

RAPHAEL DE C. S. C. BASTOS

**DA COORDENAÇÃO MODULAR À CONSTRUÇÃO MODULAR:
ESTUDOS DE CASO**

Guaratinguetá - SP

2015

RAPHAEL DE C. S. C. BASTOS

**DA COORDENAÇÃO MODULAR À CONSTRUÇÃO MODULAR:
ESTUDOS DE CASO**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Dr. José Bento Ferreira

Guaratinguetá

2015

B327c	Bastos Raphael de C. S. C. Da coordenação modular à construção modular : estudos de caso / Raphael de C. S. C. Bastos – Guaratinguetá, 2015. 88 f. : il. Bibliografia : f. 85-88 Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015. Orientador: Prof. Dr. José Bento Ferreira 1. Construção civil 2. Construção modular 3. Coordenação modular (Arquitetura) I. Título CDU 69
-------	---

**DA COORDENAÇÃO MODULAR À CONSTRUÇÃO MODULAR:
ESTUDOS DE CASOS**

RAPHAEL DE C. S. C. BASTOS

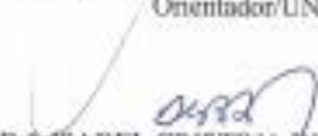
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Prof. Dr. GEORGE DE PAULA BERNARDES
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. JOSE BENTO FERREIRA
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. ISABEL CRISTINA DE BARROS TRANNIN
UNESP-FEG


Prof. Dr. MARCIA REGINA DE FREITAS
UNESP-FEG

Dezembro de 2015

DADOS CURRICULARES

RAPHAEL DE C. S. C. BASTOS

NASCIMENTO	12.07.1990 – SÃO PAULO / SP
FILIAÇÃO	Nélio José Bastos Eunice Maria Soares Cernichiaro Bastos
2008/2015	Curso de Graduação Engenharia Civil Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá Universidade Estadual Paulista

À minha mãe, pelos maiores exemplo que eu poderia ter na vida: me ensinar que só com esforço e agindo de forma honesta conseguimos sucesso.

Ao meu pai, por ter me ensinado muito do que eu sei e moldado parte do que eu sou.

À Fida, por ser a minha maior parceira e incentivadora, tendo acreditado em mim mesmo nos momentos mais difíceis.

À minha avó, Helena, pelo carinho e pelo exemplo de retidão de caráter.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a *Allah, o Clemente, o Misericordioso*, pela minha vida, minha inteligência, minha família, meus amigos e por tudo que me provém.

À minha mãe, por me prover mais do que o necessário, não medindo esforços para me dar mais do que teve, ao longo de toda a minha vida.

À minha noiva, *Fida*, pelo amor, paciência e dedicação ao longo desses anos e pelos que virão. Seu amor e compreensão foram fundamentais para que este sonho pudesse ser realizado.

Ao meu orientador, *Prof. Dr. José Bento Ferreira*, por ter me mostrado que a Engenharia Civil pode e deve ser divertida, inovadora e criativa. Desta forma, tendo me inspirado a prosseguir no curso e fazendo com que eu gostasse desta profissão tão antiga. Agradeço também pela orientação dada ao longo deste trabalho, ao sugerir novos caminhos e formas para que o trabalho ficasse mais consistente.

À *Prof. Dr^a. Márcia Regina Freitas*, por me incumbir a vontade de pesquisar soluções novas, pensar e ver a Engenharia e a Construção Civil de forma mais tecnológica, ágil e moderna, em concordância com os acontecimentos e desenvolvimentos deste século.

Aos demais professores do Departamento, por todo conhecimento ensinado nestes anos de curso.

À todas as outras pessoas que, ao longo destes anos, puderam me ensinar, de diferentes formas e, deste modo, me ajudaram a alcançar este sonho.

~

“Lê, em nome do teu Senhor Que criou; Criou o homem de algo que se agarra (coágulo). Lê, que o teu Senhor é o mais Generoso, Que ensinou através da pena, Ensinou ao homem o que este não sabia”

Alcorão Sagrado, Surata Al 'Alac (96:1-5)

BASTOS, R.de C. S. C. **Da Coordenação Modular à Construção Modular:** Estudos de Caso. 2015. 88 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

RESUMO

O presente trabalho teve o objetivo de apresentar o panorama da Construção Modular, relacionando-a com as premissas fundamentadas na Teoria da Coordenação Modular. A apresentação desta teoria, seu desenvolvimento histórico, sua abrangência e ferramentas, foram realizadas para posteriormente, mostrar como se dá a sua aplicabilidade à fase conceitual e em projetos. Também foram mostrados, estudos de caso afim de ilustrar de forma didática como este processo ocorre. Com base nestes estudos, são tecidas considerações a cerca do uso da modulação em projetos no Brasil, em detrimento do que ocorre no cenário internacional, afim de ressaltar a importância da Coordenação Modular para elevar os padrões de qualidade e racionalidade construtivas no país.

PALAVRAS-CHAVE: Coordenação Modular. Construção Modular. Racionalização da Construção Civil.

BASTOS, R. de C. S: C. **From Modular Coordination to Modular Construction: Cases Studies.** 2015. 88 f. Graduate Work (Graduate in Civil Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

ABSTRACT

The presented work aimed to present the Modular Construction scenario, relating it to the fundamentals assumptions on the Modular Coordination Theory. The presentation of this theory, its historical development, its scope and tools, were conceived to further, show how the applicability on the conceptual and design phases is done. Also, studies cases are shown, in order to illustrate didactically how this process occurs. Basing on these studies, considerations are made about the use of modulation in projects in Brazil, at the expense of what happens on the international scenario, to highlight the importance of Modular Coordination for raising the standards of construction quality and rationality in the country.

KEYWORDS: Modular Coordination. Modular Construction, Construction Rationality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aplicação da medida modular para a civilização grega	19
Figura 2 - Traçado de Emona (Ljubjana Eslovênia).....	19
Figura 3 - Residência japonesa baseada na trama modular.	20
Figura 4 - The Crystal Palace, em Londres (Inglaterra).	21
Figura 5 - Valores do módulo.....	23
Figura 6 - Construção modular atualmente.	34
Figura 7 – Sistema e reticulado modular referencial modular.....	26
Figura 8 - Quadrículas modulares básica, de projeto e estrutural.	27
Figura 9 - Medida modular, nominal, junta modular e ajuste modular.	28
Figura 10 - Ajuste modular positivo, negativo e nulo.	29
Figura 11 - Locação dos componentes segundo a linha de referência.	30
Figura 12 – Locação de componentes no ambiente.....	33
Figura 13 - Planta baixa e de elevação de projetos modulares.	32
Figura 14 - Emprego da Zona Neutra.	32
Figura 15 - Sistema modular fechado.....	36
Figura 16 – Sistema parcialmente aberto.	36
Figura 17 - Exemplo de sistema aberto.	37
Figura 18 - Sistema de painéis pré-fabricados em madeira em edificação.	37
Figura 19 – Exemplo sistema híbrido.....	38
Figura 20 - Exemplo de módulos e tipos em planta real	39
Figura 21 - Organização dos tipos segundo a malha tridimensional.....	39
Figura 22 - Módulos estabilizados em grupo e com estabilizados com núcleo.	40
Figura 23 - Seções utilizadas na construção modular.....	41
Figura 24 - Esquema do modelo em altura - ativa de pórticos rígido	43
Figura 25 - Esquema de distribuição de cargas em sistemas de altura ativa de pórticos, núcleo central e estrutura tubulares.....	44
Figura 26 - Planta de edificação modular mostrando o uso de corredores duplos na linha central e a disposição dos núcleos estabilizadores.	45
Figura 27 - Exemplo de fragmentação utilizado no planejamento dos módulos e tipos.	46
Figura 28 - Comparação de processo construtivo entre Construção Modular e Tradicional. ...	48
Figura 29 - Seção da interface da fundação.....	50
Figura 30 - Locação dos shafts.....	50
Figura 31 - Içamento de módulo	52
Figura 32 - Cone de falha em pontos de içamento em módulos de concreto.	53
Figura 33 - Conexão entre módulos.	53
Figura 34 - Deslocamento máximo para edificações com estrutura de concreto.	55
Figura 35 - Edificação Residencial em Mühlberg, Áustria.	59
Figura 36 - Planta baixa e seção do edifício.....	60
Figura 37 - Esquema do comportamento de um sistema estrutural tubular.	61
Figura 38 - Esquema de montagem dos painéis na superestrutura.....	61

Figura 39 - Vista frontal da creche em Helsinki.....	62
Figura 40 - Planta baixa da edificação.....	63
Figura 41 - Comportamento de um sistema estrutural de pórticos rígidos.....	64
Figura 42 - Montagem e instalação dos módulos.....	65
Figura 43 - Vista frontal do Hotel T30.....	66
Figura 44 – Pavimento tipo da edificação.....	67
Figura 45 - Comportamento da combinação entre parede cisalhada e pórtico rígido.....	68
Figura 46 - Sequência construtiva do T30.....	69
Figura 47 - Vista frontal do Victoria Hall.....	69
Figura 48 – Pavimento térreo e pavimento tipo da edificação.....	70
Figura 49 – Comportamento de sistema em balanço com núcleo.....	71
Figura 50 - Construção do núcleo de concreto e instalação dos módulos.....	72
Figura 51 - Vista frontal do Country Club Village.....	73
Figura 52 – Implantação do condomínio, planta – tipo de uma unidade com 3 quartos e pavimento tipo da edificação nº 6.....	74
Figura 53 – Comportamento do sistema MRMC como sistema tubular.....	75
Figura 54 - Esquema de pré-fabricação in situ.....	76
Figura 55 - Conexão e içamento dos módulos.....	77
Figura 56 - Execução, içamento e locação dos módulos.....	77
Figura 57 - Vista frontal do Beaufort Court.....	78
Figura 58 – Implantação do condomínio e plantas – tipo.....	79
Figura 59 – Esquema da estrutura da edificação de 6 pavimentos no Beaufort Court.....	80
Figura 60 - Esquema das placas de piso tipo "cassettes".	81
Figura 61 – Instalação dos módulos e das placas de piso.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Níveis de utilização dos componentes modulares e pré-fabricados	35
Tabela 2- Relação entre o número pavimentos e necessidade de sistema estabilizador separado.	44
Tabela 3 - Deslocamentos máximos para edificações.	54
Tabela 4 - Ficha Técnica: Edificação em Viena, Áustria	59
Tabela 5 - Ficha técnica da edificação em Helsinki, Finlândia	62
Tabela 6 - Ficha técnica do T30, China	66
Tabela 7 - Ficha técnica do Victoria Hall em Londres, Inglaterra	70
Tabela 8 - Ficha técnica do Country Club Village em Honolulu, EUA	73
Tabela 9 - Ficha técnica do Beaufort Court em Londres, Inglaterra	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DIN	Deutsches Institut für Normung
EUROCODE	European Standards
MBI	Modular Building Institute
NBR	Norma Brasileira Registrada
TCM	Teoria da Coordenação Modular

LISTA DE SÍMBOLOS

δ_a	Deslocamento linear máximo de um grupo de pavimentos
n	número de pavimentos
Θ	Deslocamento angular de uma edificação
H	Altura da edificação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	16
1.2	OBJETIVOS	17
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	MODULAÇÃO	18
2.1	DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO MODULAR	18
2.1.1	Antiguidade e Idade Clássica	18
2.1.2	Revolução Industrial	20
2.1.3	Séculos XX E XXI	21
2.2	ESTUDO DA MODULAÇÃO	24
2.3	TEORIA DA COORDENAÇÃO MODULAR	25
2.3.1	Sistema Modular Referencial	25
2.3.2	Sistema Modular de Medidas	27
2.3.3	Sistema de Ajuste Modular	28
2.3.4	Sistema de Números Preferenciais	29
2.4	DIRETRIZES PARA O PROJETO MODULAR	30
3	APLICABILIDADE DA MODULAÇÃO	34
3.1	CONTEXTO	34
3.1.1	Classificação dos Sistemas Modulares	34
3.1.2	Estudo da Tipologia na Modulação	38
3.2	CONCEPÇÃO DE EDIFICAÇÕES MODULARES	39
3.2.1	Princípios Gerais de Concepção	40
3.2.2	Introdução aos Materiais	41
3.2.3	Princípios Complementares de Concepção	42
3.3	PROCESSO CONSTRUTIVO NO SISTEMA MODULAR	47
3.3.1	Visão Geral do Processo Construtivo	47
3.3.2	Fundações	49
3.3.3	Serviços	50
3.3.4	Montagem e instalação dos módulos	51
3.4	GARGALOS PARA APLICAÇÃO DE SISTEMAS MODULARES NO BRASIL	56
4	ESTUDOS DE CASO	58
4.1	MÉTODO DE SELEÇÃO	58
4.2	ESTUDOS DE CASO: Edificações Modulares em Madeira	58
4.2.1	Estudos de Caso 1: Edificação Residencial em Viena, Áustria	59
4.2.1	Estudos de Caso 2: Creche em Helsinki, Finlândia	62
4.3	ESTUDOS DE CASO: Edificações Modulares em Aço	65
4.3.1	Estudos de Caso 3: T30 Hotel, China	66
4.3.2	Estudos de Caso 4: Victoria Hall, Wembley, Londres	69
4.4	ESTUDOS DE CASO: Edificações Modulares em Concreto	72
4.4.1	Estudos de Caso 5: Country Club Village, Honolulu	73
4.5	ESTUDOS DE CASO: Edificações Modulares Híbridas	78
4.5.1	Estudos de Caso 6: Beaufort Court, Londres, Inglaterra	78
5	CONCLUSÃO	83
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	84

REFERÊNCIAS	85
--------------------------	-----------

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Desde o início da humanidade, as construções desempenham papel ímpar na história, satisfazendo a necessidade básica de se ter um abrigo, além de permitir a reunião de comunidades (seja por motivos religiosos, políticos ou lazer) e também a interligação entre locais, através de estradas e pontes, por exemplo. Para tanto, o homem sempre empregou materiais, cujas características eram conhecidas, em processos construtivos já conhecidos, gerando alguns dos pontos principais do que hoje conhecemos por sistema construtivo.

Nos primórdios, toda a concepção construtiva adivinha do conhecimento empírico adquirido através dos tempos e conforme decorreu a evolução humana, aperfeiçoaram – se os sistemas construtivos, em função das necessidades, exigências, tecnologias, materiais, recursos e conhecimentos disponíveis. Além disso, é em função destes sistemas estruturais que as exigências de qualidade, conforto, segurança e economia podem ser satisfeitas.

