

EDIFICAÇÕES EM MÓDULOS PRÉ-FABRICADOS EM PERFIS DE AÇO LEVE: UM ENSAIO PROJETUAL.

André Luiz de Alcântara LIMA (1); João Luiz CALMON (2)

(1) Arquiteto, Mestrando no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFES/NEXEM, Rua Coronel Schwab Filho 316/601-Bento Ferreira – Vitória-ES-CEP 29052-070, tel: 0XX27-33254503, e-mail: andrearquiteto@gmail.com

(2) Dr. Ing., Professor no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFES/NEXEM, e-mail: calmont@npd.ufes.br

RESUMO

Uma das formas de se aumentar à racionalização na construção civil é através da pré-fabricação da construção, onde as etapas de transformação dos materiais em componentes construtivos ocorrem em uma unidade fabril ao invés do canteiro de obras. A construção modular em aço, pouco desenvolvida no Brasil e em grande expansão em países como Japão e Inglaterra, se caracteriza pela pré-fabricação de unidades tridimensionais que chegam à obra com a maior parte dos componentes da edificação tais como estrutura, fechamentos e instalações, faltando apenas às etapas de montagem, que incluem o transporte vertical, a conexão e arremate entre os módulos. Baseado em recomendações técnicas de publicações nacionais e estrangeiras, neste trabalho produziu-se um ensaio projetual em construção modular a partir de um programa de projeto para uma escola municipal de Vitória-ES. Ao longo da concepção do projeto foram realizadas entrevistas com profissionais da área de transportes onde foram obtidas as informações necessárias para análise da interface projeto-transporte e projeto-montagem, além do direcionamento de soluções projetuais viáveis tecnicamente visando o menor custo possível. Além do ensaio projetual foi realizado um levantamento inicial junto a duas empresas metalúrgicas locais, referente aos equipamentos e infra-estrutura necessários e a viabilidade local de fabricação dos módulos.

Palavras-chave: Racionalização da construção, Construção modular, Logística na construção civil.

ABSTRACT

One of many ways to increase the civil construction rationalization is through the prefabrication of the construction, which happens when the material's stages of transformation occurs in a factory instead of occurring in the seedbed of workmanships. The modular construction of steel, less developed in Brazil than in other countries like Japan and England, is marked by the prefabrication of tridimensional units that arrives in the workmanship with most of building components such as structure, envelop and technical installations, lacking only the stage of assembly, that includes vertical transport, connections and finishing between the modules. Based in technical recommendations of national e international publications, this research produced an architecture project based in prefabricated modules of steel from a project program for a municipal school in the city of Vitória-ES. Throughout the conception of the project, interviews with professionals of the area of transports had been carried through, where had been gotten the necessary information for analysis of the interface project-transport and project-assembly and the directions for viable technical and economical project solutions. Besides architecture, a initial survey was realized with two local metallurgical companies of the equipments and infrastructure necessary and the viability for the local production of the modules.

Keywords: Lean-construction, Modular construction, Logistic in construction.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil no Brasil, em particular na sub-área de edificações e produção de edifícios, apesar dos avanços conseguidos na última década ainda se caracteriza por um processo construtivo misto artesanal/racionalizado, de baixa produtividade, que gera bastante desperdício e com pouco controle de qualidade.

Atualmente, com a estabilização financeira e o mercado mais competitivo surge uma demanda maior por produtos (construções) cada vez mais eficientes, de menor custo, de menor tempo de produção e de maior qualidade.

Diante das mudanças de mercado, o comportamento das empresas construtoras nacionais está cada vez mais inclinado a racionalização da construção. As inovações na construção civil nacional vêm direcionando os processos construtivos a modelos mais industrializados caracterizados pela racionalização e pela utilização cada vez maior de insumos semi-industrializados e industrializados.

Uma nova forma de pensar a construção civil pode ser vista através do desdobramento de pesquisas baseadas em uma *Nova Filosofia da Produção na Construção* direcionada a adaptar o conceito de *Lean Thinking* originado do *Toyota Production System* (TPS) da indústria automobilística à “Construção Enxuta” ou *Lean Construction* que tem por objetivo uma produção sem perdas. (KOSKELA, 1992).

Apesar de a maioria das discussões em torno da industrialização da construção ser em torno da redução de perdas, da otimização de processos e de aumento qualidade do produto. Bruna (2002) afirma que a própria realidade sócio-econômica brasileira já seria motivo suficiente para a industrialização da construção, e sugere que isto ocorra principalmente no setor de habitação, possibilitando: a redução do déficit habitacional; a viabilização do aumento da renda e da produtividade per capita dos trabalhadores da construção civil; a redução do custo da habitação; e a racionalização dos recursos naturais.

No meio científico, atualmente, a maioria das pesquisas realizadas com relação à racionalização da construção gira em torno da construção civil tradicional e de sua adaptação ao novo cenário econômico através da otimização dos processos construtivos existentes. Desta forma, são poucas as propostas que surgem com caráter de inovação substancial com relação aos processos construtivos, visando alcançar a plena industrialização da construção.

Segundo Blacheré (1966, apud BRUNA, 2002), a industrialização da construção só será plena quando esta conseguir unir racionalização¹ e mecanização² da produção. BRUNA (2002) afirma que para se obter a industrialização há ainda a necessidade da utilização de sistemas construtivos pré-fabricados³.

A Construção Modular é uma das formas de industrialização da construção mais avançadas do ponto de vista tecnológico, sendo bastante desenvolvida em países como Japão e Inglaterra. Apesar das dificuldades de viabilização da construção modular no Brasil, em função do baixo grau de industrialização da construção nacional, enquanto conceito, a construção modular é algo que merece ser estudado e perseguido por ser atualmente um dos sistemas de construção mais avançados no que diz respeito a racionalização da construção.

Do ponto de vista tecnológico conceitual, a Construção Modular se baseia em módulos construtivos pré-fabricados que possuem a função estrutural de suportar as cargas exercidas sobre si mesmas e a função dimensional de permitir o encaixe mútuo e preciso entre os diversos módulos nos sentido vertical e horizontal, de forma que o sistema construtivo é inteiramente produzido em uma unidade

¹ Entende-se à partir de Bruna (2002) que para se atingir a racionalização da construção são necessários o controle e a organização da produção

² Segundo Bruna (2002) a mecanização na construção é a racionalização de energia e de gastos de produção.

³ Segundo Bruna (2002) a pré-fabricação consiste na racionalização do sistema de construção

fabil ou não de linhas de produção, deixando para o canteiro de obras apenas as etapas de elevação, encaixe e arremate.

Do ponto de vista da concepção e o desenvolvimento de projetos utilizando sistemas modulares, é importante a utilização da Coordenação Modular⁴ como ferramenta projetual por possibilitar desde a etapa de projetos a intercambialidade entre os componentes construtivos e por consequência uma maior produtividade durante a fabricação e montagem dos módulos no canteiro de obras.

Um dos fatores que alimenta a pouca difusão da Construção Modular no Brasil é a presença de poucos pesquisadores no país dedicados ao tema específico “Construção Modular”. Apesar disso, sobre este assunto, destaca-se a dissertação de mestrado de Caiado (2005) intitulada “*Estudo e concepção de edifícios em módulos pré-fabricados estruturados em aço*”. No exterior se destacam as publicações do SBI – *The Swedish Institute of Steel Construction* (Instituto Sueco de Construção Metálica) e do SCI – *Steel Construction Institute* (Instituto de Construção Metálica - Inglaterra). Ver: Lawson *et al.* (1999), Lessing(2003) e Birgersson (2004).

Diante da carência de material científico nacional específico sobre o tema “Construção Modular”, as publicações produzidas por estes pesquisadores tornou-se a principal fonte de informação sobre Construção Modular para o desenvolvimento desta pesquisa.

Lawson *et al.* (1999) sugere a aplicação da Construção Modular desde pequenas construções até edifícios de múltiplos andares e afirma que a sua utilização está concentrada na Inglaterra, Estados Unidos, Japão, Países Escandinavos e na Alemanha. Lessing (2003) e Birgersson (2004) direcionam suas publicações sobre Construção Modular utilizadas em construções habitacionais de pequeno e médio porte.

A construção modular pode ser vista através dos conceitos de *Lean Thinking* e de *Lean Construction* que considera a produção enquanto um processo baseado em um sistema de fluxos, conversões e valor que tem como objetivo a redução de perdas, de tempo, de custo e o aumento do valor agregado do produto. No caso específico da Construção Modular, as etapas de fluxo correspondem aos fluxos existentes nas etapas de fabricação, transporte e montagem dos módulos pré-fabricados, etapas estas fundamentais na determinação das características e dimensões construtivas dos módulos pré-fabricados e consequentemente da edificação com um todo.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade da construção modular no estado do Espírito Santo através de análise das interfaces projeto-transporte e de projeto-montagem e de análise inicial da infra-estrutura necessária para a fabricação local dos módulos.

Dessa forma, baseado em recomendações técnicas construtivas, em informações a respeito da etapa de transporte e em informações obtidas através de entrevistas com empresas do setor metalúrgico, desenvolveu-se um Ensaio Projetual, um estudo inicial da infra-estrutura necessária da unidade fabril e um estudo de viabilidade local de produção local do sistema construtivo.

O Ensaio Projetual realizado foi de uma Escola Municipal de 1º Grau onde foi considerado o programa de necessidades de uso da edificação e seus condicionantes de funcionalidade, conforto, segurança e estabilidade estrutural da edificação.

⁴ Segundo Lucini (2001, apud BALDAUF, 2004), entende-se por Coordenação Modular como “o sistema modular de referência que a partir de medidas com base em um módulo predeterminado, compatibiliza e organiza tanto a aplicação racional de técnicas construtivas como o uso de componentes em projeto e obra, sem sofrer modificações”.

3. METODOLOGIA

A realização do ensaio projetual foi precedida de revisão bibliográfica. A partir da referida revisão foram obtidas as informações técnicas básicas necessárias à realização do ensaio projetual.

Para a definição de um programa de projetos que norteasse e definisse os objetivos do ensaio projetual foi realizado um contato com a SEMOB – Secretaria Municipal de Obras da Prefeitura de Vitória onde se obteve o programa de necessidades de uma escola municipal localizada no bairro Inhanguetá em Vitória-ES. A partir deste contato foram conseguidas as informações necessárias tais como as diretrizes de projeto, o programa de usos, a localização e o levantamento topográfico do terreno.

A análise da infra-estrutura da unidade fabril foi feita através da parceria com duas grandes metalúrgicas localizadas no município da Serra-ES que demonstraram interesse em contribuir com a pesquisa no estudo da viabilidade de produção dos módulos pré-fabricados.

Para responder as perguntas referentes à interface projeto-transporte foi realizado contato com uma das maiores empresas do estado de locação de equipamentos de transporte vertical e horizontal onde foram obtidas as informações necessárias à concepção do projeto através de reuniões e apresentações parciais dos resultados obtidos, que conduziram à definição das características dimensionais dos módulos pré-fabricados e da edificação, com o objetivo de atender as etapas de transporte horizontal, vertical e a logística de canteiro de obras.

Para estudo da interface projeto-transporte tornou-se necessário a definição do local de produção (sendo escolhida uma das duas metalúrgicas situada no município da Serra-ES, que contribuiu com o estudo inicial de infra-estrutura da unidade fabril) e do local de montagem (terreno localizado no bairro de Inhanguetá em Vitória-ES onde será construída uma escola municipal).

Por meio da definição dos locais de fabricação e montagem foi possível fazer a análise de viabilidade dos possíveis percursos, considerando a legislação rodoviária incidente, a presença de obstáculos físicos e a capacidade dimensional da infra-estrutura viária.

O ensaio projetual, além de considerar as etapas de transporte e montagem no canteiro de obras foi concebido levando em consideração o programa de usos e diretrizes do projeto, a legislação municipal de obras e edificações existentes, a legislação de corpo de bombeiros e as consultas com engenheiro de estruturas. A seu desenvolvimento teve também como finalidade de obtenção de um resultado que no que diz respeito aos condicionantes de conforto e de funcionalidade da edificação.

Para a concepção do Ensaio Projetual foi utilizado programa Autocad (2004). A utilização do programa permitiu a compatibilização dimensional exata com o projeto estrutural e a análise gráfica da etapa de transportes.

A concepção dos projetos partiu de uma seqüência de análise de fluxos macro-espaciais (transporte) para a análise fluxos micro-espaciais (montagem). No entanto, todas as decisões de projeto tomadas partiram da análise concomitante dos fluxos junto à empresa de transportes e ao NEXEM – Núcleo de Excelência em Estruturas Metálicas da UFES – Universidade Federal do Espírito Santo, responsável pelo cálculo estrutural dos módulos e da edificação. A análise de fabricação só foi possível posteriormente com a obtenção dos projetos (arquitetônico e estrutural) detalhados dos módulos e da edificação.

4. ENSAIO PROJETUAL

4.1. Programa de Usos e Diretrizes de Projeto

Para o desenvolvimento do projeto tornou-se necessário a escolha de um terreno de fácil implantação e de um programa de usos e de necessidades que fosse compatível com o pré-requisito da construção modular. Tornou-se necessário que durante a concepção do projeto, houvesse uma regularidade mínima com relação aos ambientes e suas áreas de forma a possibilitar um menor custo de produção.

O terreno escolhido para a implantação da edificação fica localizado no município de Vitória, é plano, possui área aproximadamente de 18 mil metros quadros, das quais 7.778 metros quadrados foram escolhidos para o ensaio projetual.

