado. Na Figura 19 está ilustrada a fábrica onde são produzidos os painéis alveolares para, posteriormente, serem transportados a obra.

Figura 24 - Fábrica dos painéis alveolares



Fonte: Elaboração Própria

Para casos que há uma grande concentração de obras localizadas distante da fábrica (mais de 30Km) ou difícil acesso, é possível instalar a fábrica no próprio canteiro de obras, pois as fôrmas podem ser transportadas pelo mesmo caminhão que transporta os painéis alveolares. Se necessária, essa mudança deve ser considerada no orçamento e planejamento da obra.

O canteiro de obras do sistema de painéis alveolares não demanda grande espaço para armazenamento de materiais de construção, exceto os materiais de acabamento, cobertura e instalações, já que os painéis chegam prontos na obra e são montados na sequência. Na Figura 20 está ilustrado o canteiro de obras da construção de uma edificação no sistema de painéis alveolares estruturais pré-fabricados.

Figura 25 - Canteiro de obras sistema pré-fabricado com painéis alveolares



Fonte: Elaboração Própria

3.1.3. Execução do sistema

As edificações são construídas em etapas, sendo que algumas podem ser executadas simultaneamente. Analisa-se que o sistema de painéis alveolares está em vantagem com relação ao sistema de alvenaria de blocos cerâmicos, pois algumas das etapas que mais demandam tempo na execução de uma edificação podem ser executadas concomitantemente, tornando o andamento da obra relativamente mais rápido. Na Tabela 1, está apresentada uma relação das etapas de uma obra, indicando quais podem ser executadas simultaneamente em cada sistema. Destaca-se o sistema de painéis alveolares ao proporcionar a realização das etapas de pilares, vigas e paredes de forma simultânea.

Quadro 3 - Divisão de etapas da construção

Atividade	Sistema	
	Alvenaria de blocos cerâmicos	Painéis alveolares
Limpeza do terreno	Etapa 1	Etapa 1
Fundações	Etapa 2	Etapa 2
Baldrame	Etapa 3	Etapa 3
Pilares	Etapa 4	Etapa 4
Vigas	Etapa 5	Etapa 4
Paredes	Etapa 6	Etapa 4
Cobertura	Etapa 7	Etapa 5
Instalações	Etapa 7	Etapa 5
Revestimentos	Etapa 8	Etapa 6
Esquadrias	Etapa 8	Etapa 6
Acabamento	Etapa 9	Etapa 7
Pintura	Etapa 10	Etapa 8
Limpeza do canteiro de obras	Etapa 10	Etapa 8

Fonte: Elaboração Própria

3.1.4. Fôrmas e ligações

- Alvenaria de blocos com estrutura de concreto armado:

As fôrmas geralmente são constituídas em madeira natural ou compensadas e suas dimensões são ajustadas às seções das vigas e pilares. A Figura 21 ilustra as fôrmas de pilares e vigas e também o escoramento para as lajes. Neste sistema, as ligações entre as partes da estrutura de concreto armado ocorrem durante a

concretagem das mesmas, tornando assim uma estrutura monolítica, pois são moldadas na própria obra, conforme mostra a Figura 22, em que está sendo realizada a concretagem da laje e vigas.

Figura 26 - Fôrmas para pilares, vigas e lajes



Fonte: Autoria própria

Figura 27 - Concretagem de lajes e vigas



Fonte: Autoria própria

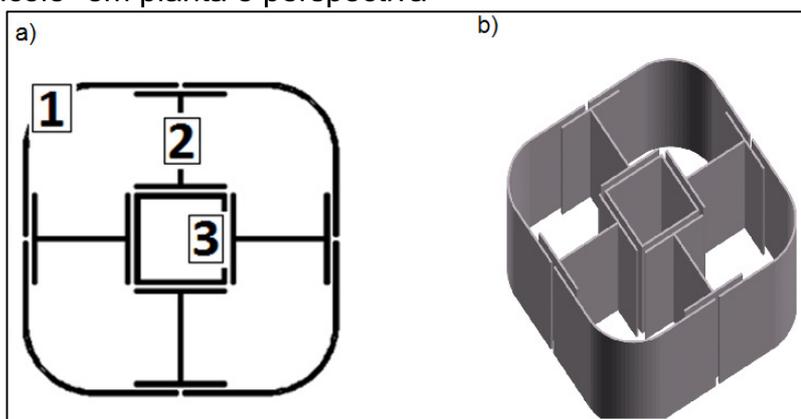
- Painéis alveolares estruturais:

As fôrmas para o sistema de painéis pré-fabricados são apoiadas sobre uma base em concreto, sendo composta por moldes metálicos com acabamento lizo, e as mesmas são reutilizadas diversas vezes, reduzindo assim o custo e tempo de produção. O cuidado com a qualidade e limpeza das fôrmas é redobrado, pois todas as imperfeições da mesma ficam registradas no concreto.

No sistema de painéis alveolares, os alvéolos são produzidos com o auxílio dos “picolés” (termo empregado ao sistema utilizado durante a concretagem). Na Figura 23 está mostrado um esquema dos “picolés”, que são constituídos por nove

perfis metálicos, esse formato é devido à intenção de facilitar a desforma, sendo que as mesmas ficam apenas encaixadas para posterior remoção. Todas as chapas são envolvidas por um papel filme e assim elas não ficam aderidas ao concreto. Para iniciar o processo de desforma, retira-se o perfil quadrado (Figura 23) do centro da peça, o qual está envolvido com graxa, e posteriormente os restantes dos perfis se soltam e podem ser retirados com bastante facilidade.

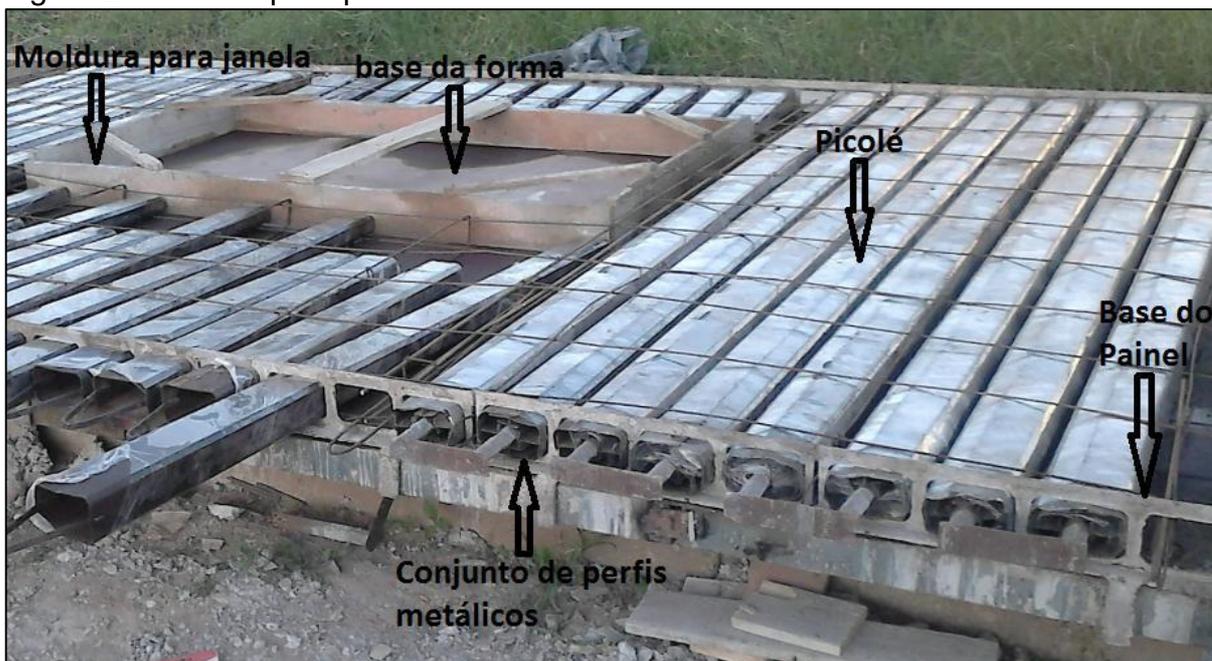
Figura 28 - "Picolé" em planta e perspectiva



Fonte: Autoria própria

A Figura 24 mostra a fôrma metálica utilizada na moldagem dos painéis alveolares. Pode-se observar a moldura metálica na base e no topo do painel, as molduras em madeira no início e fim da parede e na abertura para a esquadria. Também, no interior da placa estão os picolés, que são os responsáveis pela formação dos alvéolos durante a concretagem.

Figura 29 - Fôrma para painel alveolar



Fonte: Autoria própria

A concretagem é realizada em concreto convencional, em que o mesmo é produzido em betoneira, espalhado e vibrado para proporcionar um adensamento satisfatório. Na Figura 25 mostra-se um painel recentemente concretado, a face superior é a que receberá acabamento uma camada de emboço para regularização e a face inferior apenas massa corrida.