Apesar de toda a evolução tecnológica que possibilitou o uso de processos de cálculos mais refinados e o uso de novos materiais, verifica – se o processo construtivo apresenta grande dissonância, uma vez que a forma de se erguer construções tradicionalmente continua a mesma há séculos, estando este, conforme argumentado por Freire (2006), baseado na baixa mecanização, na mão de obra em muitos casos, desqualificada, elevados índices de desperdício e de custos de produção, e portanto, baixa produtividade e baixos níveis de racionalização, sendo estes os efeitos últimos da forma com que os projetos são desenvolvidos, uma vez que não há comprometimento com a integração entre os diversos componentes do ciclo construtivo (fabricantes-projetistas-executores) e do produto final (diversos sistemas que compõem a edificação).

Nota-se que através da competitividade, as empresas começam recorrer à métodos que promovam a eficiência produtiva e consequentemente as façam se manter “vivas” no mercado e portanto, diante deste panorama, inicia – se uma reflexão, provenientes do mercado, sobre a industrialização e a racionalização construtiva, como forma de se aumentar a eficiência.

Como possível resposta à esta reflexão tem-se o sistema construtivo modular, baseado na teoria da coordenação modular (TCM), um sistema dimensional de referencia com base em um módulo (medida-base) que compatibiliza e organiza o uso de espaços. A partir do seu uso na concepção de projetos alcança – se o aumento de eficiência e a racionalização construtiva, uma vez que há aumento produtivo e de montagem, intercambialidade e padronização de componentes, maior repetição de processos. Como consequência mais visível à essa melhora na eficiência e racionalização construtiva (além das citadas) promovidas, tem – se o avanço na rapidez de execução das construções.

Diante disso, fica explícito a necessidade de compreensão da coordenação modular e respectivamente do sistema construtivo modular, como ferramenta para a implementação da industrialização e da racionalização na construção e por fim, para mudar o panorama da Indústria da Construção Civil no Brasil, tido muitas vezes como atrasado ou arcaico.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos do presente trabalho são:

- a) Analisar como se dá a modulação, a coordenação modular e as suas respectivas diretrizes de aplicação em projetos;
- b) Demonstrar a aplicabilidade da modulação como um sistema construtivo em projetos, analisando eventuais princípios para que não haja perda de exequibilidade ou compatibilização com a coordenação modular;
- c) Apresentar estudos de caso que comprovem a eficiência produtiva do sistema construtivo modular;

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos, de forma a introduzir paulatinamente a modulação, seu estudo e aplicações, sendo o primeiro capítulo referente à introdução ao assunto, expondo justificativas para o seu estudo e os objetivos que se pretende alcançar ao fim do trabalho.

No segundo capítulo, com base na revisão bibliográfica, há uma visão geral sobre a teoria da coordenação modular (TCM) e suas diretrizes para aplicação em projetos.

No terceiro capítulo, ainda baseados na revisão bibliográfica, aborda—se a aplicabilidade da coordenação modular como um sistema construtivo, suas classificações e princípios norteadores para conceber de forma integrada uma edificação, além dos gargalos para a sua aplicação no Brasil.

No quarto capítulo são apresentados estudos de caso, tendo em vista a modulação como instrumento de concepção, as soluções estruturais adotadas, conforme previstas no sistema construtivo, sua sequência construtiva e eventualmente comentários quanto aos ganhos físicos-financeiros em relação à construção tradicional.

O quinto capítulo traz as considerações finais do presente trabalho e sugestões para aplicação da coordenação modular e do seu respectivo sistema construtivo no Brasil.

2. MODULAÇÃO

A construção modular, como atualmente conhecemos, baseia – se nos conceitos advindos da coordenação modular e de metodologias de produção racionalizadas, advindos após a Revolução Industrial no século XIX.

Este sistema construtivo, tem como pilar a ideia do módulo, cuja origem do nome provém do latim *modulus*, o qual significa “medida-base, aquilo que serve de medida ou modelo”. Dentro do contexto proposto, usaremos as definições propostas por Ferreira (1999):

- Medida reguladora das proporções de uma obra arquitetônica;
- Quantidade que se toma como unidade de qualquer medida;

A partir das definições propostas, pode – se inferir que o módulo, dentro do ambiente construtivo, é a medida unitária planejada para compor, com unidades análogas, determinada estrutura.

O presente capítulo abordará o desenvolvimento histórico e a construção desta ideia, iniciada sob um caráter estético para os gregos até assumir, definitivamente, um caráter funcional após a Revolução Industrial e o século XX.

2.1 DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO MODULAR

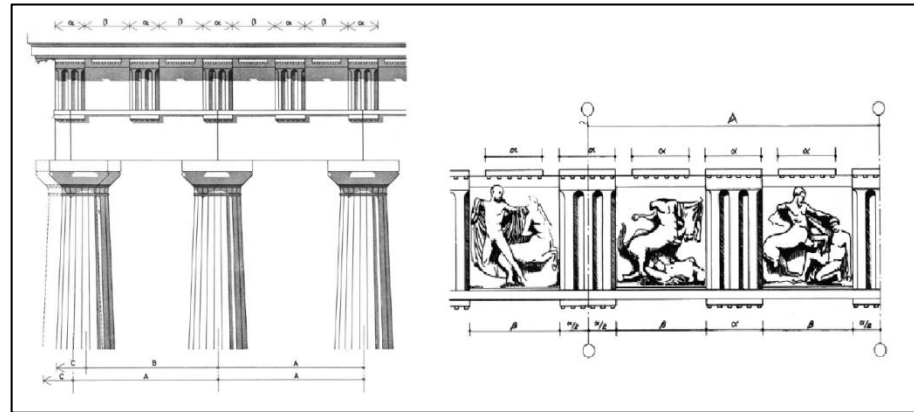
2.1.1 Antiguidade e idade Clássica

Historicamente não se tem certeza sobre quando teve início o interesse humano sobre as relações de proporções na natureza, mas sabe – se que já na Antiguidade havia o interesse quanto à ordenação e harmonia, evocados através dos sistemas de proporções, sendo que este desejo era visível principalmente quando se construíam novas edificações.

Talvez o primeiro exemplo disso venha da civilização egípcia que, segundo autores como Filho (2007) e Bregatto (2008), utilizaram uma relação modular entre as pirâmides e as dimensões dos blocos de pedras que a compunham.

Entretanto, o primeiro relato histórico reconhecido vem da civilização grega que, entendia que a proporção dos elementos era a “expressão da beleza e da harmonia”, conforme Ching (1998). Para tanto, afim de manter o padrão estético das construções, adotou – se como unidade-base o diâmetro da coluna, a partir do qual também se baseavam as demais dimensões da obra (através de sua multiplicação ou divisão). Cabe ressaltar que, embora a coluna fosse a dimensão moduladora dentro da arquitetura grega, o tamanho das colunas variava conforme a edificação, deste modo, conforme Greven e Baldauf (2007), as ordens gregas (dórica, jônica e coríntia), seguiam cada uma, suas próprias proporções. Entretanto, conforme Patinha (2011), verificava – se que a proporção entre o diâmetro da e a altura da coluna era invariável na medida de seis vezes: a altura das colunas deveria ser seis vezes maior que seu diâmetro.

Figura 1 - Aplicação da medida modular para a civilização grega

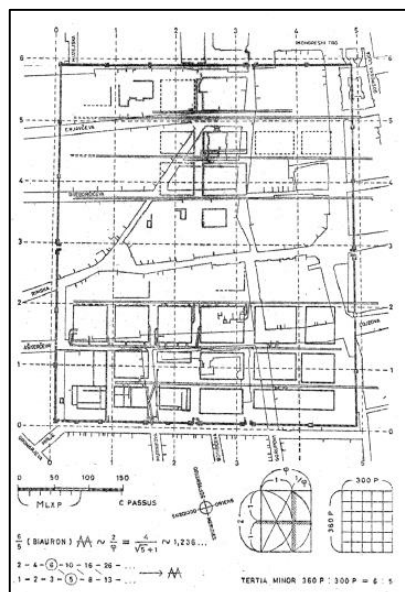


Fonte: Greven e Baldauf (2007)

Os romanos, por sua vez, dotados de um senso essencialmente prático, adotaram uma modulação flexível, segundo Greven e Baldauf (2007), que podia ser aplicada conforme a circunstância em componentes construtivos e até cidades.

O planejamento das cidades e o projeto dos edifícios, por exemplo, obedeciam à um reticulado modular baseado no *passus* romano, múltiplo da unidade *pes*, uma unidade antropométrica. O traçado de Emona, atual Ljubjana na Eslovênia, foi formado por um módulo de 60 *passus*, gerando uma malha de 360 *passus* x 300 *passus*. Há a utilização também de unidades-base na padronização de tijolos, entre outros componentes. Destaca – se a figura do arquiteto romano Vitruvius, que fez intenso uso do módulo, afim de “estabelecer dimensões, proporções e ordenar a construção dos elementos de um componente arquitetônico”, conforme relatado em Freire (2006).

Figura 2 - Traçado de Emona (Ljubjana Eslovênia).

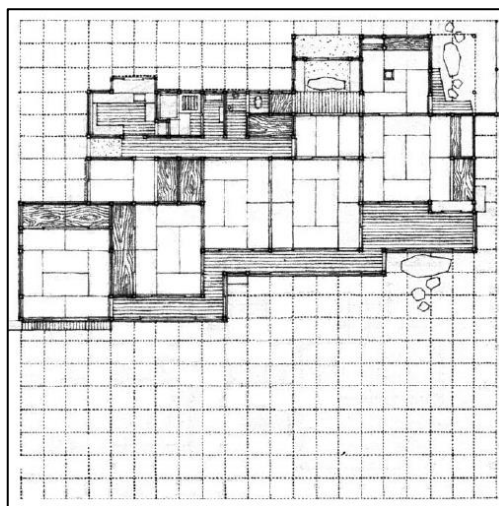


Fonte: Greven e Baldauf (2007)

Durante a segunda metade da Idade Média, os japoneses conseguiram desenvolver a sua unidade-base, denominada *ken*, para toda gama de arquitetura residencial, regendo toda a estrutura, materiais e os espaços, conforme Greven e Baldauf (2007). A partir dessa adoção e uso da trama modular, desenvolveram – se métodos de dimensionamento em projetos, estes, baseados no tradicional tatame (de dimensões $\frac{1}{2} \times 1$ *ken*), visto que este era usado em todos os locais internos da arquitetura japonesa: de forma geral os espaços eram dimensionados de forma a receber, no piso, um número inteiro de tatames, e por fim, as medidas de uma habitação eram expressas pelo número de tatames usados.

Segundo Ching (1998), essa trama possibilitava a disposição de espaços retangulares, de maneira livre, podendo seguir modelos lineares, agrupados ou arbitrários.

Figura 3 - Residência japonesa baseada na trama modular.



Fonte: Greven e Baldauf (2007)

2.1.2 Revolução Industrial

O período de transição de processos produtivos de manufatura, antes artesanais sendo substituído por máquinas, levou ao que conhecemos como Revolução Industrial, começado no meio de século XIX, sendo este um divisor de águas na História, visto que alterou todo o modo de vida cotidiano, em todos os aspectos, inclusive afetando o setor de construção.

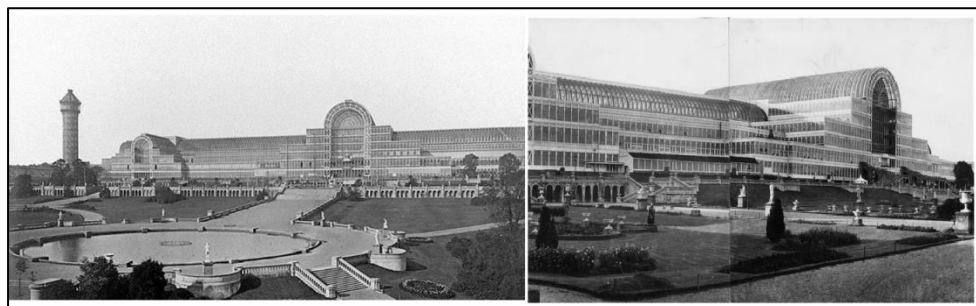
De forma geral, a partir dessa época, a história da construção confunde – se com a industrialização, visto que novas edificações, portos e galpões industriais demandavam novos materiais, como aço e vidro. Além disso, com industrialização surgiram uma série de elementos construtivos pré-fabricados de forma mais rápida, eficiente e padronizada.

Dentro deste contexto, tem – se talvez, a primeira edificação que utilize os conceitos fundamentais da construção modular: The Crystal Palace, em Londres, projetado e construído entre 1850 e 1851 para a Exposição Universal de Londres, por Joseph Paxton.

Para tanto, segundo Bruna (1976), foi realizado previamente um estudo rigoroso e detalhamento à respeito de todos os elementos da construção (projetados para serem produzidos em massa, com as técnicas de fundição usadas na época, permitindo sua montagem e desmontagem), do método de produção, do sistema de montagem, do tempo de construção e dos custos envolvidos.

A partir deste estudo, construiu – se o pavilhão com 71.500 m² com componentes pré-fabricados e montagem in situ (no canteiro), sendo que, o módulo deste projeto foi o vidro utilizado, aplicado em grandes placas de dimensões máximas de 8 pés (240 cm aproximadamente), determinando o reticulado da malha e os múltiplos deste módulo determinaram as posições e dimensões de todas as peças.

Figura 4 - The Crystal Palace, em Londres (Inglaterra).



(Fonte: Disponível em. <http://www.crystalpalacemuseum.org.uk/wp-content/uploads/2014/10/Crystal-Palace-long1.jpg> e em <http://www.thelatestnews.com/wp-content/uploads/2015/07/Crystal-Palace.jpg>)

Pode-se dizer portanto, que a construção do The Crystal Palace, foi o precursor, em mais de cem anos, do que atualmente se conhece como construção modular. Sua construção foi tão marcante que inspirou a construção de edificações similares pelo mundo, como em Madri (Espanha), Porto (Portugal) e na cidade de Petrópolis, na região serrana do Rio de Janeiro.

2.1.3 Séculos XX e XXI

Inspirados pela construção do The Crystal Palace, iniciaram – se a partir da primeira metade do século XX, os primeiros estudos quanto à adoção do módulo na construção civil, visto que, inevitavelmente o setor haveria de acompanhar os processos produtivos de outros setores, como o automobilístico e, conseqüentemente, levaria-se a uma diminuição de custos e tempo de obras.

Entretanto, verificou – se que após uma rápida expansão no início do século, houve um declínio da construção modular, ficando esta restrita à casas pré-fabricadas, estas, por sua vez, sendo utilizadas principalmente nos Estados Unidos. Este cenário só veio a mudar após a 1ª Guerra Mundial (1914-1918), visto que havia demanda habitacional em decorrência da reconstrução de muitas cidades.