O programa de usos escolhido para o desenvolvimento do projeto foi o de uma escola municipal de Vitória-ES. O programa utilizado prevê o atendimento de 600 alunos por turno com área útil coberta de aproximadamente 2.800,00 metros quadrados, dividida em setores técnicos, pedagógicos, de assistência ao aluno, de recreação e de serviços.

4.2. Definição do Módulo Construtivo

Para realização do ensaio Projetual, ficou definido junto à empresa especializada em transportes vertical e horizontal, que as características dimensionais dos módulos construtivos deveriam ser similares às dimensões comerciais de contêineres de 20 pés de comprimento (Largura = 2,438 metros, Comprimento = 6,06 metros e Altura = 2,59 metros) por serem estes adequados as dimensões mínimas necessários aos compartimentos da escola, à capacidade da infra-estrutura viária local e a capacidade dos equipamentos de transporte vertical e horizontal.

Com as dimensões construtivas estipuladas, foram feitos os primeiros estudos utilizando o programa computacional AutoCAD (2004), com relação a viabilidade técnica e estrutural dos módulos, adaptando as dimensões de contêineres a uma modulação estrutural necessária para facilitar as etapas de cálculo e fabricação. Nas figuras 1 e 2 podem ser visualizadas a planta baixa esquemática do módulo e uma perspectiva do conjunto de quatro módulos agrupados, respectivamente.

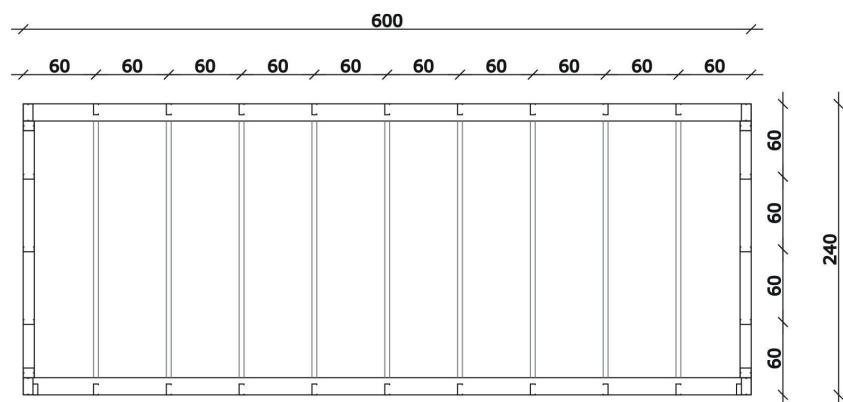


Figura 1 - Planta baixa esquemática do módulo (em centímetros)

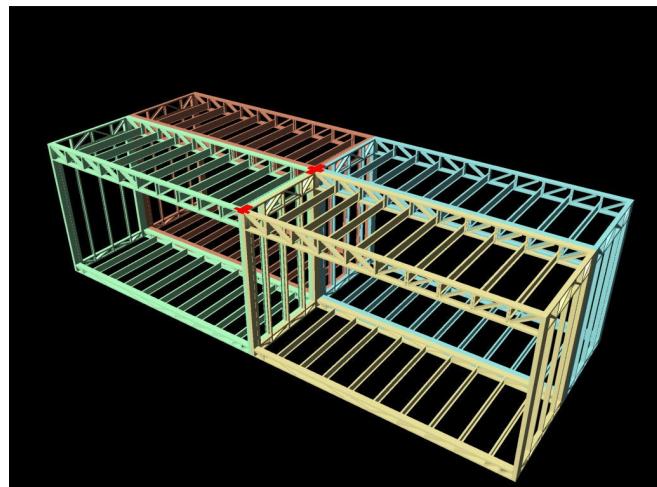


Figura 2 - Perspectiva esquemática de quatro módulos estruturais agrupados

Após a definição das dimensões dos módulos foram feitas simulações gráficas utilizando o programa computacional AutoCAD (2004) com a finalidade de estudar a capacidade dimensional de suporte da

infra-estrutura viária dos possíveis trajetos de transporte. Para esta simulação foram utilizados mapas geo-referenciados em CAD (Computer Aided Design) fornecidos pela PMV – Prefeitura Municipal de Vitória com inserção gráfica, em escala, do veículo de transporte necessário para o transporte dos módulos construtivos.

4.3. Análise da Interface Projeto-Transporte

Para a definição na análise de interface entre projeto e transporte, foram definidos os possíveis trajetos entre o local de produção e montagem dos módulos. Foram encontrados 2(dois) trajetos possíveis, ambos com trechos dentro de vias federais (BR 101) e municipais.

Dessa forma foram feitas as devidas análises com relação à legislação federal e municipal incidente nos trajetos possíveis e sua relação com as dimensões estipuladas para os módulos.

Em análise a legislação que regulamenta o transporte nas rodovias federais referente às dimensões autorizadas para veículos (CONTRAN, 1998) e referente aos limites máximos de peso por eixo ou conjunto de eixos para cargas indivisíveis (DNIT, 1981), observou-se que as dimensões comerciais de contêineres de 20 pés de comprimento (Largura = 2,438 metros, Comprimento = 6,06 metros e Altura = 2,59 metros) tornam viável o transporte dos módulos dentro dos limites estabelecidos pela legislação e que devido as suas dimensões e ao seu baixo peso próprio, dificilmente os módulos construtivos chegariam aos limites estabelecidos, proporcionando inclusive a opção pelos veículos de transporte mais simples. Através da definição da dimensão dos módulos, ficou definida junto à empresa de transportes a logística de transportes horizontal (do local de produção até o local de montagem) e vertical (no canteiro de obras) (Ver Quadro 1).

A legislação municipal segue os mesmos princípios da legislação federal no que diz respeito aos limites dimensionais e de peso dos veículos e seus carregamentos. Foram feitas visitas periódicas ao percurso, com levantamento fotográfico dos principais trechos, com a finalidade de documentar e avaliar a presença ou não de obstáculos, principalmente aéreos, como árvores e fiações que possam vir a criar restrições à passagem dos veículos de transporte horizontal e de transporte vertical ao longo do trajeto. Dessa forma ficou constatada a ausência de obstáculos ao longo do trajeto que pudessem vir a restringir a passagem dos veículos de transporte.

Quadro 1 - Logística de Transportes dos módulos

Etapas	Equipamentos	Observações
1) Carregamento na Fábrica 2) Transporte Horizontal da Fábrica até o Canteiro de Obras 3) Transporte Vertical no Canteiro de Obras	Um único veículo do tipo Guindauto com guindaste acoplado de 6,0 toneladas de capacidade (Munck), e carroceria de madeira ou prancha porta-container com plataforma mínima de 6,0 metros.	O equipamento utilizado realiza todas as etapas da logística de transportes

Após a definição dos equipamentos, ficou definido que a melhor opção com relação ao sistema de fundação para o sistema construtivo adotado é a do tipo “radier” por permitir o acesso dos veículos ao perímetro de implantação da edificação, sendo também a opção de fundação economicamente mais viável. No entanto, para que a etapa de transporte e montagem não danifique a estrutura de fundação será necessária a utilização de uma base de apoio entre os equipamentos de transporte e o “radier” com a função de melhor distribuição das cargas dos equipamentos de transporte sob a estrutura.

5. ANÁLISE DA INTERFACE PROJETO - MONTAGEM

Com relação à interface Projeto-Montagem, foi feito um estudo de arranjo funcional da escola compatibilizando as dimensões dos módulos com o programa de usos e necessidades e a legislação vigente (ver Figura 3).

PLANEJ. PROF. 57,60m ²				FUNCION. 28,80m ²					
	SALA PROF. / MAT.	BIBLIOTECA 115,20m ²	MAT.ED.FÍS. 14,40m ²	SANIT.VEST. FEM 28,80m ²	LAB.ARTEs 57,60m ²	SALA DE DANCA 57,60m ²	COZINHA 57,60m ²	REFEITÓRIO 144,00m ²	
	DIDÁTICO 57,60 m ²		ED. FÍSICA 14,40m ²	SANIT.VEST. MASC 28,80m ²					
				CIRCULAÇÃO 144,00m ³					
CONJUNTO DIREÇÃO/ ADMINISTRAÇÃO 115,20m ²	SETOR PEDAGÓGICO 57,60 m ²	SALA DE VÍDEO 57,60m ²	LAB. CTÊNCIAS 57,60m ²						GR. ESTUD. 14,40m ²
									AREA.SERV. 14,40m ²
									CANTINA 28,80m ²

PLANTA BAIXA PRIMEIRO PAVIMENTO

ESC. 1/100

SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²		SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²
	SANIT.VEST. FEM 28,80m ²	SANIT.VEST. MASC 28,80m ²							
					CIRCULAÇÃO 172,80m ³				
SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²	D				LAB. INFORMÁTICA 57,60m ²

PLANTA BAIXA SEGUNDO PAVIMENTO

ESC. 1/100

Figura 3 - Arranjos iniciais dos módulos na edificação.

Devido às dimensões e as características topográficas do terreno e do agrupamento dos módulos, as operações de transporte horizontal e de transporte vertical foram consideradas irrestritas quanto ao acesso, a circulação e a operação por parte do veículo de transporte adotado. Apresenta-se na figura 4 os tipos de módulos definidos de acordo com a posição e função na edificação, possibilitando a padronização da produção e da montagem no canteiro de obras.

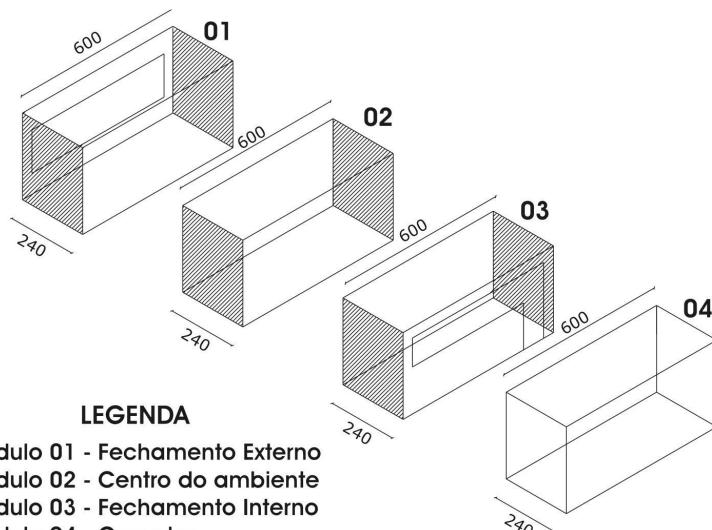


Figura 4 - Tipos de Módulos na Edificação

Na figura 5 é possível visualizar a seqüência de montagem dos módulos, a implantação da edificação e os vetores de circulação do equipamento de transporte e montagem dentro do canteiro de obras. A seqüência de montagem dos módulos foi estipulada em função do alcance da lança de içamento do equipamento de transporte horizontal/vertical escolhido e da estabilidade estrutural provisória dos módulos durante a montagem. A implantação da edificação foi definida de forma a permitir a livre circulação dos equipamentos no canteiro de obras. Para possibilitar a operação do equipamento de montagem, optou-se pela utilização de laje do tipo “radier” ao invés de blocos na fundação. Como a edificação possui a característica de distribuir pequenas cargas em muitos pontos da fundação, a opção pelo “radier” apresenta-se preliminarmente também como a opção mais viável do ponto de vista técnico e econômico.