Figura 30 - Produção de painel alveolar



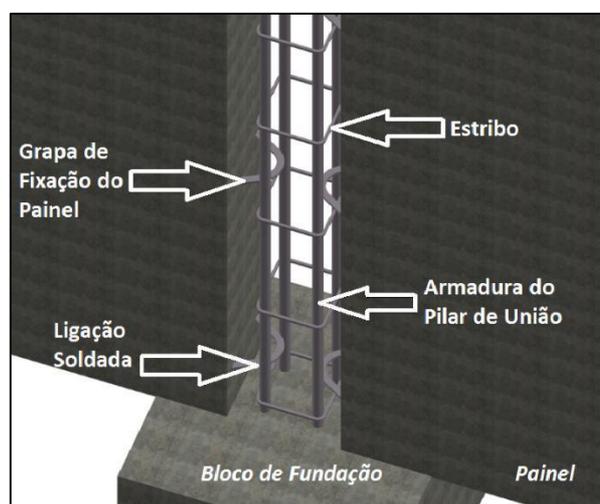
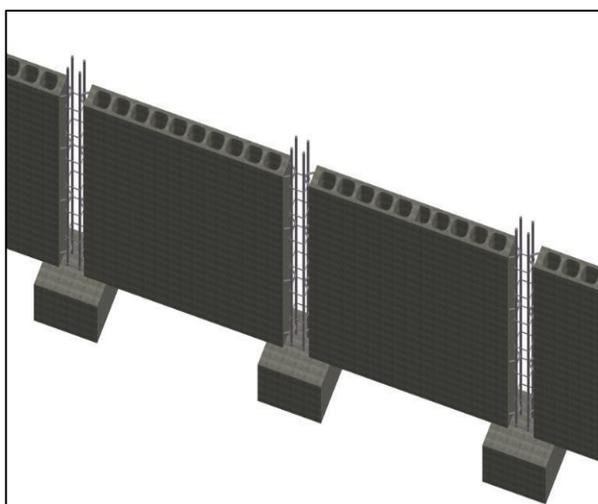
Fonte: Autoria própria

O sistema de painéis alveolares passa pelo processo de montagem, a ligação realizada no encontro dos painéis ocorre com o uso de um pilar de união nos painéis parede e viga de união nas lajes, sendo que nos painéis há uma armadura de espera, a qual é soldada com a armadura do pilar e/ou viga de união e posteriormente concretado, proporcionando rigidez à estrutura. Na Figura 26 é mostrada como funciona a realização da soldagem.

Figura 31 - Ligação do pilar de união ao painel alveolar.

a) Painéis alveolares sobre blocos de fundação com armadura dos pilares de união

b) Detalhamento da ligação nos pilares de união.



Fonte: Autoria própria

3.1.5. Viga baldrame

- Alvenaria de blocos com estrutura de concreto armado:

No sistema de alvenaria de blocos é necessária a utilização de vigas baldrames, as quais interligam os pilares da edificação, e sobre elas são assentados os blocos que constituem as paredes. Esses blocos, com função de vedação ou fechamento, distribuem os esforços de maneira uniforme sobre a viga no qual estão assentados. Na Figura 27 ilustra-se uma edificação em construção na fase de concretagem dos pilares, em que as vigas baldrames já foram concretadas e desformadas.

Figura 32 - Vigas baldrame



Fonte: Autoria própria

- Painéis alveolares estruturais:

Para os painéis alveolares, é dispensado o uso de viga baldrame, assim, as paredes aplicam seus esforços apenas nas suas extremidades e de forma concentrada, por essa razão o bloco de fundações tem dimensões mínimas de (35x35) cm para acomodar o pilar de união e as paredes que chegam até este. Os blocos de fundação estão ilustrados na Figura 28, a qual pode ser visto uma obra em seu estado inicial.

Figura 33 - Blocos de fundação com paredes apoiadas



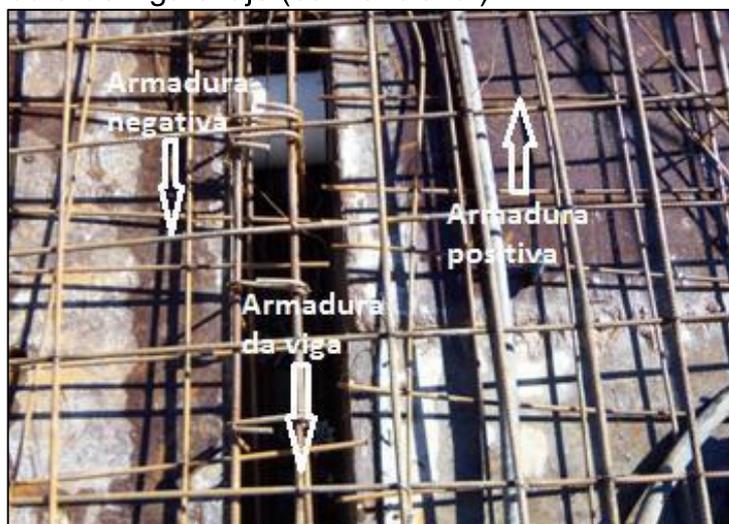
Fonte: Autoria própria

3.1.6. Armadura

- Alvenaria de blocos com estrutura de concreto armado:

Como visto na unidade de concepção estrutural (item 2.2.3), o sistema convencional dissipa as tensões de tração e de compressão apenas na estrutura de concreto armado, a qual é composta por lajes, vigas e pilares. Assim sendo, a armadura está localizada apenas nestes elementos e em geral, possui as configurações mostradas na Figura 29.

Figura 34 - Armadura de viga e laje (convencional)

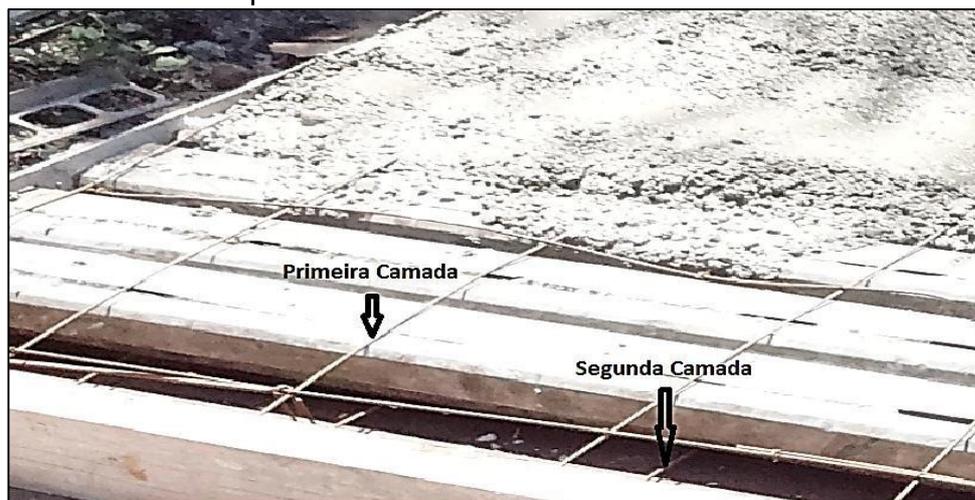


Fonte: Autoria própria

- Painéis alveolares estruturais:

A armadura utilizada nos painéis é aplicada nas lajes, paredes e pilares de união, é distribuída uniformemente de forma cruzada e disposta em duas camadas (nas laterais) do painel como se pode observar na Figura 30. Existem reforços nas regiões correspondentes às vergas e contra-vergas a fim de dissipar a concentração de tensões imposta a esses. Nos painéis alveolares pré-fabricados não há diferenciação entre a disposição da armadura em lajes ou paredes, apenas na seção das armaduras, como a laje trabalha na flexão, ao receber carregamento, gera um momento fletor superior aos esforços de içamento. Para os pilares de união a armadura é disposta da mesma forma que o sistema convencional.