Diante disso, destacam – se os estudos realizados por Le Corbusier (arquiteto suíço), Walter Gropius (arquiteto alemão), Alfred Bemis (industrial americano) e Ernst Neufert (arquiteto alemão) que fundamentaram a ideia-base da construção modular: a coordenação modular.

Le Corbusier havia sido o primeiro a declarar a necessidade de se produzir casas em um sistema similar ao fordismo ainda por volta de 1921, mas só começou a desenvolver seus estudos em 1942, utilizando as medidas antropomórficas para tanto e chegando em um módulo conhecido como *Le Modulor*, de valor igual a 1,618 m. Rosso (1976) aponta que o Modulor era mais um instrumento de condicionamento da arquitetura à escala humana do que um meio de coordenação entre projeto e produção.

Gropius por sua vez, foi o primeiro a utilizar o módulo com uma justificação técnico-produtiva, ao estudar o módulo e a coordenação modular tridimensionalmente dentro de uma trama de referência, além das preocupações com tempos e métodos de montagem.

Entretanto, foi Bemis o responsável por expor os fundamentos de uma teoria de coordenação modular, visando utilizar um módulo para os propósitos da indústria moderna, conforme Greven e Baldauf (2007), denominando a técnica concebida por “Cubical Method of Design”. O método, indicando um módulo de 4 polegadas, conforme Rosso (1976), pode ser resumido pelo seguinte axioma de aplicação do módulo-objeto: “todos objetos que satisfaçam à condição de possuírem dimensões múltiplas de uma medida comum, são comensuráveis entre si e, portanto, também o são em relação à construção, o que integrados passam a formar”.

Já Neufert estudou o assunto pouco após a 2ª Guerra Mundial, desenvolvendo um sistema de coordenação octaédrico, promovendo o módulo de 12,5 cm, para que não se alterasse substancialmente a medida dos tijolos tradicionais alemães. Seus estudos levaram à criação da primeira norma sobre o Coordenação Modular: a DIN 4172.

A partir da publicação desta norma e dos estudos realizados concomitantemente em outros países como Estados Unidos, França e Inglaterra, criaram - se metodologias e normas para a utilização de sistemas coordenados modularmente , para que consequentemente, o setor de construção civil fosse integrado aos princípios e métodos de produção industrial.

Diante deste cenário, o Brasil também iniciou seus trabalhos nesta área em 1946, a partir da criação de um grupo na ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) para desenvolver um estudo sobre os elementos da construção, levando em consideração os estudos realizados na América do Norte e Europa, conforme

relatado por FREIRE (2006), gerando em 1950 a antiga NB-25 – “Norma Recomendada para a Modulação da Construção”.

Apesar de ter tido participação nos primeiros estudos sobre coordenação modular, principalmente durante a década de 70 através do BNH (Banco Nacional de Habitação), Universidades e o CBC (Centro Brasileiro para a Construção), que enxergavam este método com uma forma de se reduzir o déficit habitacional, verificou – se que o país não conseguiu a sua implementação no setor de construção civil, haja visto, por exemplo que, a atual norma de coordenação modular NBR 15873 “Coordenação Modular para Edificações” que substituiu a NB-25, data de 1977 e antiga NBR 5786.

Figura 5 - Valores do módulo

Módulo	País	Ano
França	10 cm	1942
Estados Unidos	4 polegadas	1945
Bélgica	10 cm	1948
Finlândia	10 cm	1948
Itália	10 cm	1949
Polônia	10 cm	1949
Brasil	10 cm	1950
Bulgária	10 cm	1951
Alemanha	12,5 cm e 10 cm	1951
Noruega	10 cm	1951
Hungria	10 cm	1951
Suécia	10 cm	1952
Portugal	10 cm	1953
União Soviética	10 cm	1954
Grécia	10 cm	1955
Romênia	10 cm	1956
Áustria	10 cm	1957
Iugoslávia	10 cm	1958
Dinamarca	10 cm	1958
Tchecoslováquia	10 cm	1960
Bielo-Rússia	10 cm	1962
Holanda	10 cm	1965
Inglaterra	4 polegadas	1966

Fonte: Greven e Baldauf (2007)

Fora do país, entretanto, verificou – se que desde as décadas de 50 e 60, a coordenação se consolidou no setor construtivo. Greven e Baldauf (2007) relatam que em países da Europa e América do Norte, sua utilização vai desde o projeto de componentes, sua inserção na formação dos profissionais em Universidades, até o

canteiro de obras. Atualmente, muito ou o seu todo, nestes países, do processo de construção modular é feito com o auxílio de recursos de TI e equipamentos industriais informatizados, permitindo a produção de componentes construtivos dimensionados e compatibilizados entre si para cada cliente, tornando a montagem mais fácil e previsível.

Figura 6 - Construção modular atualmente.



Fonte: Modular Building Institute (2014)

2.2 ESTUDO DA MODULAÇÃO

A definição de construção modular ou coordenação modular, segundo a norma que a rege no Brasil, NBR 5706/1977: “Coordenação Modular da Construção – Procedimento” é: uma “técnica que permite relacionar medidas de projeto com as medidas modulares por meio de um reticulado espacial modular de referência”.

Outros autores vão além desta definição, argumentando que a definição observada em norma a limita apenas como instrumento de projeto. Rosso (1976) e Castelo (2008), defendem que a coordenação modular trata de uma metodologia sistemática que racionaliza a concepção e construção de edifícios, além de elevar a industrialização da construção, mantendo a liberdade de concepção arquitetônica.

Por sua vez o *Modular Building Institute* (MBI) define a construção modular como sendo “um processo no qual a edificação é construída *off-site*, sob condições

fabris controladas, usando os mesmos materiais e projetos para as mesmas normas e padrões utilizados nas construção convencionais. As edificações são produzidas em módulos que quando montadas *in situ*, refletem o mesmo design pretendido e especificações que a maioria das construções tradicionais mais sofisticadas.”

Diante das definições apresentadas, portanto, cabe apenas enfatizar que a coordenação modular vai além da simples coordenação dimensional.

Para que este programa construtivo funcione corretamente são necessários basicamente uma filosofias de projeto, que possibilite a construção racionalizada enfatizada acima: *a coordenação dimensional modular*.

2.3 TEORIA DA COORDENAÇÃO MODULAR – DEFINIÇÕES E CONCEITOS

A coordenação dimensional modular é, conforme Freire (2006), a obtenção da coordenação dimensional (racionalizar as dimensões, considerando a sua relação com a edificação, possibilitando a articulação dos componentes construtivos, sem cortes e ajustes) utilizando um módulo como unidade medida, reduzindo a variedade de dimensões e formas dos componentes, tornando – os intercambiáveis entre si, padronizados, além de facilitar sua posterior montagem e combinação.

Para tanto, são necessários os seguintes princípios:

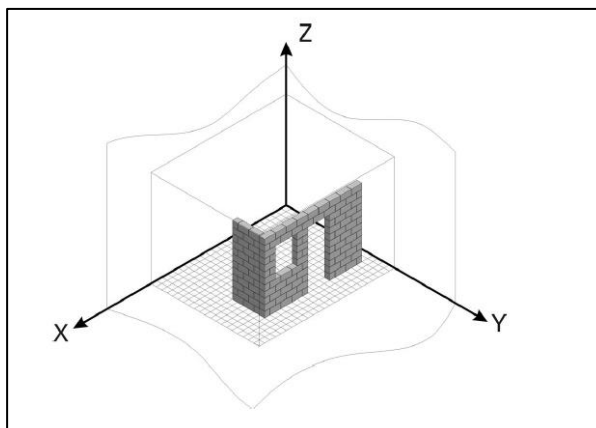
- Sistema modular referencial;
- Sistema modular de medidas;
- Sistema de ajuste modular;
- Sistema de números preferenciais;

A partir destes princípios, pode - se desenvolver um projeto modular, conforme previsto em norma (NBR 5706 – Coordenação Modular). Para tanto, seguem as definições dos conceitos citados.

2.3.1 Sistema Modular Referencial

O sistema de referência (bidimensional ou tridimensional) serve para orientar os componentes construtivos no espaço, promovendo assim segundo Patinha (2011), sua compatibilidade e auxiliando na sua localização.

Este sistema, conforme Greven e Baldauf (2007) é formado por pontos, linhas e planos, em relação ao qual ficam determinadas a posição e a medida de cada componente da construção. Sua utilização ocorre tanto no projeto da edificação quanto na sua execução (montagem).



Fonte Greven e Baldauf (2007)

A partir da utilização do módulo gerador, este sistema se divide em: o “Reticulado espacial modular de referência” e a “Quadrícula modular de referência”.

2.3.1.1 Reticulado Modular de referência

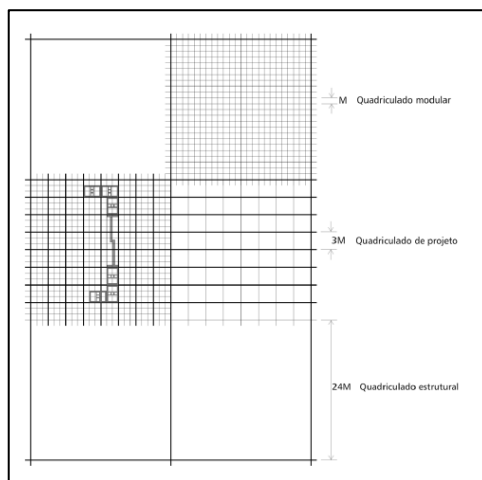
Constituído pela intersecção de três sistemas ortogonais e planos paralelos separados entre si pela distância modular (1 M – 1 Módulo), sendo portanto, uma malha espacial, servido para o posicionamento dos componentes construtivos, juntas e acabamentos.

2.3.1.2 Quadriculado modular de referência (Malha modular)

Configura – se sendo a projeção ortogonal do Reticulado Modular de Referência sobre um plano horizontal ou vertical, possibilitando o posicionamento dos componentes, juntas e acabamentos no projeto e lançamento de medidas em obra. Patinha (2011) e Greven e Baldauf (2007) sugerem que se trata de um sistema bidimensional cuja malha dependerá da pormenorização do projeto, a partir do qual pode se ter:

- Malha modular básica: Usada no projeto de componente e detalhes;
- Malha modular de projeto: Aplicada no desenvolvimento geral do projeto;
- Malha modular estrutural: Utilizada como malha auxiliar no posicionamento dos elementos estruturais;
- Malha modular de obra: Utilizada na localização e orientação da edificação e dos seus componentes durante a montagem;

Figura 8 - Quadriculas modulares básica, de projeto e estrutural.



Fonte: Greven e Baldauf (2007)

2.3.2 Sistema modular de medidas

O sistema modular de medidas é baseado na unidade de medida básica, o módulo, e em múltiplos inteiros ou fracionários do mesmo, pretendendo normalizar as dimensões dos elementos construtivos. Para tanto, segundo Greven e Baldauf (2007), esse sistema deve apresentar as seguintes características:

- Conter as medidas funcionais e dos elementos construtivos;
- Ser aditiva em si mesma;
- Assegurar a intercambialidade das partes mediante a combinação das medidas múltiplas ou fracionárias do módulo;

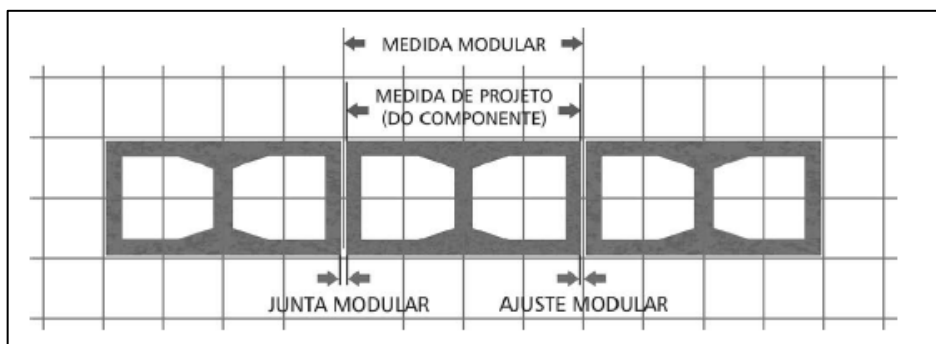
Devido à extensa variedade de dimensões existentes dentro de uma habitação, faz – se necessário o uso de conceitos, partindo deste sistema modular de medidas, afim de manter a proporcionalidade dos elementos e a harmonização dos componentes construtivos definidos em projeto com a sua produção e montagem em obra. Estes conceitos são:

- **Multimódulo:** É uma medida múltipla inteira do módulo, na forma $n \times M$, normalmente utilizada para reduzir a quantidade de medidas que serão utilizadas no projeto ou obra. No Brasil, recomenda – se o multimódulo $2M$ para elevações (coordenação altimétrica) e $3M$ para plantas baixas (coordenação planimétrica);
- **Submódulo:** Deve ser aplicado em casos em que os componentes não possam ser produzidos com as dimensões múltiplas do módulo, apresentando, portanto, a divisão da unidade modular básica, na forma M/n , em que normalmente segundo Rosso (1976), $n = 4$ ou 8 . A

utilização do submódulo, deve ser pouco frequente, afim de evitar a variedade dimensional;

- **Medida Modular:** Corresponde à medida de um módulo ou à um múltiplo inteiro do módulo de um componente, vão ou distância entre partes da construção, incluindo nesta medida o componente em si e uma folga perimetral. Desta forma, pode – se dizer que a medida modular é a medida real do elemento acrescida da sua tolerância prevista na fabricação, o que evita, portanto, a sobreposição dos elementos em obra;
- **Medida de Projeto do Componente ou Medida Nominal:** É a medida determinada para o projeto ou produção de um componente, sendo sempre inferior à medida modular para que sejam incluídas tolerâncias de fabricação e juntas necessárias à colocação do componente em obra;
- **Junta Modular:** Corresponde à distância, de projeto, entre os extremos de dois componentes, considerando a sua medida nominal.

Figura 9 - Medida modular, nominal, junta modular e ajuste modular.