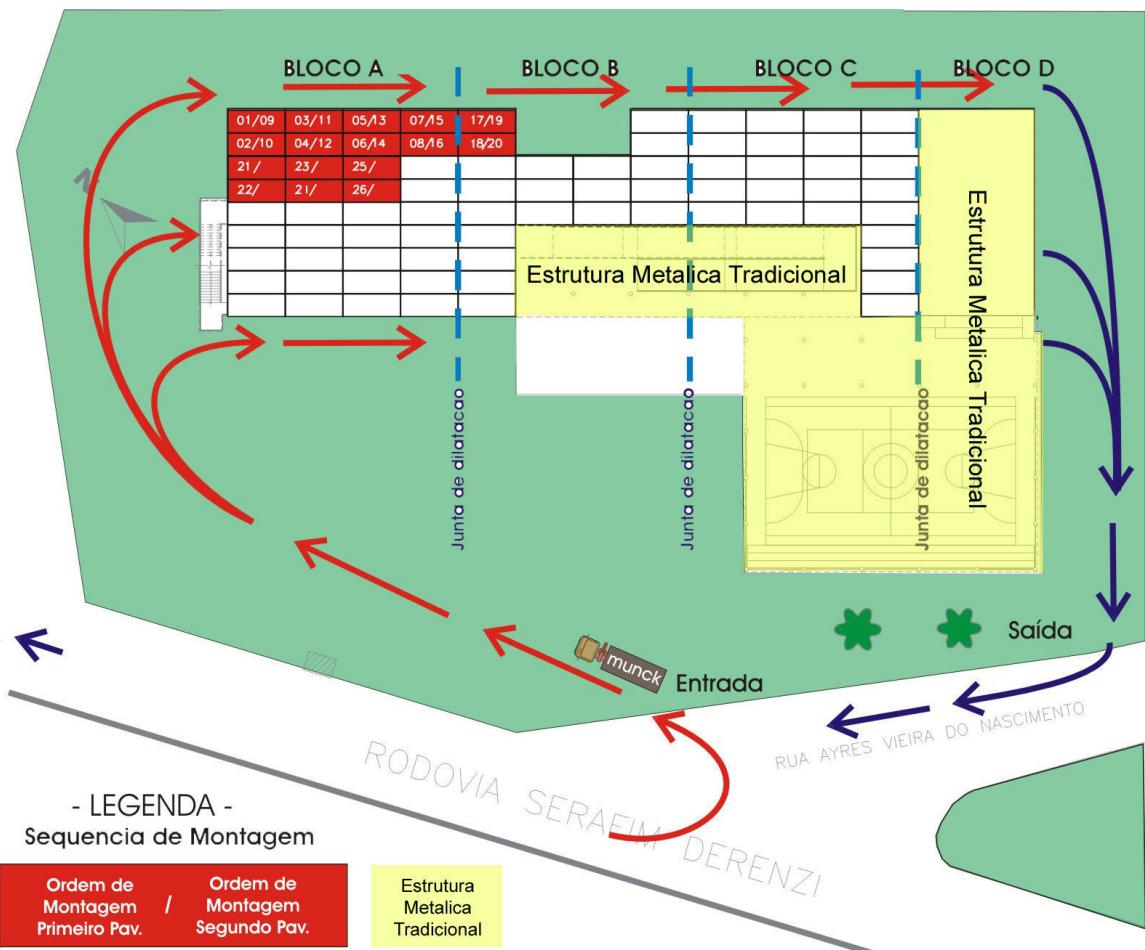


Figura 5 - Arranjos iniciais, logística e seqüência de montagem dos módulos na edificação

6. ESTUDOS INICIAIS DE VIABILIDADE LOCAL DE FABRICAÇÃO

O estudo preliminar desenvolvido foi apresentado a duas empresas metalúrgicas locais de grande porte com reconhecida experiência na produção de estruturas metálicas com a finalidade de delimitar os aspectos relativos à infra-estrutura e aos equipamentos necessários para fabricação dos módulos bem como a viabilidade local de fabricação dos módulos nas empresas entrevistadas quanto aos aspectos técnicos, financeiros, e gerenciais.

6.1. Levantamento da infra-estrutura necessária

Após a apresentação do projeto, os entrevistados afirmaram que a melhor forma de viabilizar a produção dos módulos seria através de um sistema de produção serial de forma a possibilitar um tempo de produção reduzido compatível com a demanda de montagem do canteiro de obras, justificando-se desta forma a opção pelo sistema construtivo.

Com relação à infra-estrutura necessária de uma fábrica para a produção dos módulos ficou estipulado que esta deverá conter no mínimo os seguintes equipamentos: 1) Equipamentos para a produção de perfis (Desbobinadeiras e Perfiladeiras), realização de cortes (Slitters), e aparafusamento; 2) Equipamentos para transporte interno (pontes rolantes, guindastes e esteiras rolantes); e 3) Computadores e demais equipamentos de administração e automação da produção.

Com relação ao espaço físico, ficou estipulado que este deverá ter no mínimo a capacidade (área, altura, equipamentos e compartimentação adequados) para realização das atividades administrativas, de produção, armazenagem de equipamentos e matéria prima e de armazenagem do produto final até este ser transportado.

6.2. Viabilidade local de produção

Com relação a viabilidade local de fabricação dos módulos, as entrevistas foram realizadas abordando os aspectos técnicos, gerenciais e financeiros das empresas, com os seguintes resultados:

EMPRESA A:

Com relação aos aspectos técnicos, o entrevistado afirmou que a empresa não trabalha com perfis de aço leve nem com os componentes necessários para a montagem da estrutura, possuindo apenas parte dos equipamentos necessários para a fabricação dos perfis. O entrevistado afirmou ainda que a empresa possui o espaço físico necessário, no entanto já voltado para outras linhas de produção.

Quanto aos aspectos gerenciais, o entrevistado afirmou que a empresa possui certa dificuldade de análise e de produção dos módulos de perfis de aço leve por não possuir a cultura de montagem de estruturas. O entrevistado afirmou que, no entanto, possui profissionais com formação suficiente para a análise de projetos de estruturas e gerenciar sua execução. O entrevistado afirmou ainda ter boa interação com os possíveis demais agentes da cadeia produtiva da construção modular, como transportadoras e empresas de montagem de estruturas metálicas.

Quanto aos aspectos financeiros, o entrevistado afirmou que a empresa possui capacidade de investimento em compra de equipamentos de produção, que possui a cultura de investimento em novos negócios e que teria interesse em investir na produção de módulos pré-fabricados desde que tivesse certeza dos custos totais e da rentabilidade dos investimentos.

EMPRESA B:

Quanto aos aspectos técnicos o entrevistado afirmou que não trabalha com perfis de aço leve nem com os componentes necessários para a montagem da estrutura. O entrevistado afirmou que a empresa possui apenas parte dos equipamentos necessários para a fabricação dos perfis. A empresa possui o espaço físico necessário, no entanto já voltado para outras linhas de produção.

Quanto aos aspectos gerenciais o entrevistado afirmou que a empresa não possui atualmente capacidade de análise e de produção dos módulos de perfis de aço leve por possuir a cultura apenas de montagem de estruturas em perfis usinados e soldados de maior espessura. O entrevistado afirmou ter boa interação com demais agentes da cadeia produtiva, principalmente empresas de montagem de estruturas metálicas.

Quanto aos aspectos financeiros, o entrevistado afirmou que a empresa possui capacidade de investimento em compra de equipamentos de produção, capacitação de mão de obra e que possui a cultura de investimento em novos negócios. No entanto, o entrevistado afirmou que a empresa possui o seu foco atual voltado para o setor petrolífero e de gás natural.

7. ESTÁGIO ATUAL DAS DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Considera-se que através do ensaio projetual realizado foi possível obter as informações necessárias a respeito da viabilidade da construção modular no Espírito Santo no que diz respeito às interfaces projeto-transporte e projeto-montagem além do direcionamento de soluções projetuais viáveis tecnicamente visando o menor custo possível.

Com relação à interface projeto-transporte, considera-se que a logística de transporte adotada do local de produção até o local de montagem é a solução mais viável do ponto de vista econômico ao mesmo tempo em que atende os pré-requisitos técnicos como capacidade de suporte da infra-estrutura viária, legislações incidentes e capacidade de carga dos equipamentos.

Com relação à interface projeto-montagem, considera-se que o arranjo dos módulos atende a capacidade mínima do equipamento adotado, bem como as soluções técnicas de encaixe e arremate desenvolvidas que não estão apresentadas neste artigo. Espera-se que as soluções adotadas propiciem uma montagem rápida e arremate entre os módulos quase imperceptível.

Com relação aos estudos iniciais de fabricação dos módulos, considera-se também que o levantamento dos equipamentos mínimos necessários para a fabricação possibilitará um estudo mais detalhado da logística de fabricação dentro da unidade fabril envolvendo dimensionamento de equipes e tempos de duração das atividades distintas de produção, e a interface da produção com o projeto arquitetônico e detalhamento.

Com relação a viabilidade local de produção, através das entrevistas realizadas foi possível perceber que o foco atual da produção local de estruturas metálicas está voltado principalmente para a construção de instalações e equipamentos industriais. No entanto as empresas metalúrgicas entrevistadas demonstraram que possuem interesse em investimentos em novos mercados e em novas linhas de produção, e que, no caso da Construção Modular, torna-se necessário uma maior divulgação da tecnologia, preferencialmente através da construção de um protótipo com a evolução do ensaio projetual para um projeto executivo.

8. REFERÊNCIAS

- AUTODESK. AutoCAD versão 2004 para Windows. 1 CD.
- BALDAUF, A.S.F. **Contribuição a implementação da coordenação modular no Brasil.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BIRGERSSON, B. **The Open House 3D Modulus System: Specification of Sustainable and Adaptable Steel Housing.** The Swedish Institute of Steel Construction, Estocolmo, Suécia, 2004.
- BRUNA, P. J.V. **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento.** 2a.ed. São Paulo: Perspectiva, 2002. 310p.
- CAIADO, K. de F. **Estudo e concepção de edifícios em módulos pré-fabricados estruturados em aço.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto.
- CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN. **Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres: Resolução nº 12/98.** Brasília. 1998.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Instruções para Transporte de Cargas Indivisíveis Excedentes em Peso e Dimensões e Trânsito de Veículos Especiais: Resolução nº 2264/81.** Brasília. 1981.
- KOSKELA. L **Application of the new production philosophy to construction.** Technical Report n.72. Stanford: CIFE (Center for Integrated Facility Engineering), September, 1992, 72 p.
- LAWSON, R.M., GRUBB, P.J., PREWER, J. and TREBILCOCK, P.J. **Modular construction using light steel framing: An architects' guide.** The Steel Construction Institute, Berkshire, Inglaterra, 1999.
- LESSING.J. **Industrial production of apartments with steel frame: A study of the Open House System.** The Swedish Institute of Steel Construction, Estocolmo, Suécia, 2003.

EDIFICAÇÕES EM MÓDULOS PRÉ-FABRICADOS EM PERFIS DE AÇO LEVE: UM ENSAIO PROJETUAL.

André Luiz de Alcântara LIMA (1); João Luiz CALMON (2)

(1) Arquiteto, Mestrando no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFES/NEXEM, Rua Coronel Schwab Filho 316/601-Bento Ferreira – Vitória-ES-CEP 29052-070, tel: 0XX27-33254503, e-mail: andrearquiteto@gmail.com

(2) Dr. Ing., Professor no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFES/NEXEM, e-mail: calmont@npd.ufes.br

RESUMO

Uma das formas de se aumentar à racionalização na construção civil é através da pré-fabricação da construção, onde as etapas de transformação dos materiais em componentes construtivos ocorrem em uma unidade fabril ao invés do canteiro de obras. A construção modular em aço, pouco desenvolvida no Brasil e em grande expansão em países como Japão e Inglaterra, se caracteriza pela pré-fabricação de unidades tridimensionais que chegam à obra com a maior parte dos componentes da edificação tais como estrutura, fechamentos e instalações, faltando apenas às etapas de montagem, que incluem o transporte vertical, a conexão e arremate entre os módulos. Baseado em recomendações técnicas de publicações nacionais e estrangeiras, neste trabalho produziu-se um ensaio projetual em construção modular a partir de um programa de projeto para uma escola municipal de Vitória-ES. Ao longo da concepção do projeto foram realizadas entrevistas com profissionais da área de transportes onde foram obtidas as informações necessárias para análise da interface projeto-transporte e projeto-montagem, além do direcionamento de soluções projetuais viáveis tecnicamente visando o menor custo possível. Além do ensaio projetual foi realizado um levantamento inicial junto a duas empresas metalúrgicas locais, referente aos equipamentos e infra-estrutura necessários e a viabilidade local de fabricação dos módulos.

Palavras-chave: Racionalização da construção, Construção modular, Logística na construção civil.

ABSTRACT

One of many ways to increase the civil construction rationalization is through the prefabrication of the construction, which happens when the material's stages of transformation occurs in a factory instead of occurring in the seedbed of workmanships. The modular construction of steel, less developed in Brazil than in other countries like Japan and England, is marked by the prefabrication of tridimensional units that arrives in the workmanship with most of building components such as structure, envelop and technical installations, lacking only the stage of assembly, that includes vertical transport, connections and finishing between the modules. Based in technical recommendations of national e international publications, this research produced an architecture project based in prefabricated modules of steel from a project program for a municipal school in the city of Vitória-ES. Throughout the conception of the project, interviews with professionals of the area of transports had been carried through, where had been gotten the necessary information for analysis of the interface project-transport and project-assembly and the directions for viable technical and economical project solutions. Besides architecture, a initial survey was realized with two local metallurgical companies of the equipments and infrastructure necessary and the viability for the local production of the modules.

Keywords: Lean-construction, Modular construction, Logistic in construction.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil no Brasil, em particular na sub-área de edificações e produção de edifícios, apesar dos avanços conseguidos na última década ainda se caracteriza por um processo construtivo misto artesanal/racionalizado, de baixa produtividade, que gera bastante desperdício e com pouco controle de qualidade.

Atualmente, com a estabilização financeira e o mercado mais competitivo surge uma demanda maior por produtos (construções) cada vez mais eficientes, de menor custo, de menor tempo de produção e de maior qualidade.

Diante das mudanças de mercado, o comportamento das empresas construtoras nacionais está cada vez mais inclinado a racionalização da construção. As inovações na construção civil nacional vêm direcionando os processos construtivos a modelos mais industrializados caracterizados pela racionalização e pela utilização cada vez maior de insumos semi-industrializados e industrializados.

Uma nova forma de pensar a construção civil pode ser vista através do desdobramento de pesquisas baseadas em uma *Nova Filosofia da Produção na Construção* direcionada a adaptar o conceito de *Lean Thinking* originado do *Toyota Production System* (TPS) da indústria automobilística à “Construção Enxuta” ou *Lean Construction* que tem por objetivo uma produção sem perdas. (KOSKELA, 1992).

Apesar de a maioria das discussões em torno da industrialização da construção ser em torno da redução de perdas, da otimização de processos e de aumento qualidade do produto. Bruna (2002) afirma que a própria realidade sócio-econômica brasileira já seria motivo suficiente para a industrialização da construção, e sugere que isto ocorra principalmente no setor de habitação, possibilitando: a redução do déficit habitacional; a viabilização do aumento da renda e da produtividade per capita dos trabalhadores da construção civil; a redução do custo da habitação; e a racionalização dos recursos naturais.