Figura 35 - Armadura de painel alveolar



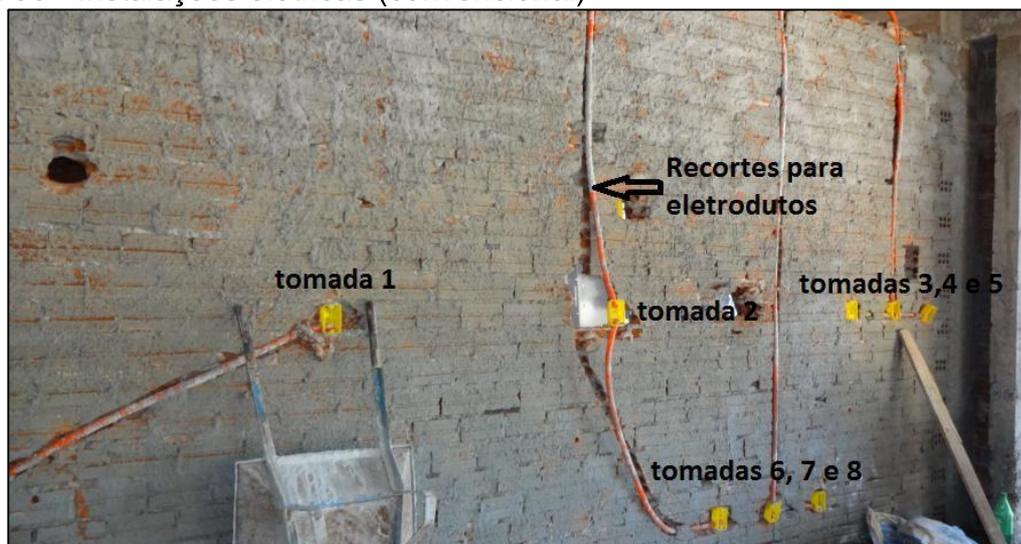
Fonte: Autoria própria

3.1.7. Instalações

- Alvenaria de blocos com estrutura de concreto armado:

No sistema de alvenaria de blocos cerâmicos quando se quer evitar instalações aparentes é necessário efetuar rasgos nas paredes para acomodar as instalações elétricas, de rede lógica e hidrossanitárias, como está ilustrado na Figura 31.

Figura 36 - Instalações elétricas (convencional)



Fonte: Autoria própria

- Painéis alveolares estruturais:

No caso de edificações com painéis alveolares, as instalações estão inseridas nos alvéolos presentes nas peças, sendo necessários rasgos apenas na localização específica de saída do ponto, conforme ilustrado na Figura 32, evitando de maneira significativa a geração de resíduos e aumentando a produtividade da mão de obra.

Figura 37 - Instalações elétricas (painéis alveolares)



Fonte: Autoria própria

3.1.8. Revestimentos

- Alvenaria de blocos com estrutura de concreto armado:

Na alvenaria de blocos o revestimento das paredes é aplicado em etapas, primeiro aplica-se o chapisco, com uma espessura média de 5 mm em seguida o reboco paulista, com espessura média de 20 mm. O revestimento é aplicado em ambas às faces (interna e externa) das paredes e na face interna das lajes. Nas Figuras 33 e 34 estão representados o chapisco e o reboco Paulista aplicados sobre a alvenaria de blocos cerâmicos.

Figura 38 - Chapisco - sistema de alvenaria de blocos



Fonte: Autoria própria

Figura 39 - Reboco Paulista



Fonte: Autoria própria

- Painéis alveolares estruturais:

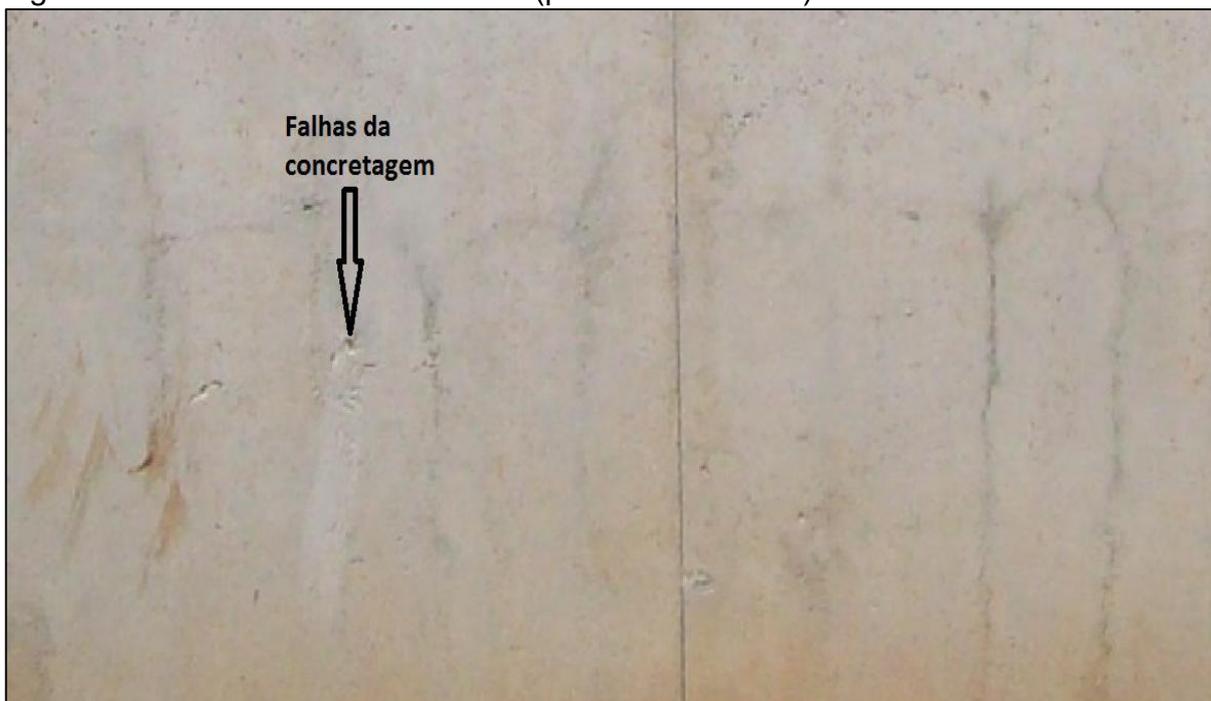
Para o revestimento de construções com painéis alveolares o revestimento é simples, sendo que, na face interna é necessária apenas a aplicação de massa corrida para corrigir imperfeições causadas pela formação de bolhas de ar durante a concretagem, e correção de danos causados na montagem e/ou transporte, e na face externa, é realizado acabamento irregular ainda na fábrica facilitando a aderência do reboco, com espessura média de 0,5 mm, dispensando o chapisco e o emboço. Essa camada é responsável pela impermeabilização, pela proteção adequada às intempéries e pela perfeita regularização das juntas entre painéis nos pilares de união. Nas Figuras 35 e 36 estão apresentadas as duas faces dos painéis alveolares, onde se percebe que o acabamento do painel em sua face interna é melhor, apenas necessitando de pequenos reparos em falhas ocasionadas na concretagem, já a face externa demanda uma camada de emboço, devido à necessidade do uso de pilar de união, aplica-se o reboco em toda a face para unificar os painéis.

Figura 40 - Acabamento face externa (painéis alveolares)



Fonte: Autoria própria

Figura 41 - Acabamento face interna (painéis alveolares)



Fonte: Autoria própria

3.1.9. Custos

Uma das principais formas de avaliar a viabilidade e posterior escolha de um método construtivo é a comparação entre os custos existentes quando o empreendimento é construído por sistemas diferenciados.

Para o comparativo de custos foi elaborado orçamento com base nas composições do SINAPI (Porto Alegre, Janeiro de 2013).

A análise de custos de não se fundamentou em instalações elétricas e hidrossanitárias, apesar de as mesmas também apresentarem diferenças entre os sistemas, já que o sistema de painéis elimina a necessidade de rasgos nas paredes para instalações, a redução seria no consumo de material, geração de resíduos e hora/homem.

- Alvenaria de blocos com estrutura de concreto armado:

Na Tabela 1 está apresentado orçamento considerando o sistema de alvenaria de blocos cerâmicos com estrutura em concreto armado.

Tabela 1 - Orçamento (alvenaria de blocos cerâmicos)