Fonte: Greven e Baldauf (2007)

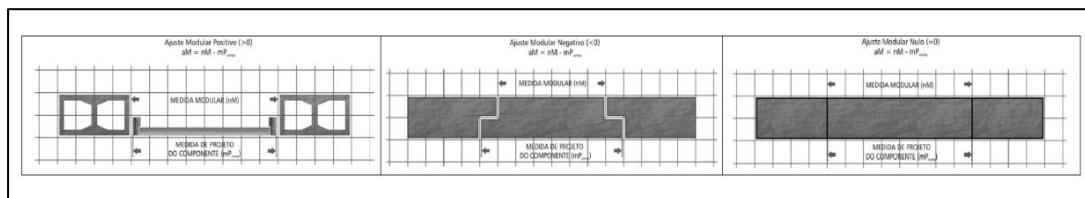
2.3.3 Sistema de ajuste modular

Para que o previsto em projeto e o que ocorre em obra sejam compatíveis, deve existir uma relação entre a medida nominal (aquela prevista em projeto) e a medida modular (aquela verificada na produção) de um componente e à essa relação se dá o nome de ajuste modular.

Esta medida, representada por “aM”, garante, conforme Patinha (2011) que os componentes desempenhem sua função corretamente, definindo também, segundo Greven e Baldauf (2007) os limites dos elementos em função das operações

realizadas em obra (associação e montagem) sem que ocorram adaptações como cortes ou alteração dos componentes e elementos.

Figura 10 - Ajuste modular positivo, negativo e nulo.



Fonte: Greven e Baldauf (2007)

Dependendo da situação de projeto e dos componentes escolhidos, este ajuste pode ser positivo (no caso do espaço modular não ser ocupado totalmente), negativo (quando o componente excede o espaço modular à ele previsto) ou nulo (quando medida modular e de projeto coincidem).

2.3.4 Sistema de números preferenciais

Conforme Greven e Baldauf (2007), o uso de um sistema modular de medidas implica em uma seleção de medidas e que esta devem levar em consideração o tipo e formato de cada componente.

Afim de otimizar o processo produtivo e econômico, faz-se o uso de um sistema que obedeça a regras numéricas seletivas em que a produção dos elementos se desenrola em multimódulos ou submódulos, segundo Patinha (2011), permitindo deste modo, uma seleção mais organizada dos mesmos.

Diante disso, conforme Rosso (1976), este sistema tem como características:

- Ter fixo os seus limites pelas características técnicas dos componentes e as razões econômicas de sua fabricação;
- Pela função que desempenha;
- Por sua forma de união (junta entre componentes);
- Pela possibilidade de dividir – se sem desperdício;

A partir da utilização desse sistema, desenvolve – se o uso de medidas preferíveis (aquelas que melhor se ajustam à Coordenação Modular) e, posteriormente, medidas preferidas (aquelas dentre as medidas preferíveis, a que o mercado utiliza com maior frequência).

Patinha (2007) cita como exemplos as medidas de 600 mm como medida preferida no sistema de Light Steel Framing e a medida de 1200 mm na produção de painéis derivados de madeira, enquanto, no Brasil, a NBR 5706 – Coordenação Modular na Construção Civil, define como as medidas preferíveis e preferidas os multimódulos de 2M e 3M.

2.4 DIRETRIZES PARA O PROJETO MODULAR

O projeto modular, se baseia no sistema de referência, através da malha modular, a partir do qual pode – se local e coordenar os componentes construtivos e a partir disso, ter os desenhos de plantas baixas, fachadas, cortes e demais desenhos pertinentes ao projeto, facilitando sua representação e sua posterior montagem em obra.

Diante disso, a norma NBR 5707 – Posição dos Componentes da Construção em relação à quadricula modular de referência, que complementa a norma de coordenação modular, define que:

“Os espaços modulares de coordenação definidos pela retícula modular são reservados para serem ocupados por:

- a) Componentes Construtivos propriamente ditos;*
- b) Ajustes dos mesmos componentes que são as medidas admitidas pelas suas folgas e tolerâncias;”*

A partir disso, a locação dos componentes pode ocorrer da seguinte forma, em relação à linha de referência do reticulado modular:

- **Simetricamente:** o componente terá seu eixo posicionado sobre uma linha de referência do reticulado, facilitando a marcação da obra;
- **Assimetricamente:** neste caso, o componente terá o eixo posicionado excentricamente (esta excentricidade deve ser submodular);
- **Lateralmente:** o componente terá uma de suas faces posicionada lateralmente em relação à linha de referência e portanto a “borda” do componente fica dentro do eixo da quadricula;

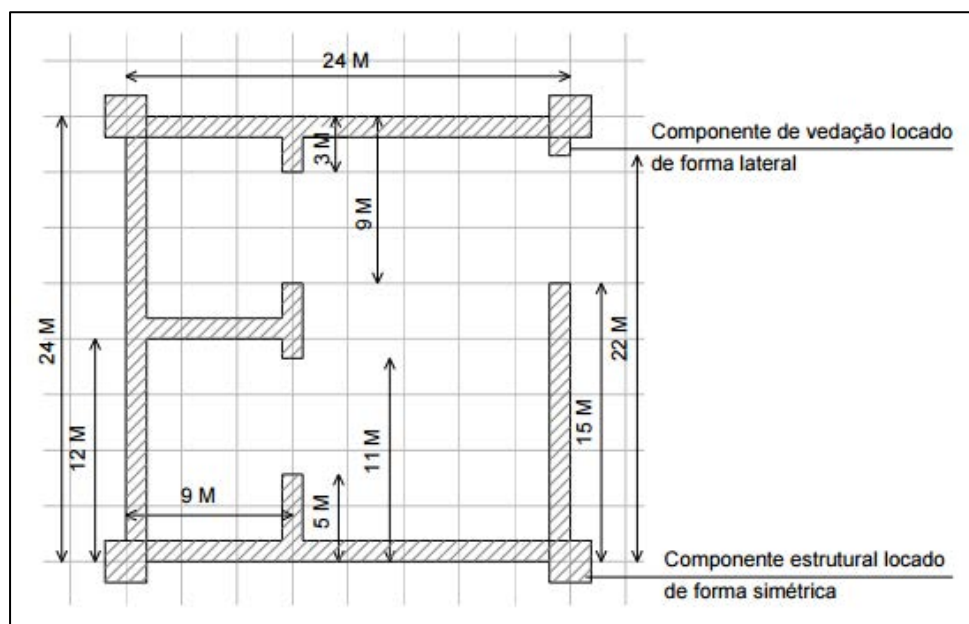
Figura 11 - Locação dos componentes segundo a linha de referência.



Fonte: Greven e Baldauf (2007)

Em muitas situações de projeto, a locação dos componentes pode ocorrer de várias formas continuando a serem modulares. Freire (2006), apresenta um caso em que pode ser verificado duas situações de locação na malha modular dentro do mesmo ambiente.

Figura 12 – Locação de componentes no ambiente.



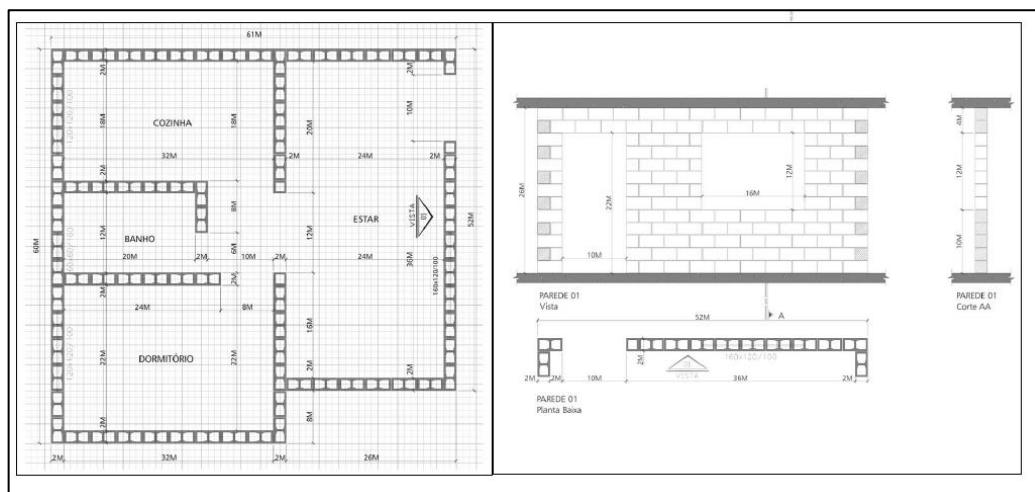
Fonte: Freire (2006)

Para que o projeto modular funcione conforme a coordenação modular, além da locação dos componentes na malha modular, o componente em si que é locado, deve assegurar:

- Seleção: Reduz a variedade de tipos no projeto, além de simplificar as linhas de produção e facilita a estocagem;
- Correlação: Define a relação de reciprocidade que facilita a disposição dos componentes;
- Intercambialidade: Afim de facilitar a montagem, estabelecendo consequentemente critérios e normas para ajustes e tolerância;

O respeito à esses três critérios possibilitam a adição e combinação entre seus componentes, conforme Greven e Baldauf (2007).

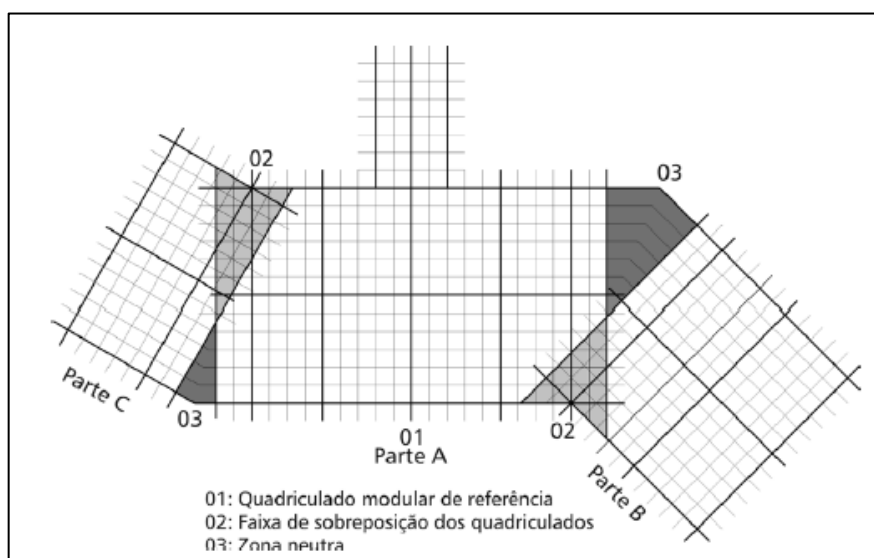
Figura 13 - Planta baixa e de elevação de projetos modulares.



Fonte: Greven e Baldauf (2007)

No caso de se utilizar componentes não modulares o mesmo princípio de adição e combinação deve ser seguido, afim de se obter uma dimensão modular ao final da disposição destes componentes.

Figura 14 - Emprego da Zona Neutra.



Fonte Greven e Baldauf (2007)

Sob determinadas condições, como na qual se trabalha com a separação de partes da edificação em espaços independentes (no emprego de juntas de dilatação, união de blocos girados, partes da edificação não ortogonais entre si) haverá espaços não modulares

conhecidos como zona neutra. Estes espaços, segundo Greven e Baldauf (2007) deve ser restrito aos casos de extrema necessidade.

A partir dessas diretrizes pode – se portanto, desenvolver um projeto modular em seu todo, respeitando os princípios estabelecidos na coordenação dimensional modular para sua concepção, auxiliando os processos produtivos inerentes aos componentes e durante a obra (montagem dos componentes, sejam eles modulares ou não).

3. APLICABILIDADE DA MODULAÇÃO

3.1 CONTEXTO

Um sistema construtivo, é aquele que baseado em um conjunto de teorias, através da combinação entre partes (chamados subsistemas) formam um conjunto (no caso uma edificação) possuindo, para tanto, meios e processos construtivos organizados segundo métodos.

Diante disso, observa – se que uma vez que a teoria da coordenação modular (TCM) preconiza a sua aplicação de forma a racionalizar a construção, conclui – se que um sistema construtivo modular é aquele que utiliza as recomendações advindas da TCM (base teórica) na fase de concepção da edificação, para através da pré-fabricação poder obter o seu produto final.

Segundo Smith (2010) e Patinha (2011), este sistema possibilita:

- Produção seriada de componentes construtivos e, por fim, das habitações, gerando benefícios inerentes à fabricação como: economia de tempo do ciclo produtivo, maior controle de qualidade dos elementos e menor quantidade de resíduos gerados;
- Melhora nas condições de trabalho dos colaboradores – devido à maior controle de segurança trabalhista (similar ao de fábricas) e menor exposição à intempéries;
- Divisão dos elementos afim de facilitar seu transporte para qualquer local;
- Racionalização de custos nos elementos e no sistema construtivo em geral;

Diante disso, nesta fase do trabalho será analisado como se dá a utilização da teoria de coordenação modular em um sistema construtivo, como ferramenta de concepção, além de questões como quais materiais podem ser usados, quais métodos de pré-fabricação podem ser usados e tópicos sobre o processo construtivo.

3.1.1 Classificação dos Sistemas Modulares

A coordenação modular, como premissa de projeto, permite que se considerem diversas técnicas executivas que variam desde sistemas altamente pré-fabricados, em que somente há o trabalho de transporte dos módulos até o local de obra, até sistemas mais simples como os de construção a seco, montado in loco por encaixes sucessivos, conforme relatado por Patinha (2008).

Diante disso, pode – se classificar o nível de pré-fabricação inserido na construção modular em, segundo Lawson et al. (2014), conforme a Tabela 1:

Tabela 1 - Níveis de utilização dos componentes modulares e pré-fabricados.

NÍVEL	COMPONENTES	DESCRIÇÃO DA TECNOLOGIA
0	Materiais	Materiais básicos de construção de uso intensivo in loco, como concreto armado e alvenarias
1	Componentes	Elementos pré-fabricados, usados como parte da construção in loco, como treliças ou pilares de concreto pré-fabricadas
2	Sistemas Estruturais Planos	Combinação de componentes (nível 1) em 2 dimensões: sistemas estruturais planos, como frames ou painéis
3	Sistemas Volumétricos	Unidades totalmente modular, com alto grau de pré-fabricação, resultantes da combinação entre componentes e sistemas planos, gerando os módulos ou criando partes maiores das edificações.
4	Sistemas construtivos completos	Edificação feita inteiramente de forma modular e pre-fabricada

Fonte: Lawson et al. (2014)

Para que os níveis mostrados na Tabela 1, sejam possíveis, na maioria das vezes, pode – se recorrer à sistemas de ciclo aberto para que desta forma, haja o intercâmbio dos componentes entre si, conforme previsto na TCM.

Conceitualmente, deve – se entender o edifício de uma forma não convencional: o edifício sendo composto por elementos planos, como painéis, ou elementos volumétricos, como blocos e não mais, somente por elementos lineares e planos.