No meio científico, atualmente, a maioria das pesquisas realizadas com relação à racionalização da construção gira em torno da construção civil tradicional e de sua adaptação ao novo cenário econômico através da otimização dos processos construtivos existentes. Desta forma, são poucas as propostas que surgem com caráter de inovação substancial com relação aos processos construtivos, visando alcançar a plena industrialização da construção.

Segundo Blacheré (1966, apud BRUNA, 2002), a industrialização da construção só será plena quando esta conseguir unir racionalização¹ e mecanização² da produção. BRUNA (2002) afirma que para se obter a industrialização há ainda a necessidade da utilização de sistemas construtivos pré-fabricados³.

A Construção Modular é uma das formas de industrialização da construção mais avançadas do ponto de vista tecnológico, sendo bastante desenvolvida em países como Japão e Inglaterra. Apesar das dificuldades de viabilização da construção modular no Brasil, em função do baixo grau de industrialização da construção nacional, enquanto conceito, a construção modular é algo que merece ser estudado e perseguido por ser atualmente um dos sistemas de construção mais avançados no que diz respeito a racionalização da construção.

Do ponto de vista tecnológico conceitual, a Construção Modular se baseia em módulos construtivos pré-fabricados que possuem a função estrutural de suportar as cargas exercidas sobre si mesmas e a função dimensional de permitir o encaixe mútuo e preciso entre os diversos módulos nos sentido vertical e horizontal, de forma que o sistema construtivo é inteiramente produzido em uma unidade

¹ Entende-se à partir de Bruna (2002) que para se atingir a racionalização da construção são necessários o controle e a organização da produção.

² Segundo Bruna (2002) a mecanização na construção é a racionalização de energia e de gastos de produção.

³ Segundo Bruna (2002) a pré-fabricação consiste na racionalização do sistema de construção.

fabil ou não de linhas de produção, deixando para o canteiro de obras apenas as etapas de elevação, encaixe e arremate.

Do ponto de vista da concepção e o desenvolvimento de projetos utilizando sistemas modulares, é importante a utilização da Coordenação Modular⁴ como ferramenta projetual por possibilitar desde a etapa de projetos a intercambialidade entre os componentes construtivos e por consequência uma maior produtividade durante a fabricação e montagem dos módulos no canteiro de obras.

Um dos fatores que alimenta a pouca difusão da Construção Modular no Brasil é a presença de poucos pesquisadores no país dedicados ao tema específico “Construção Modular”. Apesar disso, sobre este assunto, destaca-se a dissertação de mestrado de Caiado (2005) intitulada “*Estudo e concepção de edifícios em módulos pré-fabricados estruturados em aço*”. No exterior se destacam as publicações do SBI – *The Swedish Institute of Steel Construction* (Instituto Sueco de Construção Metálica) e do SCI – *Steel Construction Institute* (Instituto de Construção Metálica - Inglaterra). Ver: Lawson *et al.* (1999), Lessing(2003) e Birgersson (2004).

Diante da carência de material científico nacional específico sobre o tema “Construção Modular”, as publicações produzidas por estes pesquisadores tornou-se a principal fonte de informação sobre Construção Modular para o desenvolvimento desta pesquisa.

Lawson *et al.* (1999) sugere a aplicação da Construção Modular desde pequenas construções até edifícios de múltiplos andares e afirma que a sua utilização está concentrada na Inglaterra, Estados Unidos, Japão, Países Escandinavos e na Alemanha. Lessing (2003) e Birgersson (2004) direcionam suas publicações sobre Construção Modular utilizadas em construções habitacionais de pequeno e médio porte.

A construção modular pode ser vista através dos conceitos de *Lean Thinking* e de *Lean Construction* que considera a produção enquanto um processo baseado em um sistema de fluxos, conversões e valor que tem como objetivo a redução de perdas, de tempo, de custo e o aumento do valor agregado do produto. No caso específico da Construção Modular, as etapas de fluxo correspondem aos fluxos existentes nas etapas de fabricação, transporte e montagem dos módulos pré-fabricados, etapas estas fundamentais na determinação das características e dimensões construtivas dos módulos pré-fabricados e consequentemente da edificação com um todo.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade da construção modular no estado do Espírito Santo através de análise das interfaces projeto-transporte e de projeto-montagem e de análise inicial da infra-estrutura necessária para a fabricação local dos módulos.

Dessa forma, baseado em recomendações técnicas construtivas, em informações a respeito da etapa de transporte e em informações obtidas através de entrevistas com empresas do setor metalúrgico, desenvolveu-se um Ensaio Projetual, um estudo inicial da infra-estrutura necessária da unidade fabril e um estudo de viabilidade local de produção local do sistema construtivo.

O Ensaio Projetual realizado foi de uma Escola Municipal de 1º Grau onde foi considerado o programa de necessidades de uso da edificação e seus condicionantes de funcionalidade, conforto, segurança e estabilidade estrutural da edificação.

⁴ Segundo Lucini (2001, apud BALDAUF, 2004), entende-se por Coordenação Modular como “o sistema modular de referência que a partir de medidas com base em um módulo predeterminado, compatibiliza e organiza tanto a aplicação racional de técnicas construtivas como o uso de componentes em projeto e obra, sem sofrer modificações”.

3. METODOLOGIA

A realização do ensaio projetual foi precedida de revisão bibliográfica. A partir da referida revisão foram obtidas as informações técnicas básicas necessárias à realização do ensaio projetual.

Para a definição de um programa de projetos que norteasse e definisse os objetivos do ensaio projetual foi realizado um contato com a SEMOB – Secretaria Municipal de Obras da Prefeitura de Vitória onde se obteve o programa de necessidades de uma escola municipal localizada no bairro Inhanguetá em Vitória-ES. A partir deste contato foram conseguidas as informações necessárias tais como as diretrizes de projeto, o programa de usos, a localização e o levantamento topográfico do terreno.

A análise da infra-estrutura da unidade fabril foi feita através da parceria com duas grandes metalúrgicas localizadas no município da Serra-ES que demonstraram interesse em contribuir com a pesquisa no estudo da viabilidade de produção dos módulos pré-fabricados.

Para responder as perguntas referentes à interface projeto-transporte foi realizado contato com uma das maiores empresas do estado de locação de equipamentos de transporte vertical e horizontal onde foram obtidas as informações necessárias à concepção do projeto através de reuniões e apresentações parciais dos resultados obtidos, que conduziram à definição das características dimensionais dos módulos pré-fabricados e da edificação, com o objetivo de atender as etapas de transporte horizontal, vertical e a logística de canteiro de obras.

Para estudo da interface projeto-transporte tornou-se necessário a definição do local de produção (sendo escolhida uma das duas metalúrgicas situada no município da Serra-ES, que contribuiu com o estudo inicial de infra-estrutura da unidade fabril) e do local de montagem (terreno localizado no bairro de Inhanguetá em Vitória-ES onde será construída uma escola municipal).

Por meio da definição dos locais de fabricação e montagem foi possível fazer a análise de viabilidade dos possíveis percursos, considerando a legislação rodoviária incidente, a presença de obstáculos físicos e a capacidade dimensional da infra-estrutura viária.

O ensaio projetual, além de considerar as etapas de transporte e montagem no canteiro de obras foi concebido levando em consideração o programa de usos e diretrizes do projeto, a legislação municipal de obras e edificações existentes, a legislação de corpo de bombeiros e as consultas com engenheiro de estruturas. A seu desenvolvimento teve também como finalidade de obtenção de um resultado que no que diz respeito aos condicionantes de conforto e de funcionalidade da edificação.

Para a concepção do Ensaio Projetual foi utilizado programa Autocad (2004). A utilização do programa permitiu a compatibilização dimensional exata com o projeto estrutural e a análise gráfica da etapa de transportes.

A concepção dos projetos partiu de uma seqüência de análise de fluxos macro-espaciais (transporte) para a análise fluxos micro-espaciais (montagem). No entanto, todas as decisões de projeto tomadas partiram da análise concomitante dos fluxos junto à empresa de transportes e ao NEXEM – Núcleo de Excelência em Estruturas Metálicas da UFES – Universidade Federal do Espírito Santo, responsável pelo cálculo estrutural dos módulos e da edificação. A análise de fabricação só foi possível posteriormente com a obtenção dos projetos (arquitetônico e estrutural) detalhados dos módulos e da edificação.

4. ENSAIO PROJETUAL

4.1. Programa de Usos e Diretrizes de Projeto

Para o desenvolvimento do projeto tornou-se necessário a escolha de um terreno de fácil implantação e de um programa de usos e de necessidades que fosse compatível com o pré-requisito da construção modular. Tornou-se necessário que durante a concepção do projeto, houvesse uma regularidade mínima com relação aos ambientes e suas áreas de forma a possibilitar um menor custo de produção.

O terreno escolhido para a implantação da edificação fica localizado no município de Vitória, é plano, possui área aproximadamente de 18 mil metros quadros, das quais 7.778 metros quadrados foram escolhidos para o ensaio projetual.

O programa de usos escolhido para o desenvolvimento do projeto foi o de uma escola municipal de Vitória-ES. O programa utilizado prevê o atendimento de 600 alunos por turno com área útil coberta de aproximadamente 2.800,00 metros quadrados, dividida em setores técnicos, pedagógicos, de assistência ao aluno, de recreação e de serviços.

4.2. Definição do Módulo Construtivo

Para realização do ensaio Projetual, ficou definido junto à empresa especializada em transportes vertical e horizontal, que as características dimensionais dos módulos construtivos deveriam ser similares às dimensões comerciais de contêineres de 20 pés de comprimento (Largura = 2,438 metros, Comprimento = 6,06 metros e Altura = 2,59 metros) por serem estes adequados as dimensões mínimas necessários aos compartimentos da escola, à capacidade da infra-estrutura viária local e a capacidade dos equipamentos de transporte vertical e horizontal.

Com as dimensões construtivas estipuladas, foram feitos os primeiros estudos utilizando o programa computacional AutoCAD (2004), com relação a viabilidade técnica e estrutural dos módulos, adaptando as dimensões de contêineres a uma modulação estrutural necessária para facilitar as etapas de cálculo e fabricação. Nas figuras 1 e 2 podem ser visualizadas a planta baixa esquemática do módulo e uma perspectiva do conjunto de quatro módulos agrupados, respectivamente.

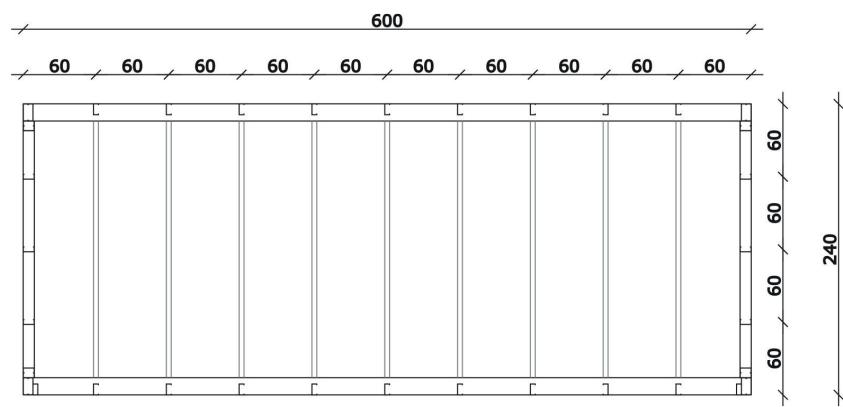


Figura 1 - Planta baixa esquemática do módulo (em centímetros)

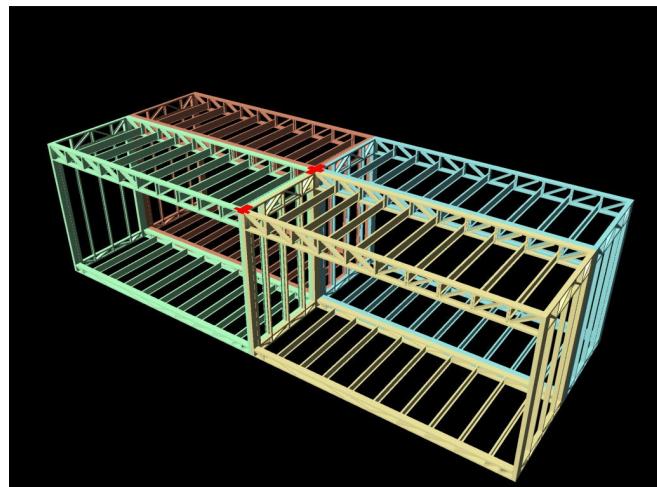


Figura 2 - Perspectiva esquemática de quatro módulos estruturais agrupados

Após a definição das dimensões dos módulos foram feitas simulações gráficas utilizando o programa computacional AutoCAD (2004) com a finalidade de estudar a capacidade dimensional de suporte da

infra-estrutura viária dos possíveis trajetos de transporte. Para esta simulação foram utilizados mapas geo-referenciados em CAD (Computer Aided Design) fornecidos pela PMV – Prefeitura Municipal de Vitória com inserção gráfica, em escala, do veículo de transporte necessário para o transporte dos módulos construtivos.

4.3. Análise da Interface Projeto-Transporte

Para a definição na análise de interface entre projeto e transporte, foram definidos os possíveis trajetos entre o local de produção e montagem dos módulos. Foram encontrados 2(dois) trajetos possíveis, ambos com trechos dentro de vias federais (BR 101) e municipais.