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UNID.	QUANT.	PREÇOS (R\$)		TOTAL (R\$)	PESO (%)
				PREÇO	PREÇO		
				UNITÁRIO	SERVIÇO		
1.0	SERVIÇOS INICIAIS					1,409.24	2.44
1.1	Entrada de energia monofásica completa	un	1.00	764.30	764.30		
1.2	Entrada de água completa	un	1.00	180.51	180.51		
1.3	Locação da obra	m²	73.37	6.33	464.43		
2.0	FUNDAÇÕES					1,445.76	2.51
2.1	Escavação manual	m³	2.82	19.41	54.74		
2.2	Camada de brita 2cm	m²	0.15	63.00	9.45		
2.3	Concreto magro e= 4 cm	m³	0.24	335.41	80.50		
2.4	Sapatas em concreto armado fck 20MPa	m³	1.21	1,075.27	1,301.08		
3.0	VIGAS BALDRAME					3,399.50	5.89
3.1	Escavação manual de vala	m³	3.18	19.41	61.75		
3.2	Camada de brita 2cm	m²	0.25	63.00	15.75		
3.3	Formas em madeira para vigas baldrame	m²	19.60	25.64	502.54		
3.4	Concreto armado fck 20 Mpa	m³	2.24	1,075.27	2,408.60		
3.5	Impermeabilização	m²	7.50	54.78	410.85		
4.0	SUPRA ESTRUTURA					12,149.39	21.05
4.1	Formas em madeira para vigas e pilares	m²	42.00	25.64	1,076.88		
4.2	Escoramento Lajes pré-moldada	m²	90.74	17.62	1,598.84		
4.3	Pilares em concreto armado fck 20 MPa	m³	1.53	1,075.27	1,645.16		
4.4	Vigas de cobertura concreto armado fck 20 MPa	m³	2.64	1,075.27	2,838.71		
4.5	Laje pré-moldada	m²	90.74	54.99	4,989.79		
5.0	PAREDES					6,395.44	11.08
5.1	Alvenaria de blocos cerâmicos (9x14x19)	m²	163.65	39.08	6,395.44		
6.0	COBERTURA					5,804.64	10.06
6.1	Estrutura em Madeira	m²	90.74	33.19	3,011.66		
6.2	Telhas de fibrocimento e= 8mm	m²	90.74	30.78	2,792.98		
7.0	PISO					3,668.94	6.36
7.1	Regularização de aterro	m³	14.67	19.41	284.74		
7.2	Camada de brita 2cm	m³	1.46	63.00	91.98		
7.3	Piso e contrapiso em concreto	m²	58.80	55.99	3,292.21		
8.0	REVESTIMENTOS					13,051.56	22.61
8.1	Chapisco	m²	418.04	4.01	1,676.34		
8.2	Reboco Paulista e=2 cm	m²	418.04	17.46	7,298.98		
8.3	Cerâmica (paredes) banheiro, cozinha e serviço	m²	36.17	21.39	773.68		
8.4	Cerâmica (piso)	m²	73.37	21.75	1,595.80		
8.5	Massa corrida paredes internas e laje	m²	330.13	5.17	1,706.77		
9.0	ESQUADRIAS					5,348.60	9.27
9.1	Portas em madeira compensada 70X210 e=3cm	pç	2.00	282.08	564.16		
9.2	Portas em madeira compensada 80X210 e=3cm	pç	2.00	285.32	570.64		
9.3	Porta em madeira 150X210 (duas folhas) e=3cm	pç	1.00	847.05	847.05		
9.4	Porta em madeira 80X210 e=3cm	pç	1.00	300.97	300.97		
9.5	Janelas basculante em alumínio com veneziana	m²	0.50	508.69	254.35		
9.6	Janelas de correr em alumínio com veneziana	m²	4.20	669.39	2,811.44		
10.0	INSTALAÇÕES					1,064.34	1.84
10.1	Vaso sanitário WC	un	2.00	243.48	486.96		
10.2	Lavatório WC	un	2.00	192.88	385.76		
10.3	Tanque	un	1.00	191.62	191.62		
11.0	PINTURA					3,887.46	6.74
11.1	Pinturas interna externa paredes e lajes	m²	381.87	9.54	3,643.04		
11.2	Pintura de portas de madeira	m²	20.20	12.10	244.42		
12.0	SERVIÇOS COMPLEMENTARES					88.04	0.15
12.1	Limpeza final da obra	m²	73.37	1.20	88.04		
TOTAL:						57,712.92	100.00

Fonte: Autoria própria

● Painéis alveolares estruturais:

Na Tabela 2 está apresentado orçamento considerando o sistema de painéis alveolares.

Tabela 2 - Orçamento do sistema de painéis alveolares estruturais

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UNID.	QUANT.	PREÇOS (R\$)		TOTAL (R\$)	PESO (%)
				PREÇO UNITÁRIO	PREÇO SERVIÇO		
1.0	SERVIÇOS INICIAIS					1,409.24	2.89
1.1	Entrada de energia monofásica completa	un	1.00	764.30	764.30		
1.2	Entrada de água completa	un	1.00	180.51	180.51		
1.3	Locação da obra	m²	73.37	6.33	464.43		
2.0	FUNDAÇÕES					1,445.76	2.96
2.1	Escavação manual	m³	2.82	19.41	54.74		
2.1	Camada de brita 2cm	m²	0.15	63.00	9.45		
2.3	Concreto magro e= 4 cm	m³	0.24	335.41	80.50		
2.4	Sapatas em concreto armado fck 20MPa	m³	1.21	1,075.27	1,301.08		
3.0	BALDRAME					1,838.53	3.77
3.1	Escavação manual de Vala	m³	3.18	19.41	61.75		
3.2	Camada de brita 2cm	m²	0.25	63.00	15.75		
3.3	Alvenaria de blocos maciços	m³	6.73	95.17	640.49		
3.4	Impermeabilização	m²	7.50	54.78	410.85		
3.5	Blocos em concreto armado para assentar os painéis	m²	0.66	1,075.27	709.68		
4.0	SUPRA ESTRUTURA					8,385.97	17.20
4.1	Pilares de união em concreto armado fck 20 MPa	m³	1.53	1,075.27	1,645.16		
4.2	Vigas de união em concreto armado fck 20 MPa	m³	0.88	1,075.27	946.24		
4.3	Laje alveolar	m²	90.74	58.69	5,325.53		
4.4	Caminhão Munck para montagem das lajes	H	3.04	154.29	469.04		
5.0	PAREDES					9,573.26	19.63
5.1	Painéis alveolares	m²	163.65	49.69	8,131.77		
5.2	Caminhão Munck para montagem dos painéis	H	6.48	154.29	999.80		
5.3	Escoramento dos painéis	m²	73.37	6.02	441.69		
6.0	COBERTURA					5,804.64	11.90
6.1	Estrutura em Madeira	m²	90.74	33.19	3,011.66		
6.2	Telhas de fibrocimento e= 8mm	m²	90.74	30.78	2,792.98		
7.0	PISO					3,668.94	7.52
7.1	Regularização de aterro	m³	14.67	19.41	284.74		
7.2	Camada de brita 2cm	m³	1.46	63.00	91.98		
7.3	Piso e contrapiso em concreto	m²	58.80	55.99	3,292.21		
8.0	REVESTIMENTOS					6,254.35	12.82
8.1	Reboco	m²	163.65	10.42	1,705.23		
8.2	Arremates na união dos painéis	m²	16.36	12.58	205.81		
8.3	Reparos com elastomero	m²	4.66	57.31	267.06		
8.4	Cerâmica (paredes) banheiro, cozinha e serviço	m²	36.17	21.39	773.68		
8.5	Cerâmica (piso)	m²	73.37	21.75	1,595.80		
8.6	Massa corrida paredes internas e laje	m²	330.13	5.17	1,706.77		
9.0	ESQUADRIAS					5,348.60	10.97
9.1	Portas em madeira compensada 70X210 e=3cm	pç	2.00	282.08	564.16		
9.2	Portas em madeira compensada 80X210 e=3cm	pç	2.00	285.32	570.64		
9.3	Porta em madeira 150X210 (duas folhas) e=3cm	pç	1.00	847.05	847.05		
9.4	Porta em madeira 80X210 e=3cm	pç	1.00	300.97	300.97		
9.5	Janelas basculante em alumínio com veneziana	m²	0.50	508.69	254.35		
9.6	Janelas de correr em alumínio com veneziana	m²	4.20	669.39	2,811.44		
10.0	INSTALAÇÕES					1,064.34	2.18
10.1	Vaso sanitário WC	un	2.00	243.48	486.96		
10.2	Lavatório WC	un	2.00	192.88	385.76		
10.3	Tanque	un	1.00	191.62	191.62		
11.0	PINTURA					3,887.46	7.97
11.1	Pinturas interna e externa paredes e lajes	m²	381.87	9.54	3,643.04		
11.2	Pintura de portas de madeira	m²	20.20	12.10	244.42		
12.0	SERVIÇOS COMPLEMENTARES					88.04	0.18
12.1	Limpeza final da obra	m²	73.37	1.20	88.04		
TOTAL:						48,769.13	100.00

Fonte: Autoria própria

Os valores obtidos nos orçamentos são de grande relevância na comparação, pois a diferença obtida foi significativa, sendo que para o sistema de alvenaria de blocos cerâmicos, foi obtido um montante de R\$ 57.720,92, resultando em um custo por área de R\$ 786,71/m². Já para os painéis alveolares foi obtido um montante de R\$ 48.769,13, o que resulta em R\$ 664,70/m². A diferença de R\$ 122,01/m² representa uma variação 18% (R\$ 8.951,79) mais barata à construção no sistema de painéis alveolares.

A Tabela 3 apresenta a discrepância das etapas mais relevantes do orçamento, destacam-se principalmente as paredes e os revestimentos, os quais apresentam grande variação nos custos, diferença essa devida a sistemática de industrialização dos painéis alveolares.