A partir disso, no caso dos sistemas volumétricos tendo como base a sua morfologia e o seu respectivo processo de montagem, pode – se usar a seguinte classificação, conforme Lawson et al (2014) e Smith (2010):

- **Sistemas Modulares Fechados:** Unidades volumétricas, similares a containers, geralmente altamente pré-fabricadas, possuem alto grau de padronização e que são transportadas até o local da obra, podendo ser “empilhável” em outros módulos ou suspensos por estrutura metálica;

Figura 15 - Sistema modular fechado



Fonte: Loftcube (2015)

- **Sistemas modulares parcialmente abertos:** São estruturas semelhantes às anteriores, entretanto, possuem aberturas laterais permitindo a sua ligação com outros módulos, podendo ser pré-acabados com seu isolamento antes do transporte ao local da obra. Podem ser empilháveis em vários módulos de altura;

Figura 16 – Sistema parcialmente aberto.



Fonte: Adaptado de Lawson et al (2014)

- **Sistemas modulares abertos:** São módulos abertos de 4 lados, com sustentação nas vigas (suportando os pisos) e pilares laterais, podendo ser agrupados de forma a criar ambientes cobertos maiores;

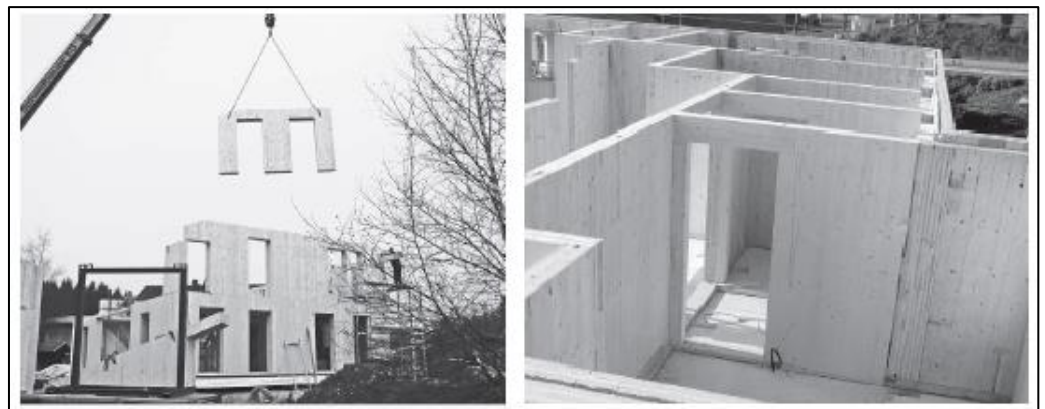
Figura 17 - Exemplo de sistema aberto.



FONTE: Smith (2010)

- **Sistemas de elementos modulares:** Neste sistema os elementos estruturais e não estruturais são fabricados com dimensões padrão base, sendo de fácil ligação entre si. Normalmente são painéis pré-fabricados ou revestimentos de fachadas (“cladding panels”);

Figura 18 - Sistema de painéis pré-fabricados em madeira em edificação.



Fonte: Smith (2010)

- **Sistemas modulares híbridos:** São sistemas em que há a mistura de diversos sistemas em níveis de pré-fabricação para compor a estrutura final da edificação;

Figura 19 – Exemplo sistema híbrido



Fonte: Cadolto (2015)

3.1.2 Estudo da Tipologia na Modulação

A tipologia pode ser entendida como um método de categorização aos estudos sistemáticos, sendo um estudo dos tipos que podem constituir uma regra e, desta forma, pode ser utilizada para a compartimentação de espaços a serem ampliados, modelados ou convertidos.

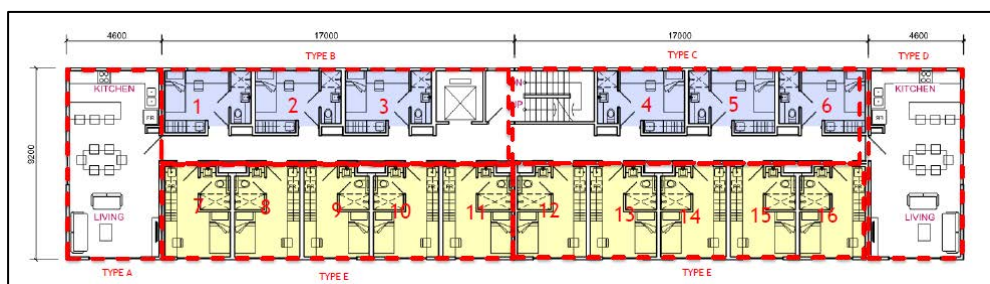
Diante disso, mostra-se que a tipologia e a forma estão ligadas, em que uma é matéria prima da outra, isso é, a forma é “matéria prima” da tipologia, mas a tipologia é que irá determinar, em última análise, a forma.

Neste contexto portanto, o módulo pode ser entendido como a parte mais elementar de um todo, seja um edificação, rua, etc. Este todo, pode ser entendido como o tipo. Portanto, é correto dizer que o tipo pode vir a ser módulo em nível seguinte de modulação, conforme a escala de modulação em que se avalia um problema.

A partir disso, segundo Castelo (2008), para a implementação destas ideias, torna-se necessário um sistema que relacione os processos de articulação dos módulos, acentuando a capacidade de crescimento orgânico do sistema, isso é, gerar diferentes tipos e permitir sua evolução, controladamente.

Estas ideias, de forma fenomenológica, reúnem o “conjunto de associações topológicas e de vivências, que formam agrupamentos de espaços afins, a partir dos quais se formam para cada um, módulos que irão dialogar entre si dentro do contexto do objeto arquitetônico a se formalizar” (CASTELO, 2008).

Figura 20 - Exemplo de módulos e tipos em planta real

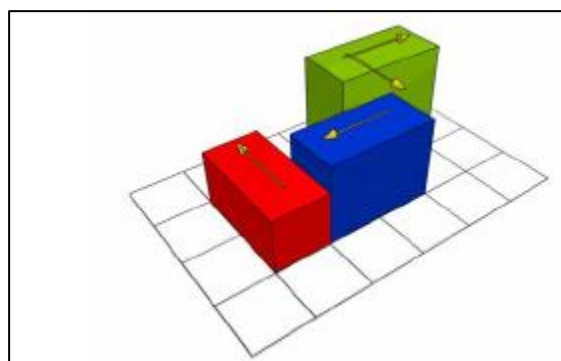


Fonte: Adaptado de PCA (2014)

Portanto, como pressuposto, o sistema modular utiliza como articulação o módulo, toda região (tipo) e subsistemas funcionais associados à mesma (módulos), isso é, as mesmas necessidades devem ser agrupadas num dado ambiente.

A partir da repetição, articulação e combinação destes módulos e tipos, segundo malhas estruturantes, conforme proposto pela coordenação modular, forma – se o todo, ou o objeto arquitetônico desejado.

Figura 21 - Organização dos tipos segundo a malha tridimensional



Fonte: Adaptado de Castelo (2008)

A organização dos módulos, segundos malhas tridimensionais, propicia o crescimento orgânico conforme os princípios orientadores que se pretender, em função das características de cada projeto e portanto, criando fluidez estética mas correspondente à ideia da normalização proposta.

3.2 CONCEPÇÃO DE EDIFICAÇÕES MODULARES

A fase de concepção de edificações modulares é um complexo inter-relacionamento entre o espaço, a função pretendida para o edifício e a viabilidade econômica do uso de módulos similares, devendo aliar a flexibilidade quanto ao

planejamento dos espaços internos juntamente com a padronização e a eficiência dada pelo processo de manufatura.

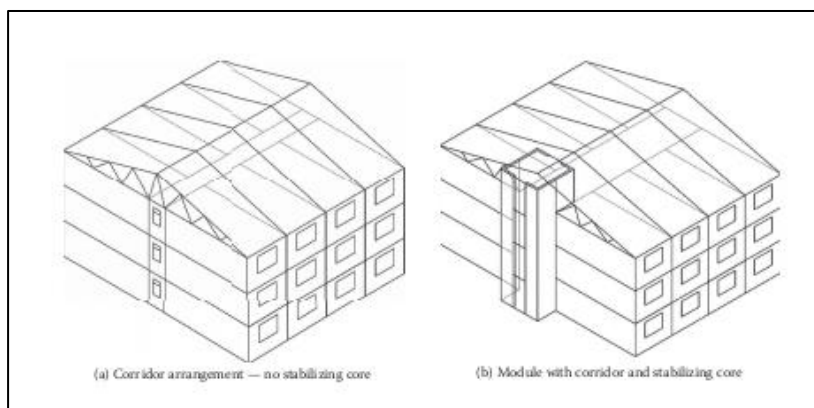
Para que isso seja possível, deve-se seguir certos princípios gerais conceptivos, como se verá a seguir.

3.2.1 Princípios Gerais de Concepção

Baseado na disciplina da tipologia na construção modular, os níveis mostrados na Tabela 1 e os tipos disponíveis, temos como premissas gerais de disposição dos módulos, conforme Lawson et al. (2014):

- Decidir qual tipo de módulo usar, a partir do nível dos componentes adotados que satisfaça os requisitos espaciais e funcionais (normativos e de desempenho);
- Desenhar o layout dos pavimentos e do projeto afim de alcançar o máximo de repetição possível no tamanho e no ajuste dos módulos. A resistência mecânica (capacidade de carga) da estrutura adotada pode variar, contanto que se mantenha a geometria externa;
- O tamanho do módulo deve ser compatibilizado com as variáveis relacionadas ao transporte, acesso ao local da construção e instalação;
- Verificar como pode ser alcançada estabilidade global do edifício: através do agrupamento de módulos, ou combinação com suportes adicionais ou com o uso de núcleos de concreto ou aço (como ilustrado na Figura 21b);
- Estabelecer as instalações (hidrossanitárias, elétricas e refrigeração) e eventuais equipamentos que irão nos módulos adotados e decidir como será feito o acesso externo e a distribuição dos tipos no edifício;
- Considerar a disposição dos módulos quanto a situações de incêndio e a efetiva compartimentação dos módulos quanto à segurança ao fogo;
- Considerar os sistemas de revestimentos que serão usados e como se dará a fixação dos mesmos aos módulos;

Figura 22 - Módulos estabilizados em grupo (a) e com estabilizados com núcleo (b).



Fonte: Adaptado de Lawson et al (2014)

Diante disso, as premissas acima ajudarão a se ter tipos bem definidos na construção do edifício.

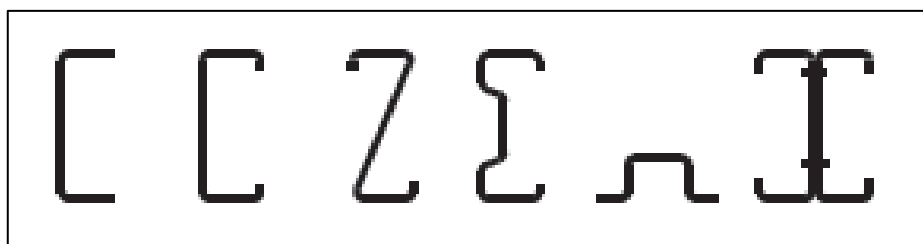
3.2.2 Introdução aos Materiais

Definido a planta modular e a organização do espaço, através da tipologia, regidos pela TCM e pelos princípios listados no item anterior, passa – se a pesquisar quais materiais podem ser utilizados afim de atender os requisitos espaciais propostos e também os requisitos funcionais (normativos) e de desempenho da estrutura como um todo.

Diante disso, temos que os principais materiais que pode ser usados como base nos sistemas modulares são: aço, madeira e concreto.

- **Aço e ligas metálicas:** São usados largamente na construção modular pela sua resistência e a velocidade de execução que proporciona, sendo na maioria das vezes o material mais econômico e eficiente para o uso em estruturas com grandes vãos, grandes alturas ou de formatos únicos. Além disso, são dimensionalmente mais precisos, podem ser montados com parafusos ou soldas. Na construção modular geralmente são fornecidos como componentes estruturais (vigas e pilares): perfis de aço galvanizado laminadas a frio na forma de seções em “C”, conforme Smith (2010) e Lawson et al (2014).

Figura 23 - Seções utilizadas na construção modular



Fonte: Adaptado de Smith (2010)

- **Madeira:** São usados devido à sua fácil manipulação, acesso e se mantido seco, tem fácil manutenção. Dentro da construção modular, são fornecidos na forma de elementos planos, como painéis laminados para fechamento que podem desempenhar ou não função estrutural e, componentes, como vigas em seção retangular. Oferecem boa resistência mecânica, entretanto, menor do que metais e concreto, por isso, sua aplicação como material de base estrutural é limitada a edificações de pequeno porte, como casas e edificações de até 4 pavimentos, conforme Lawson et al (2014), entretanto, é largamente utilizado para vedação (como painéis OSB).

- **Concreto:** Na construção modular aparecem fornecidos na forma de pré-fabricados e devido à sua versatilidade e excelente resistência mecânica à compressão, podendo ser fornecidos na forma de elementos volumétricos (módulos inteiros de base aberta), elementos planos (como painéis pré-moldados) e componentes (pilares e vigas).

Outros materiais como polímeros e compósitos podem ser usados afim de melhorar as propriedades mecânicas como complemento aos materiais citados acima.

A escolha dos materiais deve levar em conta cinco fatores: qualidade, economia, segurança e domínio das técnicas construtivas (que o material proporciona) e conformidade estética com o projeto proposto.

3.2.3 Princípios Complementares de Concepção

Tendo em vista os princípios gerais e a escolha dos materiais a serem usados, observa-se que o porte, a função de uma edificação e os materiais escolhidos para sua construção influem, primeiramente na forma no seu sistema estrutural (na escolha do sistema mais seguro, economicamente e arquitetonicamente viável) e consequentemente, no planejamento espacial interno e externo, estes, por sua vez, afetados, entre outros fatores de disposição espacial, pela circulação interna e externa.

Diante disso, serão abordados princípios complementares conceptivos quanto à estabilidade global da edificação e questões referentes à circulação interna (corredores) e externa (acesso externo) do edifício, conforme o porte pretendido ao mesmo.

3.2.3.1 Estabilidade Global da Edificação

Um dos principais pontos a serem observados na concepção do edifício, é a escolha de um modelo estrutural que melhor represente seu comportamento real esperado, estando este de acordo com as características físicas, geométricas (relativo à concepção arquitetônica) e sensíveis aos efeitos de 2ª ordem, de forma aliar o tripé: economia, segurança e domínio de técnica construtiva. Desta escolha, portanto, dependerá, primordialmente, a estabilidade global da edificação.