Dessa forma foram feitas as devidas análises com relação à legislação federal e municipal incidente nos trajetos possíveis e sua relação com as dimensões estipuladas para os módulos.

Em análise a legislação que regulamenta o transporte nas rodovias federais referente às dimensões autorizadas para veículos (CONTRAN, 1998) e referente aos limites máximos de peso por eixo ou conjunto de eixos para cargas indivisíveis (DNIT, 1981), observou-se que as dimensões comerciais de contêineres de 20 pés de comprimento (Largura = 2,438 metros, Comprimento = 6,06 metros e Altura = 2,59 metros) tornam viável o transporte dos módulos dentro dos limites estabelecidos pela legislação e que devido as suas dimensões e ao seu baixo peso próprio, dificilmente os módulos construtivos chegariam aos limites estabelecidos, proporcionando inclusive a opção pelos veículos de transporte mais simples. Através da definição da dimensão dos módulos, ficou definida junto à empresa de transportes a logística de transportes horizontal (do local de produção até o local de montagem) e vertical (no canteiro de obras) (Ver Quadro 1).

A legislação municipal segue os mesmos princípios da legislação federal no que diz respeito aos limites dimensionais e de peso dos veículos e seus carregamentos. Foram feitas visitas periódicas ao percurso, com levantamento fotográfico dos principais trechos, com a finalidade de documentar e avaliar a presença ou não de obstáculos, principalmente aéreos, como árvores e fiações que possam vir a criar restrições à passagem dos veículos de transporte horizontal e de transporte vertical ao longo do trajeto. Dessa forma ficou constatada a ausência de obstáculos ao longo do trajeto que pudessem vir a restringir a passagem dos veículos de transporte.

Quadro 1 - Logística de Transportes dos módulos

Etapas	Equipamentos	Observações
1) Carregamento na Fábrica 2) Transporte Horizontal da Fábrica até o Canteiro de Obras 3) Transporte Vertical no Canteiro de Obras	Um único veículo do tipo Guindauto com guindaste acoplado de 6,0 toneladas de capacidade (Munck), e carroceria de madeira ou prancha porta-container com plataforma mínima de 6,0 metros.	O equipamento utilizado realiza todas as etapas da logística de transportes

Após a definição dos equipamentos, ficou definido que a melhor opção com relação ao sistema de fundação para o sistema construtivo adotado é a do tipo “radier” por permitir o acesso dos veículos ao perímetro de implantação da edificação, sendo também a opção de fundação economicamente mais viável. No entanto, para que a etapa de transporte e montagem não danifique a estrutura de fundação será necessária a utilização de uma base de apoio entre os equipamentos de transporte e o “radier” com a função de melhor distribuição das cargas dos equipamentos de transporte sob a estrutura.

5. ANÁLISE DA INTERFACE PROJETO - MONTAGEM

Com relação à interface Projeto-Montagem, foi feito um estudo de arranjo funcional da escola compatibilizando as dimensões dos módulos com o programa de usos e necessidades e a legislação vigente (ver Figura 3).

PLANEJ. PROF. 57,60m ²				FUNCION. 28,80m ²					
	SALA PROF. / MAT.	BIBLIOTECA 115,20m ²	MAT.ED.FÍS. 14,40m ²	SANIT.VEST. FEM 28,80m ²	LAB.ARTEs 57,60m ²	SALA DE DANCA 57,60m ²	COZINHA 57,60m ²	REFEITÓRIO 144,00m ²	
	DIDÁTICO 57,60 m ²	ED. FÍSICA 14,40m ²	SANIT.VEST. MASC 28,80m ²	CIRCULAÇÃO 144,00m ³					
CONJUNTO DIREÇÃO/ ADMINISTRAÇÃO 115,20m ²	SETOR PEDAGÓGICO 57,60 m ²	SALA DE VÍDEO 57,60m ²	LAB. CIENTÍCIAS 57,60m ²						GR. ESTUD. 14,40m ²
									AREA.SERV. 14,40m ²
									CANTINA 28,80m ²

PLANTA BAIXA PRIMEIRO PAVIMENTO

ESC. 1/100

SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60 ²	SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²		SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²
	SANIT.VEST. FEM 28,80m ²	SANIT.VEST. MASC 28,80m ²							
					CIRCULAÇÃO 172,80m ³				
SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60 ²	SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²					LAB. INFORMÁTICA 57,60m ²

PLANTA BAIXA SEGUNDO PAVIMENTO

ESC. 1/100

Figura 3 - Arranjos iniciais dos módulos na edificação.

Devido às dimensões e as características topográficas do terreno e do agrupamento dos módulos, as operações de transporte horizontal e de transporte vertical foram consideradas irrestritas quanto ao acesso, a circulação e a operação por parte do veículo de transporte adotado. Apresenta-se na figura 4 os tipos de módulos definidos de acordo com a posição e função na edificação, possibilitando a padronização da produção e da montagem no canteiro de obras.

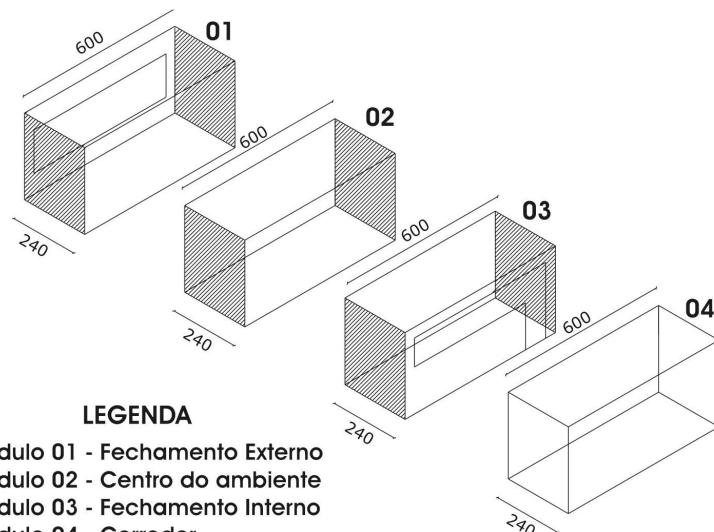


Figura 4 - Tipos de Módulos na Edificação

Na figura 5 é possível visualizar a seqüência de montagem dos módulos, a implantação da edificação e os vetores de circulação do equipamento de transporte e montagem dentro do canteiro de obras. A seqüência de montagem dos módulos foi estipulada em função do alcance da lança de içamento do equipamento de transporte horizontal/vertical escolhido e da estabilidade estrutural provisória dos módulos durante a montagem. A implantação da edificação foi definida de forma a permitir a livre circulação dos equipamentos no canteiro de obras. Para possibilitar a operação do equipamento de montagem, optou-se pela utilização de laje do tipo “radier” ao invés de blocos na fundação. Como a edificação possui a característica de distribuir pequenas cargas em muitos pontos da fundação, a opção pelo “radier” apresenta-se preliminarmente também como a opção mais viável do ponto de vista técnico e econômico.

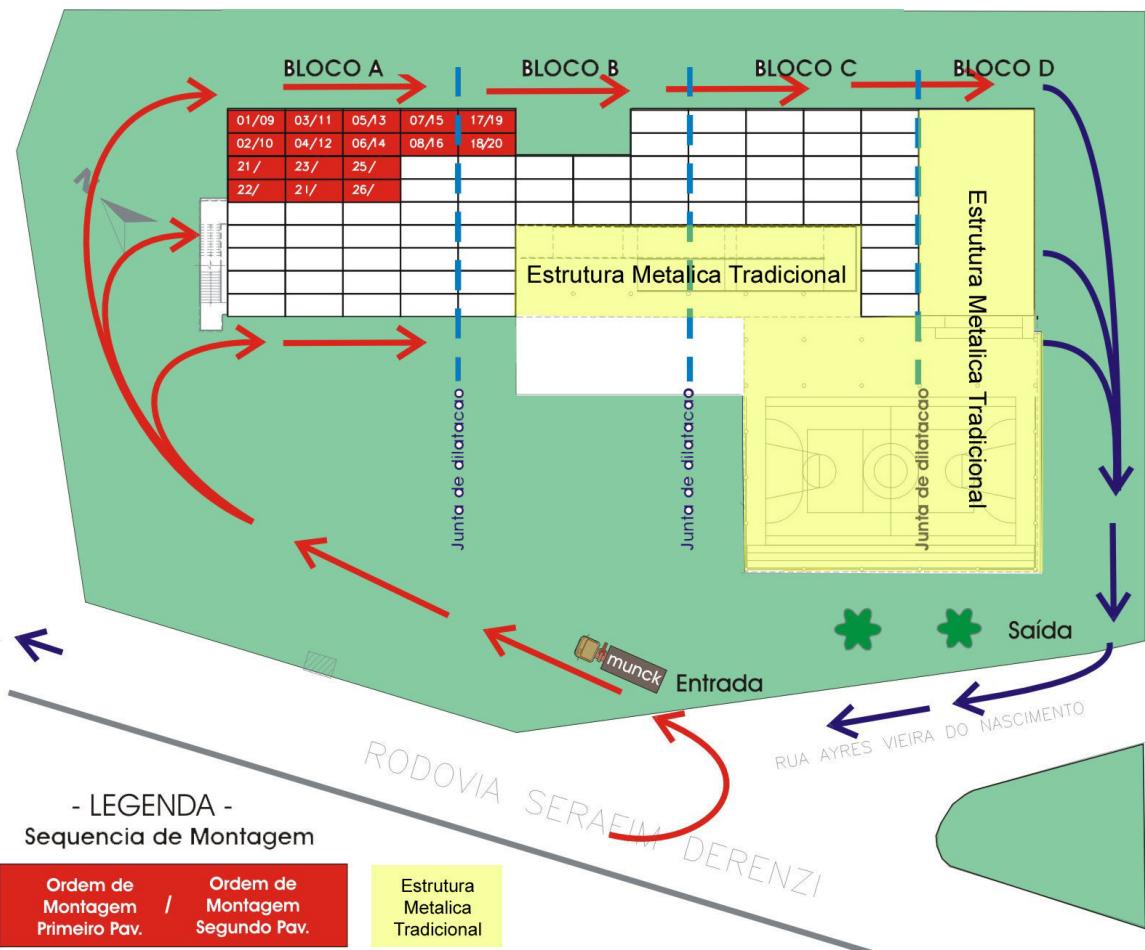


Figura 5 - Arranjos iniciais, logística e seqüência de montagem dos módulos na edificação

6. ESTUDOS INICIAIS DE VIABILIDADE LOCAL DE FABRICAÇÃO

O estudo preliminar desenvolvido foi apresentado a duas empresas metalúrgicas locais de grande porte com reconhecida experiência na produção de estruturas metálicas com a finalidade de delimitar os aspectos relativos à infra-estrutura e aos equipamentos necessários para fabricação dos módulos bem como a viabilidade local de fabricação dos módulos nas empresas entrevistadas quanto aos aspectos técnicos, financeiros, e gerenciais.

6.1. Levantamento da infra-estrutura necessária

Após a apresentação do projeto, os entrevistados afirmaram que a melhor forma de viabilizar a produção dos módulos seria através de um sistema de produção serial de forma a possibilitar um tempo de produção reduzido compatível com a demanda de montagem do canteiro de obras, justificando-se desta forma a opção pelo sistema construtivo.

Com relação à infra-estrutura necessária de uma fábrica para a produção dos módulos ficou estipulado que esta deverá conter no mínimo os seguintes equipamentos: 1) Equipamentos para a produção de perfis (Desbobinadeiras e Perfiladeiras), realização de cortes (Slitters), e aparafusamento; 2) Equipamentos para transporte interno (pontes rolantes, guindastes e esteiras rolantes); e 3) Computadores e demais equipamentos de administração e automação da produção.

Com relação ao espaço físico, ficou estipulado que este deverá ter no mínimo a capacidade (área, altura, equipamentos e compartimentação adequados) para realização das atividades administrativas, de produção, armazenagem de equipamentos e matéria prima e de armazenagem do produto final até este ser transportado.

6.2. Viabilidade local de produção

Com relação a viabilidade local de fabricação dos módulos, as entrevistas foram realizadas abordando os aspectos técnicos, gerenciais e financeiros das empresas, com os seguintes resultados:

EMPRESA A:

Com relação aos aspectos técnicos, o entrevistado afirmou que a empresa não trabalha com perfis de aço leve nem com os componentes necessários para a montagem da estrutura, possuindo apenas parte dos equipamentos necessários para a fabricação dos perfis. O entrevistado afirmou ainda que a empresa possui o espaço físico necessário, no entanto já voltado para outras linhas de produção.

Quanto aos aspectos gerenciais, o entrevistado afirmou que a empresa possui certa dificuldade de análise e de produção dos módulos de perfis de aço leve por não possuir a cultura de montagem de estruturas. O entrevistado afirmou que, no entanto, possui profissionais com formação suficiente para a análise de projetos de estruturas e gerenciar sua execução. O entrevistado afirmou ainda ter boa interação com os possíveis demais agentes da cadeia produtiva da construção modular, como transportadoras e empresas de montagem de estruturas metálicas.

Quanto aos aspectos financeiros, o entrevistado afirmou que a empresa possui capacidade de investimento em compra de equipamentos de produção, que possui a cultura de investimento em novos negócios e que teria interesse em investir na produção de módulos pré-fabricados desde que tivesse certeza dos custos totais e da rentabilidade dos investimentos.