Tabela 3 – Relação da proporção de custos das principais etapas

Descrição	Sistema de alvenaria de blocos cerâmicos (%)	Sistema de painéis alveolares (%)	Diferença (%)
Supra estrutura	21.05	17.2	3.85
Paredes	11.08	19.63	8.55
Revestimentos	20.81	12.82	7.99

Fonte: Autoria própria

3.1.10. Mão de obra e equipamentos especiais e velocidade de execução

Para comparar a velocidade de execução dos sistemas analisados foram obtidos dados referente a demanda de hora/homem para as principais atividades do canteiro de obra. Na comparação do tempo de execução, foi adotado um número de 5 trabalhadores e uma jornada de 8 horas diárias. Os valores de consumo de mão de obra foram obtidos no TCPO (2008) e os de custo de mão de obra do SINAPI (Janeiro de 1014).

O tipo de mão de obra influencia na qualidade final do serviço e no também no tempo de execução. Para o sistema de alvenaria de blocos é simples encontrar mão de obra, pois é mais comum encontrar profissionais com experiência na área e esta possibilita com maior facilidade que os colaboradores sejam contratados por produtividade, o que muitas vezes representa um montante maior que o próprio salário.

A mão de obra para construção com painéis não é encontrada com tanta facilidade como o método convencional, pois o sistema é pouco difundido no Brasil. Geralmente, o construtor é quem oferece treinamento aos colaboradores sobre a montagem e os cuidados que devem ser tomados relacionados à segurança.

Quanto aos equipamentos especiais necessários, para ambos os sistemas são basicamente os mesmos equipamentos, porém o sistema de painéis alveolares necessita de equipamento para a montagem da edificação, sendo utilizado para o mesmo caminhão Munck, o qual acarreta acréscimo de custos à obra devendo sempre o mesmo ser previsto em orçamento.

- Alvenaria de blocos com estrutura de concreto armado:

O processo de execução de obras de pequeno porte no sistema de alvenaria de blocos cerâmicos é relativamente lento, pois é necessário aguardar certas etapas para poder prosseguir com outras, por exemplo, a desforma da estrutura só pode ser realizada depois de passado o tempo de cura do concreto. As paredes são construídas e após isto deve ser realizado chapisco e reboco nas duas faces e para as instalações, é necessário fazer recortes nas paredes, tudo isso entre outros fatores que acabam deixando o sistema lento.

Na Tabela 4 estão apresentados os valores demandados de hora/homem para a execução das principais etapas da construção e os respectivos custos.

Tabela 4 - Consumo e custo de hora/homem por etapa do sistema de alvenaria de blocos cerâmicos

Alvenaria de blocos cerâmicos com estrutura em concreto armado						
Descrição	Tipo de mão de obra	Hh/m ²	Quantidade (m ²)	Tempo em horas trabalhadas (H)	Custo do serviço (R\$)	Tempo em dias trabalhados com 5 funcionários (D= 8 horas)
Alvenaria (paredes)	Pedreiro	0.64	163.65	104.74	1101.82	2.62
	Servente	0.38		62.19	473.86	1.55
Laje pré-moldada em concreto	Carpinteiro	0.73	90.74	66.24	696.85	1.66
	Armador	0.15		13.61	143.19	0.34
	Pedreiro	0.40		36.30	381.83	0.91
	Servente	1.83		166.05	1265.33	4.15
Chapisco em paredes	Pedreiro	0.10	327.3	32.73	344.32	0.82
	Servente	0.15		49.10	374.10	1.23
Chapisco em forro	Pedreiro	0.25	90.74	22.69	238.65	0.57
	Servente	0.30		27.22	207.43	0.68
Reboco Paulista em paredes	Pedreiro	0.88	327.3	288.02	3030.01	7.20
	Servente	1.06		346.68	2641.67	8.67
Reboco Paulista em forro	Pedreiro	1.04	90.74	94.37	992.77	2.36
	Servente	1.20		108.89	829.73	2.72
Reparos	Servente	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Equipamentos especiais	-				0.00	-
Total:				1,418.81	12,721.57	35.47

Fonte: Autoria própria

- Painéis alveolares estruturais:

Embora a bibliografia em geral indique principalmente a utilização de painéis pré-fabricados para obras industriais devido a sua amplitude, as obras do enfoque são obras de pequeno porte, e nelas também é observada grande eficiência do sistema. Uma edificação residencial é montada com painéis em um tempo bem inferior ao sistema de alvenaria de blocos cerâmicos, sendo que após isso são liberadas inúmeras outras frentes de serviços, permitindo ao sistema uma velocidade de execução com alta de velocidade quando comparada ao sistema de alvenaria de blocos cerâmicos.

Para melhor abordar essa análise de tempo de execução, o custo da mão de obra e o de equipamentos especiais, foram elaboradas tabelas com o consumo destes para cada sistema, considerando as principais etapas da obra. Na Tabela 5 estão apresentados os valores de demanda de mão de obra e equipamentos especiais referente ao sistema de painéis alveolares pré-fabricados.

Tabela 5 - Consumo e custo de hora/homem por etapa do sistema de painéis alveolares

Painéis alveolares pré-fabricados						
Descrição	Tipo de mão de obra	Hh/m ²	Quantidade (m ²)	Tempo em horas trabalhadas (H)	Custo do serviço (R\$)	Tempo em dias trabalhados com 5 funcionários (D= 8 horas)
Painéis (paredes)	Pedreiro	0.01	163.65	1.96	20.66	0.05
	Servente	0.19		30.64	233.44	0.77
Laje pré-moldada em concreto	Carpinteiro	0.00	90.74	0.00	0.00	0.00
	Armador	0.00		0.00	0.00	0.00
	Pedreiro	0.01		0.91	9.55	0.02
	Servente	0.16		14.16	107.86	0.35
Chapisco em paredes	Pedreiro	0.00	0	0.00	0.00	0.00
	Servente	0.00		0.00	0.00	0.00
Chapisco em forro	Pedreiro	0.00	0	0.00	0.00	0.00
	Servente	0.00		0.00	0.00	0.00
Emboço em paredes	Pedreiro	0.60	163.65	98.19	1032.96	2.45
	Servente	0.80		130.92	997.61	3.27
Reboco Paulista em forro	Pedreiro	0.00	0	0.00	0.00	0.00
	Servente	0.00		0.00	0.00	0.00
Reparos nos painéis	Pedreiro	0.20	163.65	32.73	344.32	0.82
	Servente	0.23		37.64	286.81	0.94
Equipamentos especiais	Munck				1468.84	-
Total:				347.14	4,502.05	8.68

Fonte: Autoria própria

Analisando os resultados apresentados nas Tabelas 4 e 5 pode-se comprovar que o sistema de painéis alveolares apresenta grande vantagem em relação ao tempo de execução e ao custo de mão de obra. No caso da mão de obra e

equipamentos especiais, os valores obtidos para o sistema de alvenaria de blocos cerâmicos foram de R\$ 12.721,57, e para o sistema de painéis alveolares R\$ 4.502,05 (considerando a montagem com caminhão munck). Apenas em execução a diferença de custos é de R\$ 8.219,52, com a área da edificação sendo 73,37m², resultaria em uma economia de mão de obra de R\$ 112,03/m² para construção no sistema de painéis alveolares.

Para o tempo de execução, ainda os valores das Tabelas 4 e 5 apresentam relevam ainda mais a diferença entre os sistemas, pois para as etapas consideradas nas Tabelas o sistema de alvenaria de blocos cerâmicos demandou um total de 1.418,81 horas/homem para a execução, já o sistema de painéis alveolares demandou 347,14 horas/homem para a execução das mesmas etapas. No geral sistema de painéis alveolares obtém uma vantagem significativa para essa obra, porém, é importante ressaltar, que os valores obtidos em dias não consideram a construção sequencial, e sim como se todas as etapas estivessem sendo executadas ao mesmo tempo.

3.1.11. Geração de resíduos

- Alvenaria de blocos com estrutura de concreto armado:

As construções no sistema convencional são consideradas ultrapassadas, devendo esse status ao grande desperdício gerado nas obras. Os recortes para instalações são grandes responsáveis pela geração de entulhos na construção civil, também o desperdício provocado pela mão de obra contribui para o aumento da geração de resíduos. Na Figura 42 ilustram-se os resíduos gerados pelos recortes das instalações elétricas.

Figura 42 - Resíduos de instalações elétricas



Fonte: Autoria própria

O fato de o sistema de alvenaria de blocos cerâmicos utilizarem fôrma para a concretagem da estrutura também contribui para a geração de resíduos, na Figura 43 está ilustrado madeiramento que foi utilizado nas fôrmas e posteriormente descartado.