A estabilidade global da edificação, portanto, de forma resumida, visa garantir a segurança estrutural ante à perda da capacidade resistente da estrutura causada por um incremento de deformação, em decorrência das ações atuantes na mesma, conforme Lacerda et al. (2014).

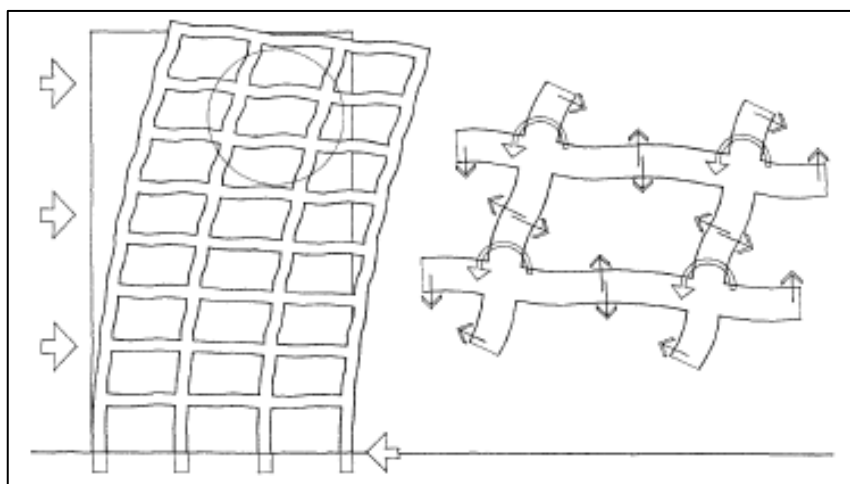
Quando se projeta um edifício, as ações que mais atuam na estrutura são aquelas ditas permanentes (peso próprio) e as de sobrecargas (previstas para o uso conforme o edifício e o vento), conforme preconizado na NBR 8681. Entretanto, quanto maior for o edifício ou se o mesmo for constituído por elementos esbeltos

(caso das estruturas metálicas, por exemplo), principalmente as ações referentes ao vento e às cargas horizontais passam a ter maior influência no comportamento estrutural da edificação. A análise destes efeitos, é dada pela análise de 2ª ordem.

Diante disso, em edifícios geralmente trabalha – se com o princípio de altura-ativa. Nestes sistemas estruturais, segundo Engel (2003), há o controle de cargas (absorção de cargas e transmissão das mesmas para base), sendo que, a redistribuição de forças é efetuada através da composição de elementos resistentes à altura, uma vez que seus membros estão sujeitos à uma composição de forças diversas e mutáveis. Assim, a estabilização da estrutura se torna característica fundamental neste sistema.

Em edificações de menor porte a altura não se torna um fator de instabilidade e portanto, opta – se geralmente por um modelo pórtico rígido, o que permite deixar livres a utilização todos os vãos entre as colunas, favorecendo a flexibilidade do layout e portanto, neste modelo, os pontos de absorção de carga são distribuídos uniformemente (alcançado pelo agrupamento dos módulos) e, portanto, as cargas de cada pavimento são agrupadas por unidade de área e transmitidas à base individualmente. O enrijecimento estrutural às ações laterais, neste modelo, é dado pela resistência à flexão dos seus elementos e na sua conexão entre si rígidas a sua estrutura, sendo que no caso da construção modular, esta forma é alcançada pelo agrupamento dos módulos entre si, conforme disposto nos princípios gerais de concepção.

Figura 24 - Esquema do modelo em altura - ativa de pórticos rígido

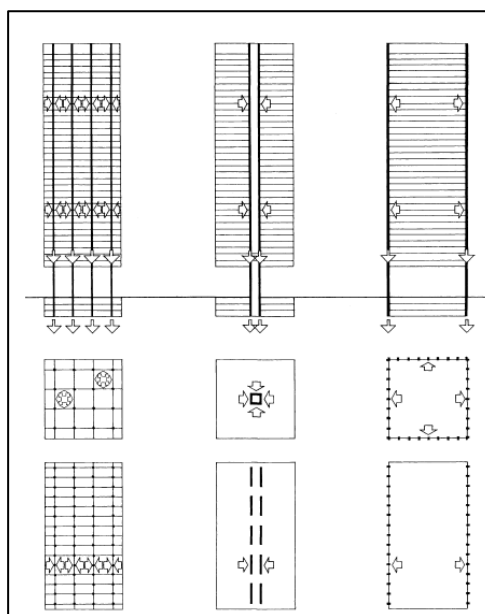


Fonte: Adaptado de Engel (2003)

Para edifícios de maior porte, a altura já se torna um fator a ser considerado para a estabilidade da edificação, uma vez que há elevadas cargas verticais e a ação do vento atuando de forma mais consistente na estrutura. Desta forma, geralmente opta – se por trabalhar com um sistema estabilizador separado da estrutura principal, em que há várias soluções estruturais possíveis, entre as quais se destacam principalmente o uso de núcleos internos (o que possibilita maior aproveitamento do espaço útil da

estrutura, uma vez que não se usam tantos engastamentos de vigas e colunas, visto que há o agrupamento das cargas em um ponto central e disto a conduz para base) ou estrutura tubular (mesma situação do núcleo, entretanto, as cargas são absorvidas perimetralmente e se transmitem perifericamente à base).

Figura 25 - Esquema de distribuição de cargas em sistemas de altura ativa de pórticos (esquerda), núcleo central (centro) e estrutura tubulares (direita)



Fonte: Adaptado de Engel (2003)

Diante desses pressupostos, Lawson et al (2014) fornece uma relação simples entre o número de pavimentos, número de módulos agrupados na fachada frontal (devido à resistência à ação do vento) e a necessidade de uso de um sistema estabilizador separado.

Tabela 2- Relação entre o número pavimentos e necessidade de sistema estabilizador separado.

Nº de Pavimentos	Nº módulos na fachada frontal	Necessidade de sistema estabilizador em separado
3	5	Não
4	7	Não
5	9	Não
6	11	Possivelmente
7	12	Possivelmente
8 ou +	12	Sim

Fonte: Adaptado de Lawson et. al. (2014)

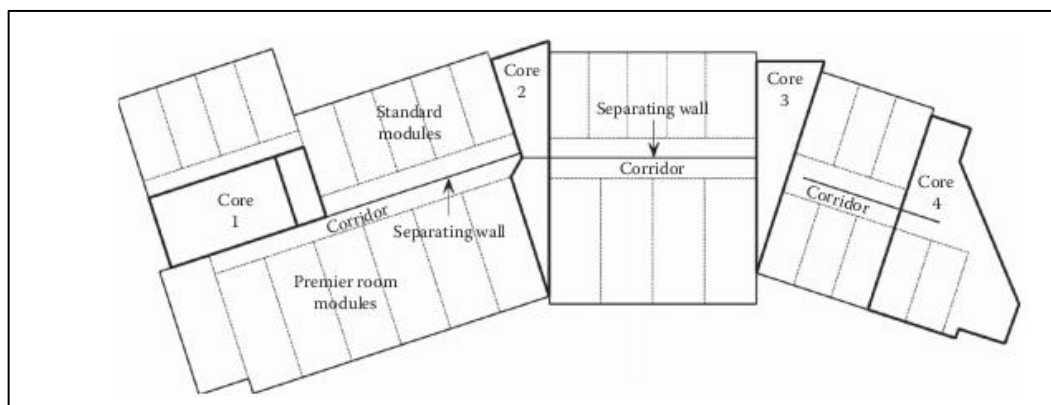
3.2.3.2 Circulação: Corredores e Acesso Externo

A circulação interna é feita através de corredores que, além de prover a circulação, geram isolamento acústico e proteção ao fogo, são geralmente posicionados na linha central da estrutura da edificação. Além dos corredores, podem ser usadas escadas e elevadores, estes locados ou em um dos cantos do pavimento ou no seu centro, conforme o porte e o sistema estrutural utilizado. Este conjunto de elementos, são designados por módulos de circulação.

Geralmente, tanto a circulação interna quanto a externa podem ser obtidos em construções modulares pelo uso de módulos embutidos ou separados, e, conforme análise prévia, estes módulos de circulação (interna e externa) podem ser desenhados de forma a melhorar a estabilidade da estrutura global.

Para o acesso externo, os módulos de circulação em edificações de menor porte são desempenham função estabilizadora, ao passo que, em estruturas maiores, estes módulos devem ser projetados de forma à resistir às cargas verticais e de vento aplicadas sobre os mesmos e, portanto, pode – se optar em contraventar estes módulos ou utilizar a combinação de contraventamento com outra solução estabilizadora em separado, como algumas das sugeridas no item anterior.

Figura 26 - Planta de edificação modular mostrando o uso de corredores duplos na linha central e a disposição dos núcleos estabilizadores.



Fonte: Adaptado de Lawson et. al (2014)

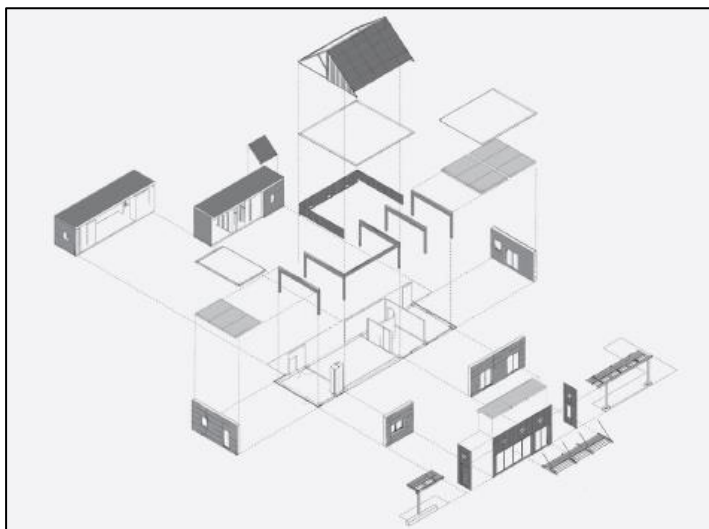
3.2.3.3 Planejamento operacional: off-site e in-situ

Definidos os aspectos arquitetônicos e estruturais da edificação, pode – se começar o planejamento de como se dará o processo de fabricação de componentes da edificação (em qualquer nível de pré – fabricação, mas preferencialmente painéis e módulos) e da sua respectiva montagem (off site e in situ), definindo para tanto, processos e métodos que se refletirão em ganho de tempo e produtividade construtiva.

Como já falado anteriormente, a construção modular utiliza como base filosófica a teoria de coordenação modular, o que pressupõe a racionalização

construtiva. Diante disso, para se iniciar o planejamento produtivo dos componentes, pode – se usar uma analogia: imaginar primeiramente o produto final (os tipos e módulos) e fragmenta – lo sistematicamente em partes.

Figura 27 - Exemplo de fragmentação utilizado no planejamento dos módulos e tipos.



Fonte: Adaptado de Smith (2010)

Usando essa analogia poderão ser obtidas não só a sequência de montagem dos módulos (tanto na fábrica quanto em obra), mas a visualização de conexões e juntas, por exemplo. Para que o planejamento proposto seja eficaz, além de haver uma integração entre os setores de projeto, fabricação e instalação.

A sequência do planejamento operacional, utilizando essa analogia, envolve as seguintes etapas:

- Planejamento das unidades de produção: definição dos métodos de produção dos componentes;
- Definição dos métodos de instalação dos módulos in-situ;
- Planejamento do transporte dos componentes;

Para se planejar as unidades de produção, deve – se olhar o produto final: deve – se desejar que a montagem in situ seja eficiente porque os módulos fabricados foram pensados para tanto. Por isso, a montagem in situ deve privilegiar, segundo Smith (2010):

- Redução do número de operações de montagem e instalação: Basicamente quanto menor o número de operações a serem realizadas, mais rápido e menos custoso será o processo, além de diminuir potencialmente falhas de instalação;
- Redução do número de partes e subpartes no processo de montagem e instalação: quão mais pré-fabricados forem os componentes melhor, visto que o custo de poucos elementos é maior;

A partir dessas estratégias o projeto irá considerar a sua montagem (sua execução), e portanto, pode – se ordenar o processo produtivo de montagem off – site (incluindo estrutura, vedações e instalações, se aplicáveis), esta por sua vez, considerando:

- Minimização de elementos: Diminuir o número de elementos a serem produzidos, transportados e erguidos;
- Manuseabilidade: Os elementos devem ser fáceis de se manipular in loco, visando a facilidade de instalação. Além disso, identificar os elementos é uma boa solução para visualizar onde o elementos será instalado e com quais elementos será conectado;
- Repetição: Permite a padronização estética e de desempenho de elementos;

Portanto, o planejamento das unidades de produção e da montagem dos módulos ocorrem concomitantemente, sendo interdependentes. Após essas definições, são concebidas o método de transporte dos módulos.

Quanto ao transporte dos componentes, deve – se avaliar questões logísticas, como restrições de tráfego, modalidade de transporte a ser usado e acesso ao site da obra, visando conciliar a entrega destes componentes com o ritmo de execução construtivo.

Diante desse planejamento operacional integrado, a instalação dos módulos e procedimentos construtivos ficam mais racionalizadas, visto que reduz – se a ocorrência de falhas e criam – se métodos executivos.

3.3 PROCESSO CONSTRUTIVO NO SISTEMA MODULAR

3.3.1 Visão geral do processo construtivo

O processo construtivo no sistema modular diferencia – se da construção tradicional, porque se encaixa dentro do contexto de construção racional e industrializada.

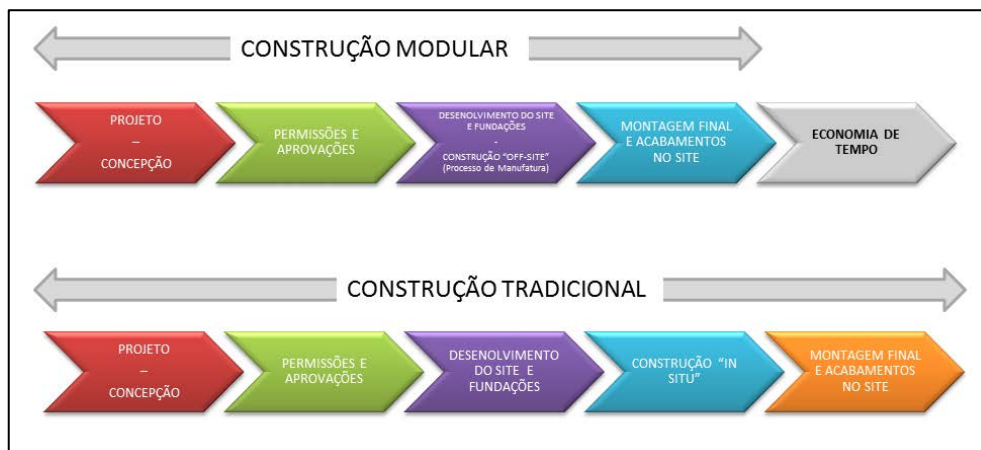
Entre as principais diferenças em relação ao sistema de construção tradicional, reside nas fases pré-construtivas ou de concepção, na qual empreende – se a maioria dos esforços e tempo despendidos ao longo do processo construtivo e é onde ocorre a racionalização construtiva: no projeto, são usados elementos predefinidos, padronizados e modulados, dispostos entre si, subjacente à uma malha modular.