EMPRESA B:

Quanto aos aspectos técnicos o entrevistado afirmou que não trabalha com perfis de aço leve nem com os componentes necessários para a montagem da estrutura. O entrevistado afirmou que a empresa possui apenas parte dos equipamentos necessários para a fabricação dos perfis. A empresa possui o espaço físico necessário, no entanto já voltado para outras linhas de produção.

Quanto aos aspectos gerenciais o entrevistado afirmou que a empresa não possui atualmente capacidade de análise e de produção dos módulos de perfis de aço leve por possuir a cultura apenas de montagem de estruturas em perfis usinados e soldados de maior espessura. O entrevistado afirmou ter boa interação com demais agentes da cadeia produtiva, principalmente empresas de montagem de estruturas metálicas.

Quanto aos aspectos financeiros, o entrevistado afirmou que a empresa possui capacidade de investimento em compra de equipamentos de produção, capacitação de mão de obra e que possui a cultura de investimento em novos negócios. No entanto, o entrevistado afirmou que a empresa possui o seu foco atual voltado para o setor petrolífero e de gás natural.

7. ESTÁGIO ATUAL DAS DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Considera-se que através do ensaio projetual realizado foi possível obter as informações necessárias a respeito da viabilidade da construção modular no Espírito Santo no que diz respeito às interfaces projeto-transporte e projeto-montagem além do direcionamento de soluções projetuais viáveis tecnicamente visando o menor custo possível.

Com relação à interface projeto-transporte, considera-se que a logística de transporte adotada do local de produção até o local de montagem é a solução mais viável do ponto de vista econômico ao mesmo tempo em que atende os pré-requisitos técnicos como capacidade de suporte da infra-estrutura viária, legislações incidentes e capacidade de carga dos equipamentos.

Com relação à interface projeto-montagem, considera-se que o arranjo dos módulos atende a capacidade mínima do equipamento adotado, bem como as soluções técnicas de encaixe e arremate desenvolvidas que não estão apresentadas neste artigo. Espera-se que as soluções adotadas propiciem uma montagem rápida e arremate entre os módulos quase imperceptível.

Com relação aos estudos iniciais de fabricação dos módulos, considera-se também que o levantamento dos equipamentos mínimos necessários para a fabricação possibilitará um estudo mais detalhado da logística de fabricação dentro da unidade fabril envolvendo dimensionamento de equipes e tempos de duração das atividades distintas de produção, e a interface da produção com o projeto arquitetônico e detalhamento.

Com relação a viabilidade local de produção, através das entrevistas realizadas foi possível perceber que o foco atual da produção local de estruturas metálicas está voltado principalmente para a construção de instalações e equipamentos industriais. No entanto as empresas metalúrgicas entrevistadas demonstraram que possuem interesse em investimentos em novos mercados e em novas linhas de produção, e que, no caso da Construção Modular, torna-se necessário uma maior divulgação da tecnologia, preferencialmente através da construção de um protótipo com a evolução do ensaio projetual para um projeto executivo.

8. REFERÊNCIAS

- AUTODESK. AutoCAD versão 2004 para Windows. 1 CD.
- BALDAUF, A.S.F. **Contribuição a implementação da coordenação modular no Brasil.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BIRGERSSON, B. **The Open House 3D Modulus System: Specification of Sustainable and Adaptable Steel Housing.** The Swedish Institute of Steel Construction, Estocolmo, Suécia, 2004.
- BRUNA, P. J.V. **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento.** 2a.ed. São Paulo: Perspectiva, 2002. 310p.
- CAIADO, K. de F. **Estudo e concepção de edifícios em módulos pré-fabricados estruturados em aço.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto.
- CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN. **Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres: Resolução nº 12/98.** Brasília. 1998.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Instruções para Transporte de Cargas Indivisíveis Excedentes em Peso e Dimensões e Trânsito de Veículos Especiais: Resolução nº 2264/81.** Brasília. 1981.
- KOSKELA. L **Application of the new production philosophy to construction.** Technical Report n.72. Stanford: CIFE (Center for Integrated Facility Engineering), September, 1992, 72 p.
- LAWSON, R.M., GRUBB, P.J., PREWER, J. and TREBILCOCK, P.J. **Modular construction using light steel framing: An architects' guide.** The Steel Construction Institute, Berkshire, Inglaterra, 1999.
- LESSING.J. **Industrial production of apartments with steel frame: A study of the Open House System.** The Swedish Institute of Steel Construction, Estocolmo, Suécia, 2003.

EDIFICAÇÕES EM MÓDULOS PRÉ-FABRICADOS EM PERFIS DE AÇO LEVE: UM ENSAIO PROJETUAL.

André Luiz de Alcântara LIMA (1); João Luiz CALMON (2)

(1) Arquiteto, Mestrando no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFES/NEXEM, Rua Coronel Schwab Filho 316/601-Bento Ferreira – Vitória-ES-CEP 29052-070, tel: 0XX27-33254503, e-mail: andrearquiteto@gmail.com

(2) Dr. Ing., Professor no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFES/NEXEM, e-mail: calmont@npd.ufes.br

RESUMO

Uma das formas de se aumentar à racionalização na construção civil é através da pré-fabricação da construção, onde as etapas de transformação dos materiais em componentes construtivos ocorrem em uma unidade fabril ao invés do canteiro de obras. A construção modular em aço, pouco desenvolvida no Brasil e em grande expansão em países como Japão e Inglaterra, se caracteriza pela pré-fabricação de unidades tridimensionais que chegam à obra com a maior parte dos componentes da edificação tais como estrutura, fechamentos e instalações, faltando apenas às etapas de montagem, que incluem o transporte vertical, a conexão e arremate entre os módulos. Baseado em recomendações técnicas de publicações nacionais e estrangeiras, neste trabalho produziu-se um ensaio projetual em construção modular a partir de um programa de projeto para uma escola municipal de Vitória-ES. Ao longo da concepção do projeto foram realizadas entrevistas com profissionais da área de transportes onde foram obtidas as informações necessárias para análise da interface projeto-transporte e projeto-montagem, além do direcionamento de soluções projetuais viáveis tecnicamente visando o menor custo possível. Além do ensaio projetual foi realizado um levantamento inicial junto a duas empresas metalúrgicas locais, referente aos equipamentos e infra-estrutura necessários e a viabilidade local de fabricação dos módulos.

Palavras-chave: Racionalização da construção, Construção modular, Logística na construção civil.

ABSTRACT

One of many ways to increase the civil construction rationalization is through the prefabrication of the construction, which happens when the material's stages of transformation occurs in a factory instead of occurring in the seedbed of workmanships. The modular construction of steel, less developed in Brazil than in other countries like Japan and England, is marked by the prefabrication of tridimensional units that arrives in the workmanship with most of building components such as structure, envelop and technical installations, lacking only the stage of assembly, that includes vertical transport, connections and finishing between the modules. Based in technical recommendations of national e international publications, this research produced an architecture project based in prefabricated modules of steel from a project program for a municipal school in the city of Vitória-ES. Throughout the conception of the project, interviews with professionals of the area of transports had been carried through, where had been gotten the necessary information for analysis of the interface project-transport and project-assembly and the directions for viable technical and economical project solutions. Besides architecture, a initial survey was realized with two local metallurgical companies of the equipments and infrastructure necessary and the viability for the local production of the modules.

Keywords: Lean-construction, Modular construction, Logistic in construction.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil no Brasil, em particular na sub-área de edificações e produção de edifícios, apesar dos avanços conseguidos na última década ainda se caracteriza por um processo construtivo misto artesanal/racionalizado, de baixa produtividade, que gera bastante desperdício e com pouco controle de qualidade.

Atualmente, com a estabilização financeira e o mercado mais competitivo surge uma demanda maior por produtos (construções) cada vez mais eficientes, de menor custo, de menor tempo de produção e de maior qualidade.

Diante das mudanças de mercado, o comportamento das empresas construtoras nacionais está cada vez mais inclinado a racionalização da construção. As inovações na construção civil nacional vêm direcionando os processos construtivos a modelos mais industrializados caracterizados pela racionalização e pela utilização cada vez maior de insumos semi-industrializados e industrializados.

Uma nova forma de pensar a construção civil pode ser vista através do desdobramento de pesquisas baseadas em uma *Nova Filosofia da Produção na Construção* direcionada a adaptar o conceito de *Lean Thinking* originado do *Toyota Production System* (TPS) da indústria automobilística à “Construção Enxuta” ou *Lean Construction* que tem por objetivo uma produção sem perdas. (KOSKELA, 1992).

Apesar de a maioria das discussões em torno da industrialização da construção ser em torno da redução de perdas, da otimização de processos e de aumento qualidade do produto. Bruna (2002) afirma que a própria realidade sócio-econômica brasileira já seria motivo suficiente para a industrialização da construção, e sugere que isto ocorra principalmente no setor de habitação, possibilitando: a redução do déficit habitacional; a viabilização do aumento da renda e da produtividade per capita dos trabalhadores da construção civil; a redução do custo da habitação; e a racionalização dos recursos naturais.

No meio científico, atualmente, a maioria das pesquisas realizadas com relação à racionalização da construção gira em torno da construção civil tradicional e de sua adaptação ao novo cenário econômico através da otimização dos processos construtivos existentes. Desta forma, são poucas as propostas que surgem com caráter de inovação substancial com relação aos processos construtivos, visando alcançar a plena industrialização da construção.

Segundo Blacheré (1966, apud BRUNA, 2002), a industrialização da construção só será plena quando esta conseguir unir racionalização¹ e mecanização² da produção. BRUNA (2002) afirma que para se obter a industrialização há ainda a necessidade da utilização de sistemas construtivos pré-fabricados³.

A Construção Modular é uma das formas de industrialização da construção mais avançadas do ponto de vista tecnológico, sendo bastante desenvolvida em países como Japão e Inglaterra. Apesar das dificuldades de viabilização da construção modular no Brasil, em função do baixo grau de industrialização da construção nacional, enquanto conceito, a construção modular é algo que merece ser estudado e perseguido por ser atualmente um dos sistemas de construção mais avançados no que diz respeito a racionalização da construção.

Do ponto de vista tecnológico conceitual, a Construção Modular se baseia em módulos construtivos pré-fabricados que possuem a função estrutural de suportar as cargas exercidas sobre si mesmas e a função dimensional de permitir o encaixe mútuo e preciso entre os diversos módulos nos sentido vertical e horizontal, de forma que o sistema construtivo é inteiramente produzido em uma unidade

¹ Entende-se à partir de Bruna (2002) que para se atingir a racionalização da construção são necessários o controle e a organização da produção.

² Segundo Bruna (2002) a mecanização na construção é a racionalização de energia e de gastos de produção.

³ Segundo Bruna (2002) a pré-fabricação consiste na racionalização do sistema de construção.

fabil ou não de linhas de produção, deixando para o canteiro de obras apenas as etapas de elevação, encaixe e arremate.

Do ponto de vista da concepção e o desenvolvimento de projetos utilizando sistemas modulares, é importante a utilização da Coordenação Modular⁴ como ferramenta projetual por possibilitar desde a etapa de projetos a intercambialidade entre os componentes construtivos e por consequência uma maior produtividade durante a fabricação e montagem dos módulos no canteiro de obras.

Um dos fatores que alimenta a pouca difusão da Construção Modular no Brasil é a presença de poucos pesquisadores no país dedicados ao tema específico “Construção Modular”. Apesar disso, sobre este assunto, destaca-se a dissertação de mestrado de Caiado (2005) intitulada “*Estudo e concepção de edifícios em módulos pré-fabricados estruturados em aço*”. No exterior se destacam as publicações do SBI – *The Swedish Institute of Steel Construction* (Instituto Sueco de Construção Metálica) e do SCI – *Steel Construction Institute* (Instituto de Construção Metálica - Inglaterra). Ver: Lawson *et al.* (1999), Lessing(2003) e Birgersson (2004).

Diante da carência de material científico nacional específico sobre o tema “Construção Modular”, as publicações produzidas por estes pesquisadores tornou-se a principal fonte de informação sobre Construção Modular para o desenvolvimento desta pesquisa.

Lawson *et al.* (1999) sugere a aplicação da Construção Modular desde pequenas construções até edifícios de múltiplos andares e afirma que a sua utilização está concentrada na Inglaterra, Estados Unidos, Japão, Países Escandinavos e na Alemanha. Lessing (2003) e Birgersson (2004) direcionam suas publicações sobre Construção Modular utilizadas em construções habitacionais de pequeno e médio porte.

A construção modular pode ser vista através dos conceitos de *Lean Thinking* e de *Lean Construction* que considera a produção enquanto um processo baseado em um sistema de fluxos, conversões e valor que tem como objetivo a redução de perdas, de tempo, de custo e o aumento do valor agregado do produto. No caso específico da Construção Modular, as etapas de fluxo correspondem aos fluxos existentes nas etapas de fabricação, transporte e montagem dos módulos pré-fabricados, etapas estas fundamentais na determinação das características e dimensões construtivas dos módulos pré-fabricados e consequentemente da edificação com um todo.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade da construção modular no estado do Espírito Santo através de análise das interfaces projeto-transporte e de projeto-montagem e de análise inicial da infra-estrutura necessária para a fabricação local dos módulos.