Figura 43 - Resíduos da produção de fôrmas



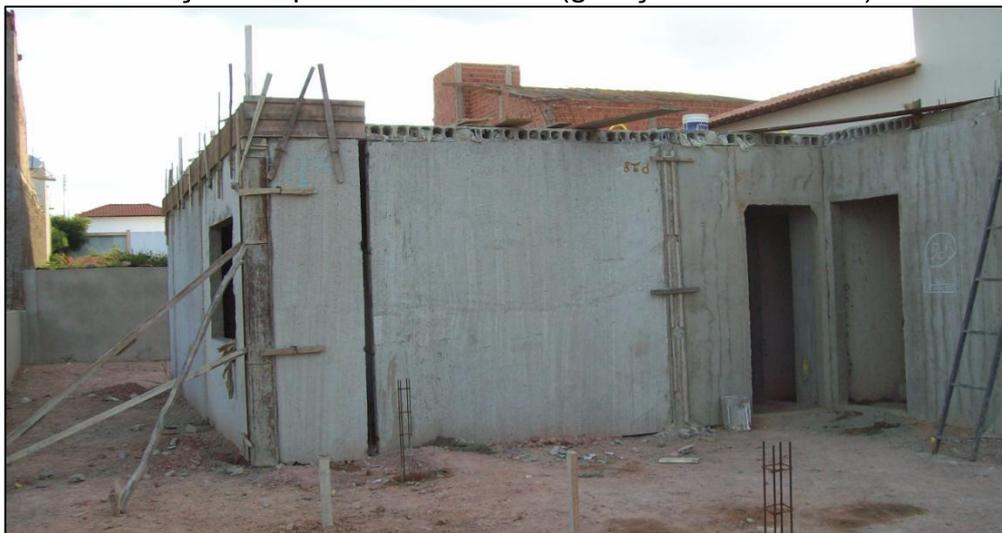
Fonte: Autoria própria

- Painéis alveolares estruturais:

Construções que utilizam sistemas pré-fabricados podem ser chamadas de construções limpas, pois há uma redução significativa na geração de resíduos no canteiro de obras. A alta redução de recortes para instalações e a redução de mão

de obra contribuem para minimizar a geração de resíduos, a qual fica em torno de 80%. Na Figura 44 ilustra-se uma obra no sistema de painéis alveolares, em que se pode observar a baixa geração de resíduos, sendo que além de não haver rasgos para as instalações, a utilização de fôrmas é reduzida.

Figura 44 - Construção em painéis alveolares (geração de resíduos)



Fonte: Autoria própria

3.2. Propostas de melhorias para o sistema de Painéis Alveolares

O sistema de painéis pré-fabricados ainda é uma técnica em desenvolvimento no Brasil, contudo, sua utilização e aprimoramento poderão trazer muitos benefícios para várias áreas da construção civil e ainda, para a comunidade que usufruir desta técnica construtiva. Por isso, com esta finalidade, sugerem-se algumas propostas de melhoria para o sistema em enfoque.

3.2.1. Uso de Concreto Autoadensável

Conforme pesquisa apresentada na parte comparativa entre o sistema de painéis alveolares pré-moldados estruturais e o sistema convencional de alvenaria de blocos com estrutura de concreto armado, pode-se perceber que, no primeiro, a concretagem dos painéis é realizada de maneira convencional, ou seja, o concreto é produzido e transportado até o local das fôrmas e então é lançado, depois disso, há

um operário responsável pelo adensamento do concreto, que é realizado com um vibrador de imersão, que trabalha imerso no concreto.

Na etapa do adensamento existem dificuldades relacionadas à movimentação do equipamento vibrador entre as fôrmas e as armaduras, que ficam muito próximas entre si, e muitas vezes, acaba entrando em contato com o equipamento de vibração, o que irá interferir de maneira significativa na qualidade do concreto, já que, o excesso de adensamento causa a exsudação de material sob a superfície e também a segregação da massa de concreto nas faces das fôrmas e das armaduras, o que causa redução na resistência do concreto e de sua durabilidade.

Como alternativa eficaz a essa situação, propõe-se o uso de concreto autoadensável, dispensando a etapa de adensamento e, por conseguinte, os problemas nela inseridos. A concretagem com concreto autoadensável além de garantir boa qualidade ao concreto proporciona melhor acabamento facial devido ao fato de possuir maior fluidez. Na Figura 45 mostra-se o acabamento de um protótipo construído com concreto autoadensável. Nota-se a qualidade do acabamento que o concreto autoadensável proporciona, sendo um forte alternativa para evoluir o sistema de painéis alveolares.

Figura 45 - Protótipo em concreto autoadensável



Fonte: Marangon (2011, p. 260)

3.2.2. Uso de Concreto Colorido

Com a intenção de ampliar a variedade dos painéis pré-moldados e consequentemente a sua utilização, sugere-se no emprego de concreto colorido. Uma tecnologia que vem ganhando espaço nos últimos anos e tem fortes tendências de crescimento no mercado da construção civil. Sabe-se que a pintura aplicada nas edificações convencionais demanda manutenção constante e sofre fortemente o ataque de intempéries, dessa forma, a prática é uma alternativa que visa eliminar a necessidade de pintura das edificações construídas com o sistema, deixando o próprio material com cores desejadas pelo cliente.

A coloração do concreto se dá através da aplicação de pigmento químico no concreto em uma proporção de 3 a 5%. O mesmo tem função apenas em colorir o material, não devendo influenciar em suas características mecânicas. Na Figura 46 mostra-se a realização da concretagem de um piso com concreto vermelho.

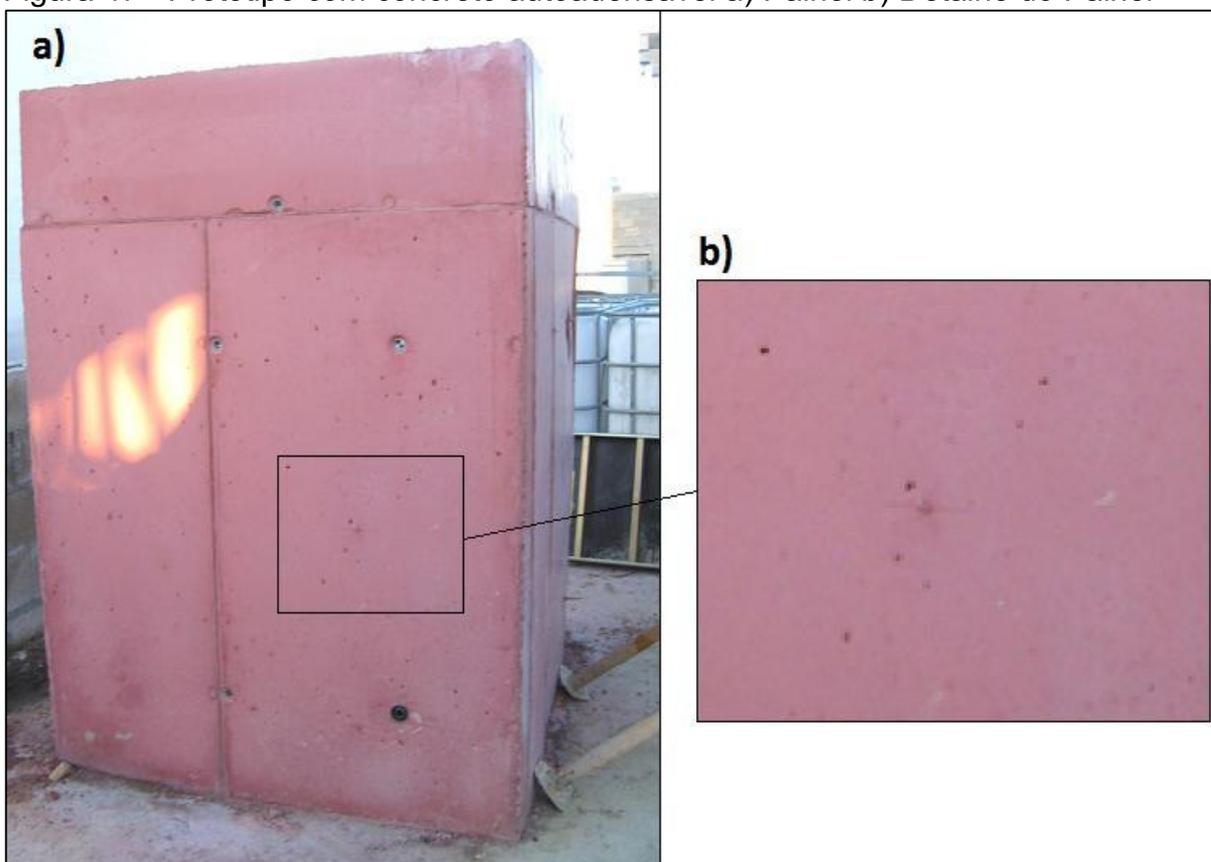
Figura 46 - Concretagem com concreto colorido



Fonte: CONCREMIX (2014, não paginado)

Segundo Pacios e Barragan (2010) na dosagem do concreto, pode-se definir significativamente o acabamento superficial a ser obtido. Os autores construíram um protótipo de uma parede em concreto autoadensável colorido. Na Figura 47 pode se observar a qualidade do acabamento do painel produzido com o concreto colorido autoadensável. Na Figura 47 (b) pode-se observar melhor o acabamento da face, sendo que essa necessitará de reparos, os quais deverão ser realizados com argamassa colorida também. Os concretos com maior quantidade de massa cimentícia foram os que obtiveram melhor qualidade superficial (PACIOS E BARRAGAN, 2010).