Definido o projeto arquitetônico, dá – se o planejamento e produção da manufatura, tendo como base os elementos predefinidos no projeto, facilitando portanto, a fabricação dos mesmos, assim como o planejamento e controle de atividades a serem realizadas em obra.

Geralmente, utiliza – se o processo de manufatura e a montagem dos módulos, portanto, se dá por meio de encaixes entre os componentes pré-fabricados.

Segundo Patinha (2006), concomitantemente ou pouco após este processo de concepção, tem – se a agilização dos procedimentos legais, visto que a execução de uma nova planta ou projeto é um processo mais rígido e menos personalizável.

Figura 28 - Comparação de processo construtivo entre Construção Modular e Tradicional.



Fonte: Autoria Própria

Após isso, similarmente à construção tradicional, são feitos os serviços de movimentação de terra e fundações. Smith (2010) relata que raramente são usadas fundações pré-moldadas e que portanto, em sua maioria, os trabalhos no terreno podem ser feitos concomitantemente com a pré-fabricação de estruturas, componentes, instalações e interiores produzidos em fábrica, gerando além do maior controle de qualidade, maior produtividade e consequente economia de tempo.

Nesta fase de pré-fabricação, há a interface entre todos os subsistemas da edificações, estes agrupados entre si, conforme a tipologia indicada em projeto. Geralmente, os módulos já são montados quase que em sua disposição final basicamente seguindo a seguinte ordem (não muito diferente da construção tradicional):

- a) Montagem da estrutura: A definição da profundidade de montagem desta etapa varia conforme sistema modular utilizado (ver classificação dos sistemas modulares e níveis de prefabricação);
- b) Embutem – se as instalações hidrossanitárias, elétricas de refrigeração (se aplicáveis) diretamente nos módulos;
- c) Faz – se a vedação dos módulos, nos quais são utilizados painéis com ou sem isolamento. Esta etapa varia de complexidade dependendo do nível de pré-fabricação desejado;
- d) Realizam – se ajustes na estrutura montada, antes da sua armazenagem e transporte;

Posteriormente à fabricação dos módulos, estes são transportados e instalados no local de implantação.

Esta parte do capítulo abordará a aplicabilidade da modulação como sistema construtivo, verificando como são realizadas as suas principais etapas.

3.3.2 Fundações

As fundações em construções modulares seguem o mesmo roteiro que a construção tradicional. Como etapa precedente à execução, deve-se compatibilizar as cargas atuantes na estrutura com o seu modelo de fundação, sendo amparado por um bom estudo geotécnico do terreno em que será implementado a construção.

Como solução à essa compatibilização, vários tipos de fundação podem ser usados na construção modular, conforme material estrutural usado, cargas atuantes, sistema estrutural adotado e características do solo. Geralmente utilizam-se fundações rasas, devido ao peso próprio da estrutura ser menor do que comparado à construção tradicional, por isso, a altura do edifício e as opções do revestimento, ditam o tipo de fundação a ser usada. Entretanto, fundações profundas também podem ser usadas.

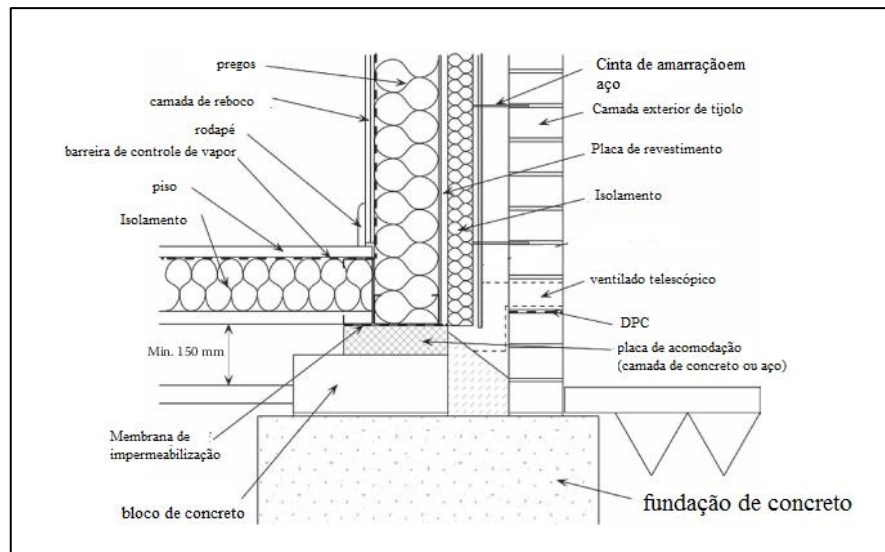
As fundações mais usadas são, segundo Smith (2010) e Lawson et al. (2014):

- Radier
- Sapatas corridas
- Vigas baldrame
- Estacas

Tendo adotado uma determinada solução e a executada conforme procedimento técnico-executivo, a área de contato (nível do terreno) entre fundações e módulos deve ser verificada quanto a resistência obtida em relação à projetada, antes da entrega e instalação dos módulos.

Conforme Lawson et al. (2014), assim como na construção tradicional, deve-se proteger tanto as fundações quanto o nível térreo contra umidade. Para tanto, recomenda-se o uso de nível elevado (chamado “DPC level” – damping proof course level) em 150 mm no mínimo do nível do terreno que forma uma barreira contra a umidade, além de fornecer um espaço de ar ventilado (pode-se usar ventilação forçada), afim de fornecer melhor isolamento térmico. Portanto, do nível do terreno até a altura do nível térreo elevado (“DPC level”), costuma-se impermeabilizar essas estruturas.

Figura 29 - Seção da interface da fundação



Fonte: Adaptado de Lawson et. al. (2014)

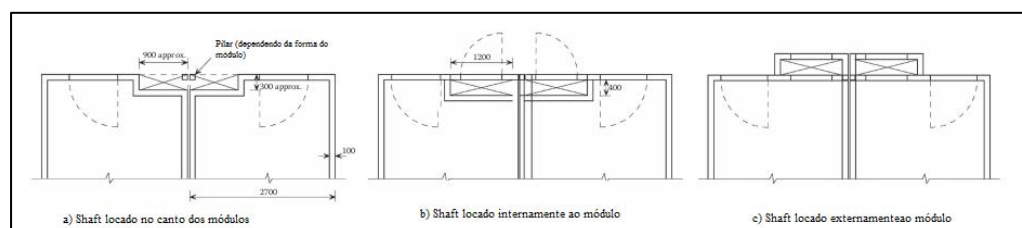
3.3.3 Serviços

A área de serviços abrange toda a gama de facilidades e utilidades da edificação ao final da sua construção: instalações elétricas e hidrossanitárias, elevadores e instalações de refrigeração.

Diferentemente da construção tradicional, os serviços na construção modular, são embutidos ao máximo nos componentes (limitado ao nível de pré-fabricação utilizado), durante a fabricação dos mesmo. Portanto, as únicas atividades a se fazer durante a obra são garantir as conexões dos ramais à prumada e verificar o sistema de drenagem, o que leva à economia de tempo durante a fase construtiva.

Nos componentes de metal e madeira, a distribuição horizontal desses serviços podem estar locadas paralelamente à sua estrutura e espaços mais amplos, como corredores, enquanto a distribuição vertical (normalmente feita pelo uso de shafts) é feita nos cantos, ou dentro dos módulos ou externamente aos módulos.

Figura 30 - Locação dos shafts: a) No canto b) Internamente e c) Externamente ao módulo.



Fonte: Adaptado de Lawson et. al. (2014)

Nos módulos de concreto, por sua vez, os serviços são locados antes do seu transporte, já de uma forma mais similar à construção tradicional: a distribuição vertical é feita externamente através de conduítes (pode ser feito posteriormente o uso de placas de gesso para não deixa-los aparente) e a distribuição vertical geralmente se dá em espaços mais amplos, podendo ocorrer em pares de módulos e sendo locados em áreas molhadas como banheiros.

Dependendo da solução estrutural adotada para a estabilidade global, pode – se concentrar os shafts ao redor do núcleo.

Já os elevadores, estes devem ter projeto feito junto com a empresa instaladora especializada e em geral são instalados como parte da estrutura principal ou próximos à mesma, sendo que do mesmo jeito que a construção tradicional, devem ser usadas paredes separadas do resto da edificação ao longo do poço do elevador, afim de garantir o isolamento acústico do mesmo.

Assim como as demais instalações, pode – se concentrar a distribuição dos elevadores ao redor do núcleo. Desta forma, toda a área de serviços estaria ao longo deste núcleo.

3.3.4 Montagem e instalação dos módulos

Os componentes, painéis e módulos pré-fabricados devem chegar prontos para serem içados e instalados, uma vez que são montados off-site, na qual se montam a estrutura, vedação e serviços, conforme projeto, nível de pré-fabricação e tipologia previamente determinada.

Estes elementos devem ser fabricados e montados off-site de forma a acomodar os pontos de içamento, sendo que estes devem coincidir com a distribuição de peso do elemento para que se tenha estabilidade durante a operação.

A etapa de montagem, portanto, engloba o processo de içamento dos componentes, painéis e módulos e também a conexão entre os módulos in loco e as etapas de instalação de revestimento externo e coberturas, sendo a última fase a ser realizada na construção modular.

3.3.4.1 Içamento entre os módulos

O içamento dos módulos geralmente é feito pelos cantos usando – se uma viga ou quadro afim de minimizar as forças exercidas sobre o módulo pela tensão nos cabos e assim reduzir eventuais danos potenciais e dar estabilidade à operação. Componentes de menor tamanho podem ser içados pela base como método alternativo ao descrito.

Figura 31 - Içamento de módulo



Fonte: Adaptado de Lawson et al. (2014)

Esta operação requer que se considere os seguintes fatores, conforme Lawson et al. (2014):

- Segurança de pessoas na obra;
- Acesso ao guindaste;
- Dimensões e peso do módulo;
- Alcance máximo do guindaste;
- Considerações locais da obra;
- Pressão sobre o solo devido ao guindaste;

Além disso, verifica-se que durante a operação forças dinâmicas atuam diretamente nos módulos, podendo ser maiores até do que as forças atuantes em serviço.

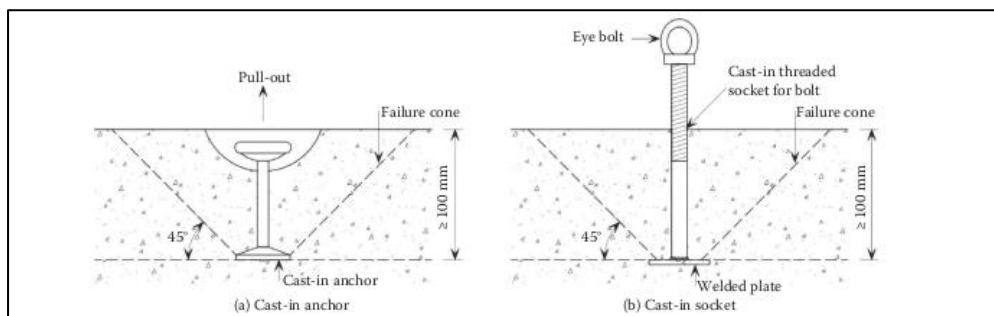
Diante disso, para todos os tipos de módulos, Lawson et al., recomenda no dimensionamento de equipamentos para o içamento que se considere uma força dinâmica atuante de 125% do peso do módulo. Além disso, o autor ainda sugere que equipamentos como vigas e cabos sejam testados à carga com um fator de segurança (FS) igual à 2.

Outro ponto importante na operação de levantamento dos módulos é a definição dos pontos de içamento. Nesse ponto haverá o contato entre o cabo e o componente e no mesmo se dará a transmissão de carga dinâmica.

Para módulos de aço e madeira, geralmente os pontos são locados in loco nos cantos e é possível utilizar um quadro (normalmente de metal), como interface de aplicação de carga, para que as forças atuantes nos módulos sejam verticais.

Já em módulos de concreto, são utilizados mais pontos de içamento, locados durante a sua fabricação, para que as cargas atuantes sejam verticais, visto o seu comportamento a tração e portanto, o concreto necessita de uma maior distribuição de carga. Além disso, reforços nos cantos podem ser feitos, afim de evitar “cones de quebra ou trinca”.

Figura 32 - Cone de falha em pontos de içamento em módulos de concreto.



Fonte: Lawson et al. (2014)

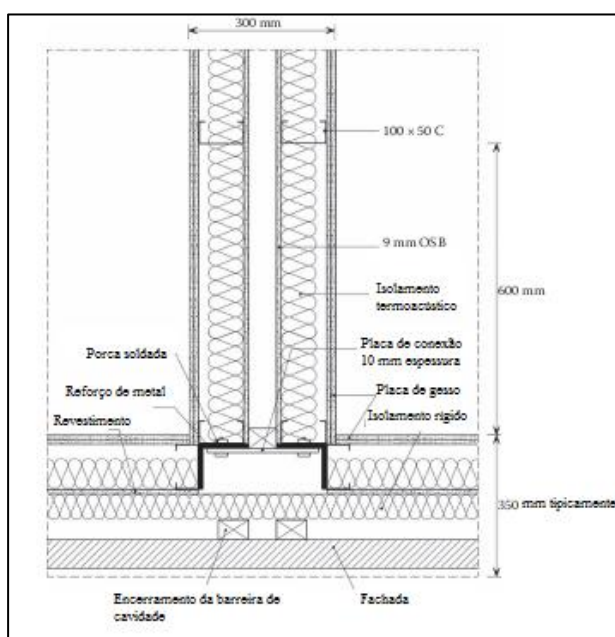
3.3.4.2 Conexão entre os elementos

As conexões entre os elementos são feitas in loco e tem grande importância na estabilidade estrutural da edificação, por afetar a transferência e distribuição de cargas horizontais devido ao vento e eventuais cargas acidentais.