Dessa forma, baseado em recomendações técnicas construtivas, em informações a respeito da etapa de transporte e em informações obtidas através de entrevistas com empresas do setor metalúrgico, desenvolveu-se um Ensaio Projetual, um estudo inicial da infra-estrutura necessária da unidade fabril e um estudo de viabilidade local de produção local do sistema construtivo.

O Ensaio Projetual realizado foi de uma Escola Municipal de 1º Grau onde foi considerado o programa de necessidades de uso da edificação e seus condicionantes de funcionalidade, conforto, segurança e estabilidade estrutural da edificação.

⁴ Segundo Lucini (2001, apud BALDAUF, 2004), entende-se por Coordenação Modular como “o sistema modular de referência que a partir de medidas com base em um módulo predeterminado, compatibiliza e organiza tanto a aplicação racional de técnicas construtivas como o uso de componentes em projeto e obra, sem sofrer modificações”.

3. METODOLOGIA

A realização do ensaio projetual foi precedida de revisão bibliográfica. A partir da referida revisão foram obtidas as informações técnicas básicas necessárias à realização do ensaio projetual.

Para a definição de um programa de projetos que norteasse e definisse os objetivos do ensaio projetual foi realizado um contato com a SEMOB – Secretaria Municipal de Obras da Prefeitura de Vitória onde se obteve o programa de necessidades de uma escola municipal localizada no bairro Inhanguetá em Vitória-ES. A partir deste contato foram conseguidas as informações necessárias tais como as diretrizes de projeto, o programa de usos, a localização e o levantamento topográfico do terreno.

A análise da infra-estrutura da unidade fabril foi feita através da parceria com duas grandes metalúrgicas localizadas no município da Serra-ES que demonstraram interesse em contribuir com a pesquisa no estudo da viabilidade de produção dos módulos pré-fabricados.

Para responder as perguntas referentes à interface projeto-transporte foi realizado contato com uma das maiores empresas do estado de locação de equipamentos de transporte vertical e horizontal onde foram obtidas as informações necessárias à concepção do projeto através de reuniões e apresentações parciais dos resultados obtidos, que conduziram à definição das características dimensionais dos módulos pré-fabricados e da edificação, com o objetivo de atender as etapas de transporte horizontal, vertical e a logística de canteiro de obras.

Para estudo da interface projeto-transporte tornou-se necessário a definição do local de produção (sendo escolhida uma das duas metalúrgicas situada no município da Serra-ES, que contribuiu com o estudo inicial de infra-estrutura da unidade fabril) e do local de montagem (terreno localizado no bairro de Inhanguetá em Vitória-ES onde será construída uma escola municipal).

Por meio da definição dos locais de fabricação e montagem foi possível fazer a análise de viabilidade dos possíveis percursos, considerando a legislação rodoviária incidente, a presença de obstáculos físicos e a capacidade dimensional da infra-estrutura viária.

O ensaio projetual, além de considerar as etapas de transporte e montagem no canteiro de obras foi concebido levando em consideração o programa de usos e diretrizes do projeto, a legislação municipal de obras e edificações existentes, a legislação de corpo de bombeiros e as consultas com engenheiro de estruturas. A seu desenvolvimento teve também como finalidade de obtenção de um resultado que no que diz respeito aos condicionantes de conforto e de funcionalidade da edificação.

Para a concepção do Ensaio Projetual foi utilizado programa Autocad (2004). A utilização do programa permitiu a compatibilização dimensional exata com o projeto estrutural e a análise gráfica da etapa de transportes.

A concepção dos projetos partiu de uma seqüência de análise de fluxos macro-espaciais (transporte) para a análise fluxos micro-espaciais (montagem). No entanto, todas as decisões de projeto tomadas partiram da análise concomitante dos fluxos junto à empresa de transportes e ao NEXEM – Núcleo de Excelência em Estruturas Metálicas da UFES – Universidade Federal do Espírito Santo, responsável pelo cálculo estrutural dos módulos e da edificação. A análise de fabricação só foi possível posteriormente com a obtenção dos projetos (arquitetônico e estrutural) detalhados dos módulos e da edificação.

4. ENSAIO PROJETUAL

4.1. Programa de Usos e Diretrizes de Projeto

Para o desenvolvimento do projeto tornou-se necessário a escolha de um terreno de fácil implantação e de um programa de usos e de necessidades que fosse compatível com o pré-requisito da construção modular. Tornou-se necessário que durante a concepção do projeto, houvesse uma regularidade mínima com relação aos ambientes e suas áreas de forma a possibilitar um menor custo de produção.

O terreno escolhido para a implantação da edificação fica localizado no município de Vitória, é plano, possui área aproximadamente de 18 mil metros quadros, das quais 7.778 metros quadrados foram escolhidos para o ensaio projetual.

O programa de usos escolhido para o desenvolvimento do projeto foi o de uma escola municipal de Vitória-ES. O programa utilizado prevê o atendimento de 600 alunos por turno com área útil coberta de aproximadamente 2.800,00 metros quadrados, dividida em setores técnicos, pedagógicos, de assistência ao aluno, de recreação e de serviços.

4.2. Definição do Módulo Construtivo

Para realização do ensaio Projetual, ficou definido junto à empresa especializada em transportes vertical e horizontal, que as características dimensionais dos módulos construtivos deveriam ser similares às dimensões comerciais de contêineres de 20 pés de comprimento (Largura = 2,438 metros, Comprimento = 6,06 metros e Altura = 2,59 metros) por serem estes adequados as dimensões mínimas necessários aos compartimentos da escola, à capacidade da infra-estrutura viária local e a capacidade dos equipamentos de transporte vertical e horizontal.

Com as dimensões construtivas estipuladas, foram feitos os primeiros estudos utilizando o programa computacional AutoCAD (2004), com relação a viabilidade técnica e estrutural dos módulos, adaptando as dimensões de contêineres a uma modulação estrutural necessária para facilitar as etapas de cálculo e fabricação. Nas figuras 1 e 2 podem ser visualizadas a planta baixa esquemática do módulo e uma perspectiva do conjunto de quatro módulos agrupados, respectivamente.

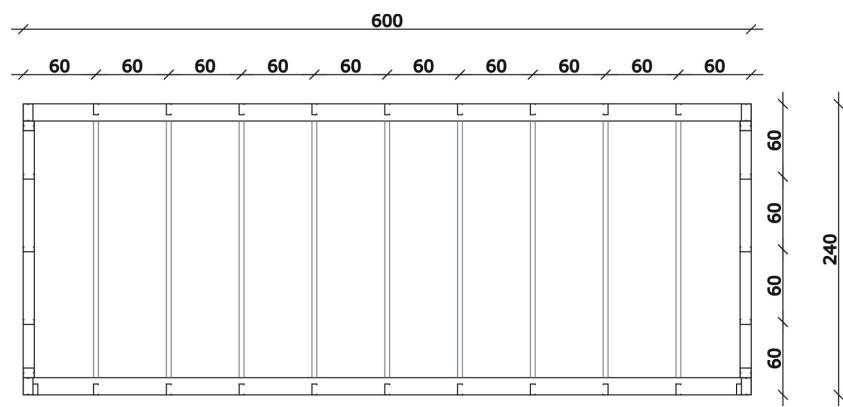


Figura 1 - Planta baixa esquemática do módulo (em centímetros)

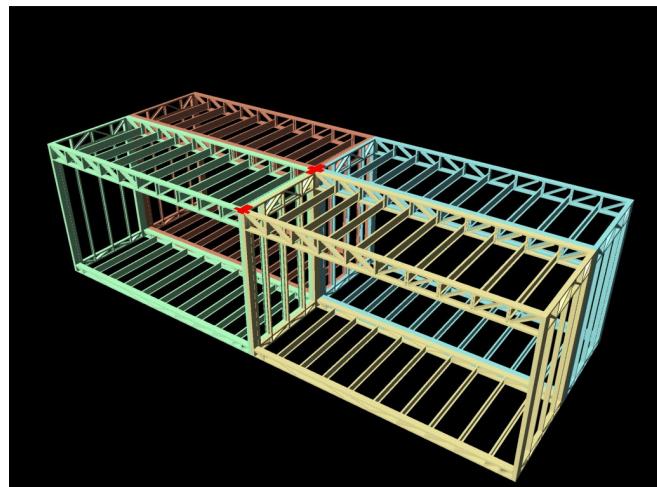


Figura 2 - Perspectiva esquemática de quatro módulos estruturais agrupados

Após a definição das dimensões dos módulos foram feitas simulações gráficas utilizando o programa computacional AutoCAD (2004) com a finalidade de estudar a capacidade dimensional de suporte da

infra-estrutura viária dos possíveis trajetos de transporte. Para esta simulação foram utilizados mapas geo-referenciados em CAD (Computer Aided Design) fornecidos pela PMV – Prefeitura Municipal de Vitória com inserção gráfica, em escala, do veículo de transporte necessário para o transporte dos módulos construtivos.

4.3. Análise da Interface Projeto - Transporte

Para a definição na análise de interface entre projeto e transporte, foram definidos os possíveis trajetos entre o local de produção e montagem dos módulos. Foram encontrados 2(dois) trajetos possíveis, ambos com trechos dentro de vias federais (BR 101) e municipais.

Dessa forma foram feitas as devidas análises com relação à legislação federal e municipal incidente nos trajetos possíveis e sua relação com as dimensões estipuladas para os módulos.

Em análise a legislação que regulamenta o transporte nas rodovias federais referente às dimensões autorizadas para veículos (CONTRAN, 1998) e referente aos limites máximos de peso por eixo ou conjunto de eixos para cargas indivisíveis (DNIT, 1981), observou-se que as dimensões comerciais de contêineres de 20 pés de comprimento (Largura = 2,438 metros, Comprimento = 6,06 metros e Altura = 2,59 metros) tornam viável o transporte dos módulos dentro dos limites estabelecidos pela legislação e que devido as suas dimensões e ao seu baixo peso próprio, dificilmente os módulos construtivos chegariam aos limites estabelecidos, proporcionando inclusive a opção pelos veículos de transporte mais simples. Através da definição da dimensão dos módulos, ficou definida junto à empresa de transportes a logística de transportes horizontal (do local de produção até o local de montagem) e vertical (no canteiro de obras) (Ver Quadro 1).

A legislação municipal segue os mesmos princípios da legislação federal no que diz respeito aos limites dimensionais e de peso dos veículos e seus carregamentos. Foram feitas visitas periódicas ao percurso, com levantamento fotográfico dos principais trechos, com a finalidade de documentar e avaliar a presença ou não de obstáculos, principalmente aéreos, como árvores e fiações que possam vir a criar restrições à passagem dos veículos de transporte horizontal e de transporte vertical ao longo do trajeto. Dessa forma ficou constatada a ausência de obstáculos ao longo do trajeto que pudessem vir a restringir a passagem dos veículos de transporte.

Quadro 1 - Logística de Transportes dos módulos

Etapas	Equipamentos	Observações
1) Carregamento na Fábrica 2) Transporte Horizontal da Fábrica até o Canteiro de Obras 3) Transporte Vertical no Canteiro de Obras	Um único veículo do tipo Guindauto com guindaste acoplado de 6,0 toneladas de capacidade (Munck), e carroceria de madeira ou prancha porta-container com plataforma mínima de 6,0 metros.	O equipamento utilizado realiza todas as etapas da logística de transportes

Após a definição dos equipamentos, ficou definido que a melhor opção com relação ao sistema de fundação para o sistema construtivo adotado é a do tipo “radier” por permitir o acesso dos veículos ao perímetro de implantação da edificação, sendo também a opção de fundação economicamente mais viável. No entanto, para que a etapa de transporte e montagem não danifique a estrutura de fundação será necessária a utilização de uma base de apoio entre os equipamentos de transporte e o “radier” com a função de melhor distribuição das cargas dos equipamentos de transporte sob a estrutura.

5. ANÁLISE DA INTERFACE PROJETO - MONTAGEM

Com relação à interface Projeto-Montagem, foi feito um estudo de arranjo funcional da escola compatibilizando as dimensões dos módulos com o programa de usos e necessidades e a legislação vigente (ver Figura 3).

PLANEJ. PROF. 57,60m ²				FUNCION. 28,80m ²					
	SALA PROF. / MAT.	BIBLIOTECA 115,20m ²	MAT.ED.FÍS. 14,40m ²	SANIT.VEST. FEM 28,80m ²	LAB.ARTEs 57,60m ²	SALA DE DANCA 57,60m ²	COZINHA 57,60m ²	REFEITÓRIO 144,00m ²	
	DIDÁTICO 57,60 m ²	ED. FÍSICA 14,40m ²	SANIT.VEST. MASC 28,80m ²	CIRCULAÇÃO 144,00m ³					
CONJUNTO DIREÇÃO/ ADMINISTRAÇÃO 115,20m ²	SETOR PEDAGÓGICO 57,60 m ²	SALA DE VÍDEO 57,60m ²	LAB. CTÊNCIAS 57,60m ²						GR. ESTUD. 14,40m ²
									AREA.SERV. 14,40m ²
									CANTINA 28,80m ²

PLANTA BAIXA PRIMEIRO PAVIMENTO

ESC. 1/100

SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²		SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²
	SANIT.VEST. FEM 28,80m ²	SANIT.VEST. MASC 28,80m ²							
					CIRCULAÇÃO 172,80m ³				
SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²	SALA DE AULA 57,60m ²					LAB. INFORMÁTICA 57,60m ²

PLANTA BAIXA SEGUNDO PAVIMENTO

ESC. 1/100

Figura 3 - Arranjos iniciais dos módulos na edificação.