Figura 47 - Protótipo com concreto autoadensável a) Painel b) Detalhe do Painel



Fonte: PACIOS e BARRAGAN (2010, p. 5)

3.2.3. Uso de concreto autoadensável com fibras

A utilização de duas camadas de armadura nos painéis (face interna e externa) demanda uma grande quantidade de hora/homem na moldagem dessa armadura, uma alternativa para reduzir ou até eliminar essa armadura seria fazer o uso de

concreto com fibras, o qual vem sendo estudado e citado em diversos trabalhos científicos da atualidade.

Marangon e Toledo (2010) afirmam que o uso de concretos autoadensáveis fibrosos representa um novo marco para a construção civil, referindo-se a qualidade dos concretos. Os autores citam que a trabalhabilidade do concreto autoadensável permanece a mesma ao adicionar 1% de fibras de aço com 35 mm de comprimento. Para viabilizar o uso desse material na produção de painéis alveolares deve-se realizar uma análise aprofundada adequando as solicitações impostas aos painéis durante o içamento, transporte e ações permanentes para compatibilizar solicitações com tensões admissíveis.

Na Figura 48 está ilustrado um corpo de prova de concreto autoadensável com fibras e a própria fibra (48 b).

Figura 48 - Concreto com fibras de aço



Fonte: Revistan2 (2014, não paginado)

Além das alternativas individuais de melhorias, pode-se aplicar a utilização das mesmas simultâneas. O uso de concreto autoadensável pode ser aplicado com

pigmento, tornando-se assim concreto colorido. O concreto autoadensável também pode ser utilizado com fibras de aço, reduzindo ou eliminando a necessidade de armadura de flexão nos painéis. Outra alternativa é usar concreto autoadensável colorido e com fibras, assim dando cor aos mesmos e reduzindo ou eliminando a armadura ao mesmo tempo.

3.2.4. Revestimento interno com gesso

A grande redução da espessura da camada interna de revestimento é uma das características relevantes do sistema de painéis alveolares pré-moldados. Enquanto no sistema convencional de alvenaria de blocos com estrutura em concreto armado aplica-se uma camada de chapisco e posteriormente uma camada de reboco paulista na face interna do painel, no sistema de painéis pré-moldado é necessária apenas a aplicação de massa corrida.

Não obstante, propõe-se a substituição da massa corrida pelo gesso, o qual desempenha a mesma função de outrem: corrigir imperfeições causadas pela formação de bolhas de ar durante a concretagem. A proposta sugere que após o içamento dos painéis ao seu local definitivo eles possam receber uma fina camada de gesso na face interna do painel, isso economizará tempo, mão-de-obra, material e agilizará os prazos da obra além de proporcionar bom acabamento a superfície.

Na Figura 46 está ilustrado o interior de uma edificação em que foi realizado acabamento com gesso.

Figura 49 - Paredes internas de uma edificação com acabamento em gesso



Fonte: Loja do revestimento (não paginado)

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, são apresentadas as principais considerações abordadas neste trabalho, sempre levando em consideração que os resultados apresentados originaram-se de observações de casos específicos de obras, não devendo ser generalizados.

Ainda é pouco proeminente a utilização do sistema de painéis pré-fabricados nos dias atuais, porém, a sua utilização engloba uma série de diferenças comparando-o com o sistema convencional e relacionado a fatores que interferem no tempo de execução, eficiência, custo da obra, sustentabilidade e outros. A seguir, estão apresentadas algumas das principais diferenças entre ambos os sistemas:

Além do sistema de painéis pré-fabricados possuírem menor quantidade de etapas de execução da obra quando comparado ao sistema de alvenaria de blocos cerâmicos, após a etapa de montagem dos painéis, ocorre a liberação de várias frentes de serviço, que podem ser realizadas em sua maioria de modo simultâneo, agilizando significativamente a velocidade de execução. O processo de execução de obras de pequeno porte no sistema de alvenaria de blocos cerâmicos é relativamente lento, pois é necessário aguardar certas etapas para poder prosseguir com outras. Para os painéis alveolares estruturais, as obras analisadas podem ser classificadas como de bom desempenho em eficiente quanto a qualidade de execução e velocidade de execução.

Um orçamento foi elaborado a fim de realizar o estudo comparativo de custos, que é uma das principais formas de avaliar a viabilidade e posterior escolha de um método construtivo diferenciado. Neste orçamento, observa-se que a redução de custos é de 18% para a edificação no sistema de painéis alveolares.

Os prazos de execução também são fatores com grande relevância ao distinguir os sistemas, sendo que o sistema de painéis alveolares apresenta uma redução de 408% no tempo de execução para as etapas de construção de paredes, pilares, vigas, lajes e revestimentos.

No sistema de painéis alveolares pré-fabricados é observada uma redução significativa da geração de resíduos na construção. O fato de dispensar o uso de fôrmas de madeira e de não efetuar rasgos nas paredes para instalações são de grande relevância, visto que estes são os principais geradores de resíduos sólidos

da construção civil, apresentando uma redução de cerca de 80% na geração de resíduos.

Como sugestão de melhorias foram apresentados a utilização de concreto autoadensável, concreto colorido, concreto com fibras, concreto autoadensável colorido, concreto autoadensável com fibras, concreto autoadensável colorido com fibras e acabamento interno com gesso.

Sugestão para trabalhos futuros

Como sugestão para outras pesquisas, está a de realizar o acompanhamento da execução de um mesmo projeto nos dois sistemas distintos em análise, pois, dessa maneira, pode-se acompanhar detalhadamente a execução e após, fazer um apontamento mais preciso de quais foram os custos reais das edificações, tornando os resultados comparativos mais precisos, em especial, a avaliação de custos.

Outra possibilidade é a realização de experimentos com uso de concreto autoadensável, fazendo a dosagem de um determinado traço e aplicá-lo na fábrica, assim poderá ser avaliada a melhoria na trabalhabilidade e o resultado do painel curado, assim como a adição de pigmentos e fibras de aço. A aplicação do revestimento interno em gesso também fica como sugestão de ser aplicada na prática, pois o mesmo já é utilizado em edificações com alvenaria estrutural e poderia ser adaptado ao sistema de painéis alveolares.

5. REFERÊNCIAS

ABESC – **O Potencial do Tilt-up.** Disponível em: <http://www.abesc.org.br/tecnologias/tec-tilt-up.html>. Acesso em 06 de janeiro de 2014, 16:40.

ABCIC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO. **A história dos pré-fabricados e sua evolução no Brasil.** São Paulo, 1980.

_____. **Manual Técnico de Pré-Fabricados de Concreto.** São Paulo, 1986.

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - **Parede de Concreto: Coletânea de Aditivos.** São Paulo, 2008.

ANICER - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. **Manual de bloco cerâmico,** 2002. Disponível em ><http://www.anicer.com.br/manuais/bloco.rtf><. Acesso em 10 de setembro de 2013.

ARAÚJO, J. M. de - **Curso de Concreto Armado.** Vol. 1, 3ª ed., Rio Grande, 2010, editora Dunas, 257p.

ARQUITETURA & URBANISMO - **Condomínio Clube Ibirapuera.** São Paulo, Editora PINI, n. 69, dez.1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - **Guia básico de utilização de cimento Portland.** 7ª ed. São Paulo, 2002.

_____, NBR 11768:2011 - **Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos,** Rio de Janeiro, 2011.

_____, NBR 7480:2007 - **Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado.** Rio de Janeiro, 2007.

_____, NBR 9062:2006 - **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.** Rio de Janeiro, 2006.

BAUER, L. A. - **Materiais de construção**. Vol. 2, 5ª edição - 2011, editora LTC. p. 438-960.

BATLOUNI NETO, J. - Apresentação de: **Como Reduzir Perdas nos Canteiros**. Ed. PINI, São Paulo, 2005, 128p.

CAMACHO, J. S. - **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural** - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, 2006, p. 21-22. Disponível em: <<http://www.nepae.feis.unesp.br/Apostilas/Projeto%20de%20edificios%20de%20alvenaria%20estrutural.pdf>>. Acesso em 31 de agosto de 2013, 18:57.

CAMPOS, A. A. - **Controle da Qualidade, Inspeção de Processo, Recebimento de Obras e Avaliação Pós-ocupação de Obras Executadas em Painéis Pré-moldados de Concreto**. Encontro sobre habitação de interesse social, Porto Alegre, 2009.

COÊLHO, R. S. A. - **Alvenaria estrutural**. Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), São Luís, Editora da UEMA, 1998.

CONCÍLIO, V. P.; ABIKO, A. K. - **Mutirão Habitacional: Adequação de Processos e Sistemas Construtivos**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1998, p. 8. Disponível em: <Http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/bt_00206.pdf>. Acesso em 29 de agosto de 2013, 19:21.

CONCREMIX - **Concreto Colorido**. Central Dosadora de Concreto, Concremix, São Paulo. Disponível em: <<http://www.concremix.com.br/concreto-colorido.html>> Acesso em 16 de fevereiro de 2014.

_____ **Fibras de Aço Dramix**. Central Dosadora de Concreto, Concremix, São Paulo. Disponível em:

<<http://www.concremix.com.br/concreto-fibra.html>> Acesso em 16 de fevereiro de 2014.

CONSTRUÇÃO SÃO PAULO - **Cartão de visita**. São Paulo, Ed. PINI, n. 2572, 1997.

CRUSIUS, A. D. - **Execução de alvenaria: Elevação das paredes**. Universidade federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2011. Disponível em:

<<http://www.ufrgs.br/eso/content/?tag=encunhamento>>. Acesso em 20 de agosto, 10:31.

D2R - **Engenharia e construções**. Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.d2rengenharia.com.br/tecnica-construtiva.php>>. Acesso em 05 de setembro de 2013, 11:11.

DIAS, A. B. - **Construção em tijolo cerâmico: das exigências normativas à prática de aplicação**. Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Porto, 2002. Disponível em: <http://www.civil.uminho.pt/masonry/Publications/Paredes_de_Alvenaria/Artigo%20Pag%2041-64.pdf>. Acesso em 10 de setembro de 2013, 15:52.

DIETZ, G.A.; CUTLER, L. - **Industrialized building systems for housing**. Cambridge, MIT Press, 1970.

EL DEBS, M. K. - **Concreto pré-moldado: Fundamento e aplicações**. Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Ed. EESC-USP, São Carlos, 2000, 441p.

ENGENHARIACIVIL.COM - **Modelação térmica de uma parede de tijolo**. Disponível em: <<http://www.engenhariacivil.com/modelacao-termica-parede-tijolo>>. Acesso em 05 de setembro de 2013, 8:32.

FERNANDES, M. J. G.; SILVA FILHO, A. F. - **Estudo Comparativo do uso da Alvenaria Estrutural com Bloco de Concreto Simples em Relação ao Sistema Estrutural em Concreto Armado**. Disponível em: <http://info.ucsal.br/banmon/Arquivos/Art3_0075.pdf>. Acesso em 10 de setembro de 2013, 22:03.

GOMES, P. C. C.; LISBÔA, E. M.; CAVALCANTI, D. J. DE H.; LIMA, F. B. DE. - **Influencia da variação granulométrica de finos nas propriedades do concreto autoadensável**. 2º Congresso Ibérico sobre betão auto-compactável, Guimarães, Portugal, 2010.

HELENE, P. - **Manual para Reparo, Reforço e Proteção das Estruturas de Concreto**. São Paulo: PINI, 1992. 215p.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Bloco Cerâmico (Tijolo), 2001**. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/tijolo.asp>>. Acesso em 08 de setembro de 2013.

ISAIA, G. C. - **Controle de qualidade das estruturas de concreto armado**. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Ed. UFSM, Santa Maria, 1988, 119p.

JAZRA, G. - **Participação da construção civil no PIB de 2012 aumentou 1,4%**. PINI Web, 2013. Disponível em: <<http://www.piniweb.com.br/construcao/carreira-exercicio-profissional-entidades/participacao-da-construcao-civil-no-pib-de-2012-aumentou-14-278747-1.asp>>. Acesso em 28 de julho de 2013 14:00.

LOJA DO REVESTIMENTO. Disponível em:

><http://lojadorevestimento.wordpress.com/2012/04/26/gesso-ou-cimento-nas-paredes-internas/><. Acesso em 26 de fevereiro de 2014.

MARANGON, E - **Caracterização material e estrutural de concretos autoadensáveis reforçados com fibras de aço**. Tese de doutorado, COPPE 2011, 309p.

MARANGON, R; TOLEDO, R. D. FILHO - **Comportamento reológico de concretos auto-adensáveis reforçados com elevadas frações volumétricas de fibras de aço**. 2º Congresso Ibérico sobre betão auto-compactável, Guimarães, 2010, 10p.

MELO, C. E. E. (2007). **Manual Munte de projeto em pré-fabricados de concreto**. São Paulo, PINI, 2ª edição, 534p.

MENDES, H.; CARVALHO, K. M. B.; BORGES, T. E. - **Tijolos e alvenaria: No âmbito da construção civil**. Faculdade de Tecnologia e Ciência, Itabula, 2012, p. 12-13. Disponível em: <<http://www.slideshare.net/KleberMarceloCarvalho/artigo-tijolos-e-alvenaria-no-mbito-da-construo-civil>>. Acesso em 31 de agosto de 2013, 21:46.

MENDES LIMA ENGENHARIA - **Contra Piso Autoadensavel**. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=SBAT7dKMBNQ>>. Acesso em: 24 de setembro de 2013, 14:32.

OLMET - **Concrete Machinery to Build the Future**. Disponível em:
<<http://www.olmetitaly.com/index.php?modulo=manufatti&id=21&lang=por>>. Acesso em 03 de setembro de 2013, 23:26.

PACIOS, A.; BARRAGÁN, B. - **Calidad superficial del hormigón autocompactante arquitectónico**. 2º Congresso Ibérico sobre betão auto-compactável, Guimarães, 2010.

PENTEADO, A. F. - **Gestão da Produção do Sistema Construtivo em Alvenaria Estrutural**. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) – Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, 212 f. - Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização), 2003. Disponível em:
<<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000313536>>. Acesso em 05 de setembro de 2013, 10:45.

Portal Nickavoltz - **Concreto Auto-Adensável**. Disponível em:
<<http://www.nickavoltz.com/2012/08/caa-concreto-auto-adensavel-o-processo.html>>. Acesso em 24 de setembro de 2013, 14:03.

PRONTOMIX - **Pavimentos e blocos de concreto**. Santa Maria, RS. Disponível em: <http://www.prantomix.com.br/site/produtos_blocos_alvenaria>. Acesso em 05 de setembro de 2013, 11:09.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. - **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. PINI, São Paulo, 2003.

REVISTAN2 – **Concreto com fibras de aço**. Disponível em:
<<http://www.revistam2.com.br/wp-content/uploads/2011/06/DSC00177.jpg&w=640&h=480&ei=334UU5SiNo7ykQelrYHADQ&zoom=1>>. Acesso em 26 de fevereiro de 2014, 22:21.

ROMAN, H. R.; MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. - **Construindo em alvenaria estrutural**. Editora da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 1999.

SANTOS, M. D. F. **Técnicas Construtivas em Alvenaria Estrutural: Contribuição e uso**. 1998. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1998.

SERRA, S. M. B., FERREIRA, M. de A., E PIGOZZO, B. N. - **Evolução dos Pré-fabricados de Concreto**. Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), São Carlos, 2005. Disponível em:

<http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/164.pdf>. Acesso em 02 de setembro de 2013, 10:51.

SILVA, M. M. A. - **Diretrizes para projeto de alvenarias de vedação**. 274 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVA, P. J. S. - **Alvenaria estrutural e Painéis Pré-moldados: Estudo Comparativo dos Sistemas Construtivos**. Universidade federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/39149/000825323.pdf?sequence=1>>. Acesso em 12 de julho de 2013, 13:43.

SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Porto Alegre, 2014. Disponível em: <<http://www1.caixa.gov.br/download/asp/download.asp?subCategId=1173&CategId=120&subCateglayout=Relat%F3rios+de+Insumos+%96+sem+desonera%E7%E3o+%96+Janeiro%2F2014&Categlayout=SINAPI++Sist.+Nac.+Pesq.+Custos+e+Indices+Const.+Civil>>. Acesso em 25 de fevereiro de 2013

SOUZA U. E.L. de - **Como Reduzir Perdas nos Canteiros**. Ed. PINI, São Paulo, 2005, 128p.

TCA – **TILT-UP CONCRETE ASSOCIATION**. Disponível em: <<http://www.tilt-up.org/basics/>>. Acesso em 06 de janeiro de 2014, 17:11.

TCPO – **Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos**. 13 ed. – São Paulo: Pini, 2008, 630p.

THIEL ENGENHARIA - **Estruturas pré-fabricadas**. Criciúma, SC. Disponível em: <<http://www.thiel.eng.br/noticias/detalhes/7>>. Acesso em 09 de setembro de 2013, 23:01.

VIERO, L.K. - **Industrialização da construção civil: pré-fabricados em concreto**, 2008. 64f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia, centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, p. 51-52.

WARSAWSKI, A. - **System Building** - Education and Research. In: Construction research international. Lancaster, CIB, 1977, p. 113-125. Anais, Sétimo congresso CIB.

YAZIGI, W. - **A Técnica de Edificar**. Sinduscon SP, editora PINI, 2009, 769p.