Devido às dimensões e as características topográficas do terreno e do agrupamento dos módulos, as operações de transporte horizontal e de transporte vertical foram consideradas irrestritas quanto ao acesso, a circulação e a operação por parte do veículo de transporte adotado. Apresenta-se na figura 4 os tipos de módulos definidos de acordo com a posição e função na edificação, possibilitando a padronização da produção e da montagem no canteiro de obras.

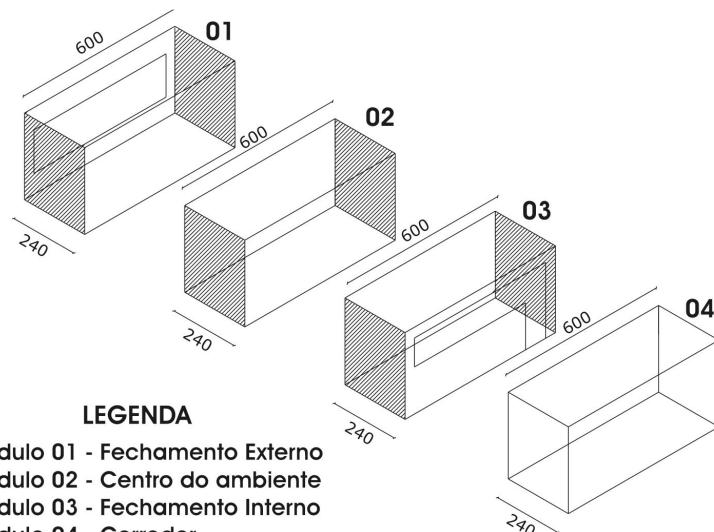


Figura 4 - Tipos de Módulos na Edificação

Na figura 5 é possível visualizar a seqüência de montagem dos módulos, a implantação da edificação e os vetores de circulação do equipamento de transporte e montagem dentro do canteiro de obras. A seqüência de montagem dos módulos foi estipulada em função do alcance da lança de içamento do equipamento de transporte horizontal/vertical escolhido e da estabilidade estrutural provisória dos módulos durante a montagem. A implantação da edificação foi definida de forma a permitir a livre circulação dos equipamentos no canteiro de obras. Para possibilitar a operação do equipamento de montagem, optou-se pela utilização de laje do tipo “radier” ao invés de blocos na fundação. Como a edificação possui a característica de distribuir pequenas cargas em muitos pontos da fundação, a opção pelo “radier” apresenta-se preliminarmente também como a opção mais viável do ponto de vista técnico e econômico.

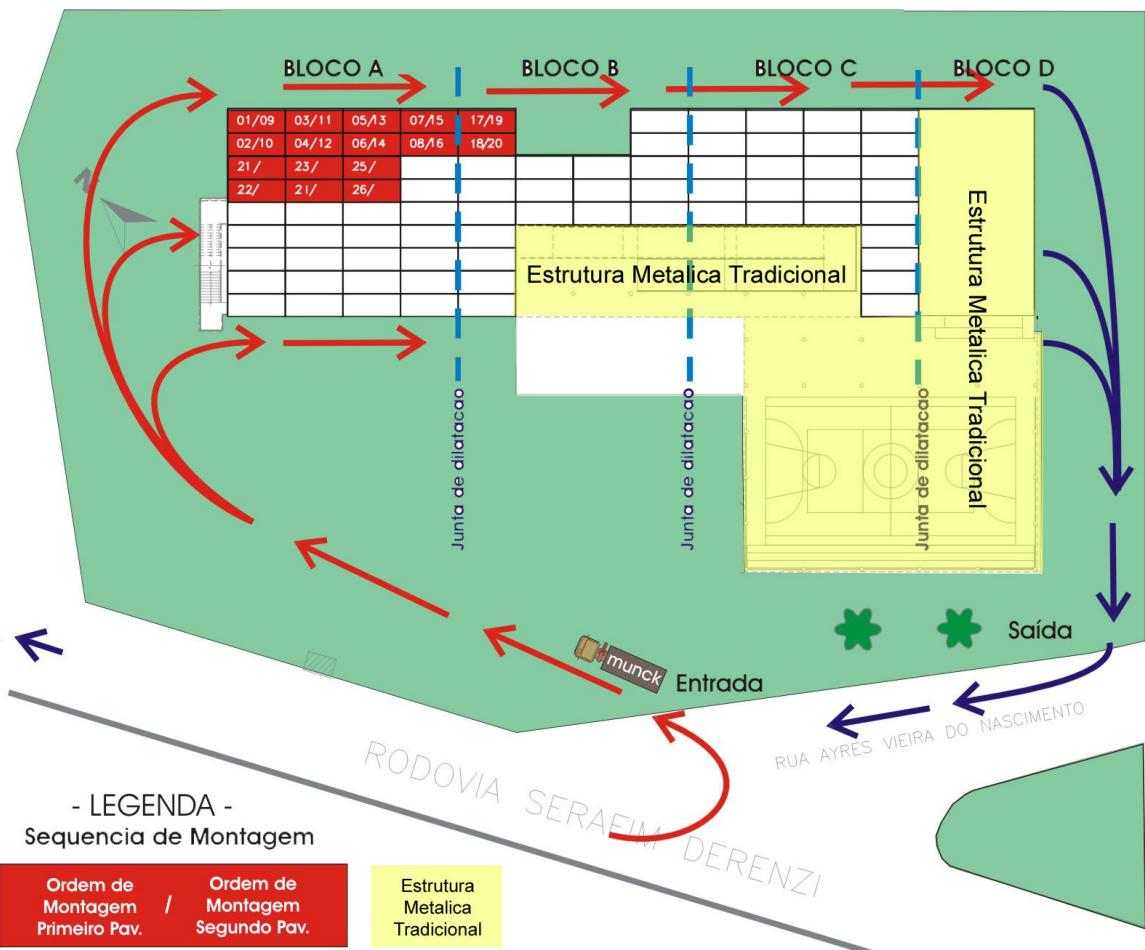


Figura 5 - Arranjos iniciais, logística e seqüência de montagem dos módulos na edificação

6. ESTUDOS INICIAIS DE VIABILIDADE LOCAL DE FABRICAÇÃO

O estudo preliminar desenvolvido foi apresentado a duas empresas metalúrgicas locais de grande porte com reconhecida experiência na produção de estruturas metálicas com a finalidade de delimitar os aspectos relativos à infra-estrutura e aos equipamentos necessários para fabricação dos módulos bem como a viabilidade local de fabricação dos módulos nas empresas entrevistadas quanto aos aspectos técnicos, financeiros, e gerenciais.

6.1. Levantamento da infra-estrutura necessária

Após a apresentação do projeto, os entrevistados afirmaram que a melhor forma de viabilizar a produção dos módulos seria através de um sistema de produção serial de forma a possibilitar um tempo de produção reduzido compatível com a demanda de montagem do canteiro de obras, justificando-se desta forma a opção pelo sistema construtivo.

Com relação à infra-estrutura necessária de uma fábrica para a produção dos módulos ficou estipulado que esta deverá conter no mínimo os seguintes equipamentos: 1) Equipamentos para a produção de perfis (Desbobinadeiras e Perfiladeiras), realização de cortes (Slitters), e aparafusamento; 2) Equipamentos para transporte interno (pontes rolantes, guindastes e esteiras rolantes); e 3) Computadores e demais equipamentos de administração e automação da produção.

Com relação ao espaço físico, ficou estipulado que este deverá ter no mínimo a capacidade (área, altura, equipamentos e compartimentação adequados) para realização das atividades administrativas, de produção, armazenagem de equipamentos e matéria prima e de armazenagem do produto final até este ser transportado.

6.2. Viabilidade local de produção

Com relação a viabilidade local de fabricação dos módulos, as entrevistas foram realizadas abordando os aspectos técnicos, gerenciais e financeiros das empresas, com os seguintes resultados:

EMPRESA A:

Com relação aos aspectos técnicos, o entrevistado afirmou que a empresa não trabalha com perfis de aço leve nem com os componentes necessários para a montagem da estrutura, possuindo apenas parte dos equipamentos necessários para a fabricação dos perfis. O entrevistado afirmou ainda que a empresa possui o espaço físico necessário, no entanto já voltado para outras linhas de produção.

Quanto aos aspectos gerenciais, o entrevistado afirmou que a empresa possui certa dificuldade de análise e de produção dos módulos de perfis de aço leve por não possuir a cultura de montagem de estruturas. O entrevistado afirmou que, no entanto, possui profissionais com formação suficiente para a análise de projetos de estruturas e gerenciar sua execução. O entrevistado afirmou ainda ter boa interação com os possíveis demais agentes da cadeia produtiva da construção modular, como transportadoras e empresas de montagem de estruturas metálicas.

Quanto aos aspectos financeiros, o entrevistado afirmou que a empresa possui capacidade de investimento em compra de equipamentos de produção, que possui a cultura de investimento em novos negócios e que teria interesse em investir na produção de módulos pré-fabricados desde que tivesse certeza dos custos totais e da rentabilidade dos investimentos.

EMPRESA B:

Quanto aos aspectos técnicos o entrevistado afirmou que não trabalha com perfis de aço leve nem com os componentes necessários para a montagem da estrutura. O entrevistado afirmou que a empresa possui apenas parte dos equipamentos necessários para a fabricação dos perfis. A empresa possui o espaço físico necessário, no entanto já voltado para outras linhas de produção.

Quanto aos aspectos gerenciais o entrevistado afirmou que a empresa não possui atualmente capacidade de análise e de produção dos módulos de perfis de aço leve por possuir a cultura apenas de montagem de estruturas em perfis usinados e soldados de maior espessura. O entrevistado afirmou ter boa interação com demais agentes da cadeia produtiva, principalmente empresas de montagem de estruturas metálicas.

Quanto aos aspectos financeiros, o entrevistado afirmou que a empresa possui capacidade de investimento em compra de equipamentos de produção, capacitação de mão de obra e que possui a cultura de investimento em novos negócios. No entanto, o entrevistado afirmou que a empresa possui o seu foco atual voltado para o setor petrolífero e de gás natural.

7. ESTÁGIO ATUAL DAS DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Considera-se que através do ensaio projetual realizado foi possível obter as informações necessárias a respeito da viabilidade da construção modular no Espírito Santo no que diz respeito às interfaces projeto-transporte e projeto-montagem além do direcionamento de soluções projetuais viáveis tecnicamente visando o menor custo possível.

Com relação à interface projeto-transporte, considera-se que a logística de transporte adotada do local de produção até o local de montagem é a solução mais viável do ponto de vista econômico ao mesmo tempo em que atende os pré-requisitos técnicos como capacidade de suporte da infra-estrutura viária, legislações incidentes e capacidade de carga dos equipamentos.

Com relação à interface projeto-montagem, considera-se que o arranjo dos módulos atende a capacidade mínima do equipamento adotado, bem como as soluções técnicas de encaixe e arremate desenvolvidas que não estão apresentadas neste artigo. Espera-se que as soluções adotadas propiciem uma montagem rápida e arremate entre os módulos quase imperceptível.

Com relação aos estudos iniciais de fabricação dos módulos, considera-se também que o levantamento dos equipamentos mínimos necessários para a fabricação possibilitará um estudo mais detalhado da logística de fabricação dentro da unidade fabril envolvendo dimensionamento de equipes e tempos de duração das atividades distintas de produção, e a interface da produção com o projeto arquitetônico e detalhamento.

Com relação a viabilidade local de produção, através das entrevistas realizadas foi possível perceber que o foco atual da produção local de estruturas metálicas está voltado principalmente para a construção de instalações e equipamentos industriais. No entanto as empresas metalúrgicas entrevistadas demonstraram que possuem interesse em investimentos em novos mercados e em novas linhas de produção, e que, no caso da Construção Modular, torna-se necessário uma maior divulgação da tecnologia, preferencialmente através da construção de um protótipo com a evolução do ensaio projetual para um projeto executivo.

8. REFERÊNCIAS

- AUTODESK. AutoCAD versão 2004 para Windows. 1 CD.
- BALDAUF, A.S.F. **Contribuição a implementação da coordenação modular no Brasil.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BIRGERSSON, B. **The Open House 3D Modulus System: Specification of Sustainable and Adaptable Steel Housing.** The Swedish Institute of Steel Construction, Estocolmo, Suécia, 2004.
- BRUNA, P. J.V. **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento.** 2a.ed. São Paulo: Perspectiva, 2002. 310p.
- CAIADO, K. de F. **Estudo e concepção de edifícios em módulos pré-fabricados estruturados em aço.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto.
- CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN. **Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres: Resolução nº 12/98.** Brasília. 1998.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Instruções para Transporte de Cargas Indivisíveis Excedentes em Peso e Dimensões e Trânsito de Veículos Especiais: Resolução nº 2264/81.** Brasília. 1981.
- KOSKELA. L **Application of the new production philosophy to construction.** Technical Report n.72. Stanford: CIFE (Center for Integrated Facility Engineering), September, 1992, 72 p.
- LAWSON, R.M., GRUBB, P.J., PREWER, J. and TREBILCOCK, P.J. **Modular construction using light steel framing: An architects' guide.** The Steel Construction Institute, Berkshire, Inglaterra, 1999.
- LESSING.J. **Industrial production of apartments with steel frame: A study of the Open House System.** The Swedish Institute of Steel Construction, Estocolmo, Suécia, 2003.