Geralmente, no caso dos painéis e dos módulos, a conexão é do tipo topo-base por meio de placas horizontais ou verticais parafusadas, chamadas placas conectoras.

Como diretriz à essa operação, segundo Lawson et al. (2014), costuma – se deixar um certo espaçamento entre os módulos, chamadas de “barreiras de cavidade”, formadas por colchões de ar, afim de servirem como proteção ao fogo.

Figura 33 - Conexão entre módulos.



Fonte: Adaptado de Lawson et. al (2014)

3.3.4.3 Tolerâncias Construtivas

Após a instalação dos módulos, é importante a verificação de eventuais desvios verticais que possam ter ocorrido durante a operação. Esses desvios podem comprometer a estabilidade da edificação, além de gerar eventuais problemas com a geometria final proposta ou choques entre os módulos.

Esses desvios podem ocorrer por imprecisões de fabricação ou erros dimensionais durante a instalação. Para o primeiro caso, já são previstas tolerâncias no projeto modular, o que reduz potencialmente essa fonte de imprecisão. Entretanto, o segundo tipo de desvio não é previsto em projeto.

Diante disso, faz – se necessário o controle das tolerâncias verticais, principalmente em edificações de médio e grande porte (acima de 6 pavimentos geralmente), conforme forem sendo erguidos os pavimentos e também ao final da sua construção.

Para módulos de metal, a norma brasileira NBR 8800 – “Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de aço e concreto de edifício” na tabela C.1 do seu anexo C, define valores limites para o deslocamento horizontal (δ_a) em relação à base dos edifícios:

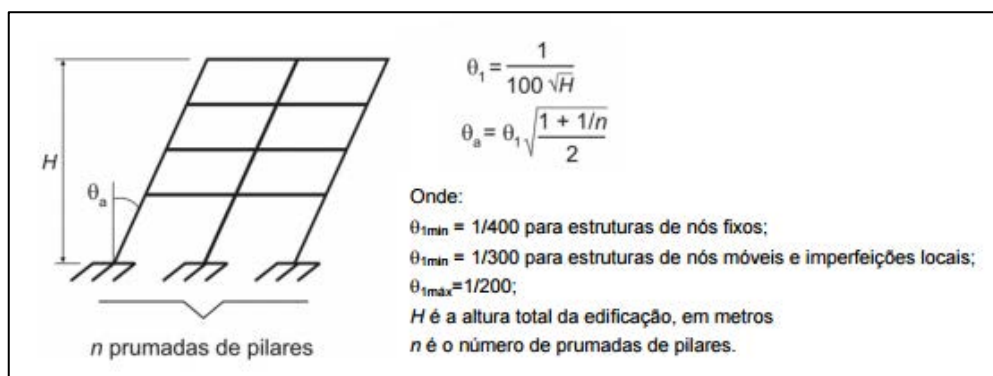
Tabela 3 - Deslocamentos máximos para edificações.

Tabela C.1 — Deslocamentos máximos	
Descrição	δ^a
Galpões em geral e edifícios de um pavimento: - Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base - Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	$H/300$ $H/400^{k1}$
Edifícios de dois ou mais pavimentos: - Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base - Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	$H/400$ $h/500^m$
Lajes mistas	Anexo Q: $\delta^a < L_F/350$
^m Tomar apenas o deslocamento provocado pelas forças cortantes no andar considerado, desprezando-se os deslocamentos de corpo rígido provocados pelas deformações axiais dos pilares e vigas.	
L_F é o vão teórico da laje na direção das nervuras.	

Fonte: Adaptado de NBR 8800/2008

Para módulos de concreto a NBR6118, a norma regulamenta ainda que os deslocamentos máximos em relação à base são dadas por um ângulo de deslocamento:

Figura 34 - Deslocamento máximo para edificações com estrutura de concreto.



Fonte: Adaptado de NBR 6118/2014

Lawon et al. (2014) propôs uma fórmula específica para o deslocamento horizontal máximo em edificações construídas com sistema modular feitas a partir de estruturas metálicas, para um grupo de módulos em um número n qualquer de pavimentos, baseadas em verificações in loco:

$$\delta_a < 12\sqrt{(n-1)} \leq 40 \text{ mm} \quad (\text{em mm}) \quad (1)$$

Como procedimento prático, costuma – se aferir os desvios com miras de laser à cada pavimento montado projetando a base do módulo mais baixo. Deste modo, visa – se diminuir potencialmente desvios geométricos progressivos pertinentes à etapa de montagem

3.3.4.4 Revestimentos externos e coberturas

Como última etapa do processo construtivo dão - se a instalação de revestimentos externos de fachada e de coberturas, sendo feito após o erguimento total da edificação e verificação de deslocamentos horizontais.

Entre os elementos de fachada estão os revestimentos externos, que compõe boa parte da estética da edificação, e varandas, que permitem a ampliação de espaço útil no ambiente sendo mais usada em edificações residenciais. Lawson et al. (2014) descreve as principais técnicas usadas nesta etapa.

Os revestimentos externos podem ser pré-encaixados nos módulos durante a sua fabricação ou serem instalados como elementos separados após a erguimento da edificação. Nos módulos de concreto geralmente ocorre a primeira opção, enquanto que nos de metal recorre-se à segunda alternativa (como o uso de alvenaria apoiada no chão ou painéis metálicos semi vazados) . Entretanto, o método de instalação da fachada deve ser discutido durante a fase de concepção e projeto.

Quanto ao sistema de cobertura, esta pouco difere da construção tradicional, visto que as soluções utilizadas são muitas vezes as mesmas na construção modular,

como usar o próprio topo do módulo no último pavimento como cobertura ou o uso de terças e tesouras e coberturas metálicas. Novamente, só há o cuidado estrutural quanto ao dimensionamento de elementos afim de resistir ao peso da estrutura de cobertura e à ação do vento agindo nessa estrutura.

Por fim, talvez a grande diferença desta etapa em relação à construção tradicional seja quanto à varanda. Na construção tradicional o piso é “continuado” para além da edificação, ficando portanto em balanço. Na construção modular, por sua vez, há uma gama de técnicas possíveis a serem exploradas, tanto com módulos de concreto quanto os de metal, entre os quais se destacam:

- Varandas suportadas no chão, empilhados e usando colunas externas como suporte, neste caso, a fundação deve ser projetada para suportar esta carga adicional;
- Criar varandas como estruturas externas adicionais autoportantes;
- Locar as varandas em balanço a partir de pilares do módulo, similarmente ao que ocorre na construção tradicional;
- Manufaturadas como parte dos componentes e módulos, tendo pilares ou pilares integrados ao módulo;
- Suportados lateralmente por módulos adjacentes, através do recuo de um desse módulos;
- Suportados pelos pilares de canto;

Deste modo, verifica – se que todas as etapas de acabamento da edificação, estão alinhadas com a racionalização proposta pela construção modular.

3.4 GARGALOS PARA APLICAÇÃO DE SISTEMAS MODULARES NO BRASIL

Tendo visualizado como funciona o sistema construtivo modular, percebe – se diante do exposto até aqui que a coordenação modular atua com vários focos dentro da construção civil, sendo eles:

- Padronização de componentes;
- Projeto e concepção do produto (a edificação);
- Sistema construtivo;

Essa conjuntura permite que se obtenha benefícios já citados anteriormente na sua aplicação. Entretanto, percebe–se que mesmo com tantas vantagens a coordenação modular é pouco aplicada no Brasil.

Diante deste contexto, Santos et al (2007) conduziram uma pesquisa com empresas do setor de construção civil afim de identificar os principais gargalos para a disseminação da coordenação modular.

Verificou – se nesta pesquisa que o principal entrave à coordenação modular e sua aplicação é a falta ou o pouco conhecimento sobre o assunto e seus benefícios. E mesmo quando há certo conhecimento sobre este assunto, nota–se que este fica restrito à racionalização da construção (uso de medida-base), não se atendo à outras vantagens como a pré-fabricação e a intercambialidade de sistemas e componentes.

Devido à falta de informação sobre o assunto, verifica-se também um problema de mercado, quanto à demanda e à aceitação quanto ao produto final desenvolvido com o uso da coordenação modular.

Diante disso, observa-se que é necessário um esforço conjunto entre Universidades (responsáveis pela formação profissional), empresas do setor, além de ações governamentais, para a divulgação do assunto e suas vantagens.

4. ESTUDOS DE CASO

4.1 MÉTODO DE SELEÇÃO

Objetivando a melhor visualização de como se dá a aplicabilidade da construção modular, serão mostrados casos práticos do uso desse sistema em sua totalidade: desde seu projeto até sua montagem final, sendo destacados eventuais entraves e benefícios adquiridos ao se optar por essa modalidade construtiva.

Os estudos de caso serão apresentados a partir da seguinte análise:

- a) Concepção: em função da destinação da edificação, da escolha do material (madeira, concreto ou metal leve) ante o projeto pretendido, define – se a modulação a ser utilizada;
- b) A partir da escolha da modulação, define – se com qual nível de pré-fabricação se trabalhar e eventualmente o tipo de módulo a ser usado;
- c) Por fim, determinar como se dará o sistema estrutural que permitirá a melhor estabilidade global da edificação proposta;

Serão ainda mostrados outras informações complementares como local da construção, informações quanto ao tempo de execução e custos de implementação.

A fonte desses estudos se deu na literatura técnica presente em Smith (2010), Lawson et al. (2014), em artigos do MBI (Modular Building Institute), além de revistas e sites especializados em construção civil.

4.2 ESTUDOS DE CASO: Edificações Modulares em Madeira

Geralmente, a madeira permite o uso tanto em diferentes níveis de pré-fabricação: de componentes à módulos. Como já falado, a opção pela madeira usualmente se dá na fabricação de casas e edifícios residenciais de pequeno porte (3-5 pavimentos).

Dentre as técnicas construtivas modulares mais usadas para tecnologia em madeira está o Wood Framing: panelização de pisos, paredes e telhados, pré-fabricados em madeira tratada ou revestida para melhorar o seu desempenho termo-acústico.

Segundo Molina e Calil Júnior (2010), esta técnica é utilizada na construção de 95% das casas nos Estados Unidos, além ser muito usada na Europa, especialmente na Suécia.

Os mesmos autores ainda sugerem como referências normativas:

- WFCM 2001: Estados Unidos;
- DIN 1052/1998: Alemanha;
- EUROCODE 5 Parte 2 / 1997: Europa;
- NBR 7190/1997: Brasil;

Na norma americana e europeia, considera-se que o comportamento dos painéis é similar ao de placas ou chapas. Já a norma brasileira, limita – se apenas à elementos estruturais isolados.

4.2.1 Estudo de Caso 1: Edificação Residencial em Viena, Áustria

Figura 35 - Edificação Residencial em Mühlberg, Áustria.



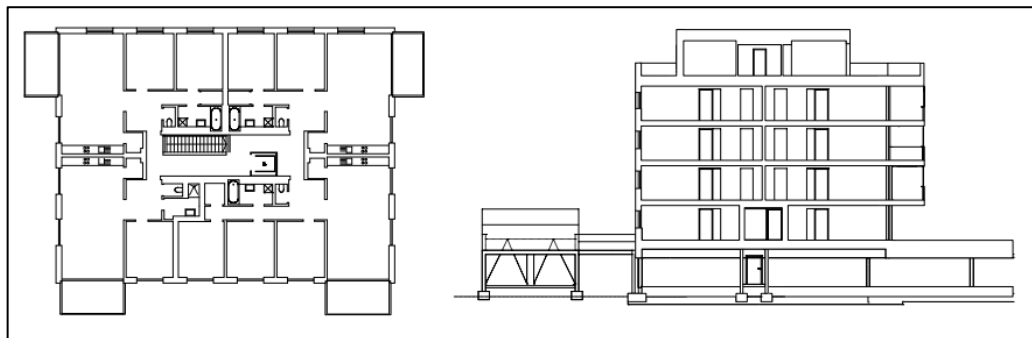
Fonte: Dolezal et al (2010)

Tabela 4 - Ficha Técnica: Edificação em Viena, Áustria

FICHA TÉCNICA	
Localização/Ano	Viena, Áustria / 2005
Material base	Madeira Laminada Cruzada CLT – Cross Laminated Timber
Tipologia da edificação	Condomínio residencial de 4 pavimentos – 70 flats no total
Modulação Proposta	Grid de 20 cm / Sistema de Painéis
Sistema Estrutural	Sistema em altura ativa tubular

Fonte: Autoria Própria

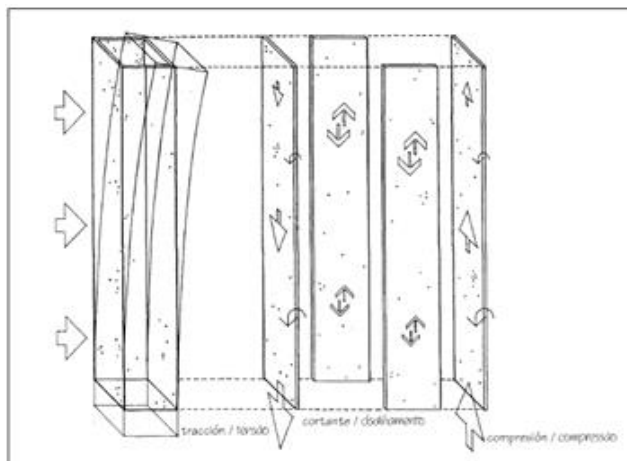
Figura 36 - Planta baixa (direita) e seção (esquerda) do edifício.



Fonte: Dolezal et al. (2010)

- **Concepção:** O projeto foi concebido em 2004 e constituía um feito inédito na Europa, até então por se tratar de edificações multi – pavimentos, constituídos por painéis pré-fabricados em madeira, com o conceito de “passivhaus”: uma orientação ecológica que visa o consumo energético baixíssimo através de técnicas construtivas planejadas em sua concepção, como a super isolamento. Uma vez que esta característica era primordial ao projeto, foi adotado o tamanho da parede interna (20 cm) como medida-base, formando portanto, um grid multimódulo espacial de base 20 cm (2M), medidos face –a – face externamente.
- **Sistema Estrutural:** O uso de painéis estruturais como premissa de projeto, fez com que o sistema estrutural utilizado de altura ativa classificado como sistema tubular. Nesta modalidade, as paredes externas são construídas como “vigas em balanço” resistentes ao cisalhamento e à esforços de compressão e tração. Deste modo, uma face resiste na direção de atuação do vento como parede cisalhada enquanto as outras resistem à flexão, como elementos de compressão ou tração. O esquema é mostrado na Figura 37.

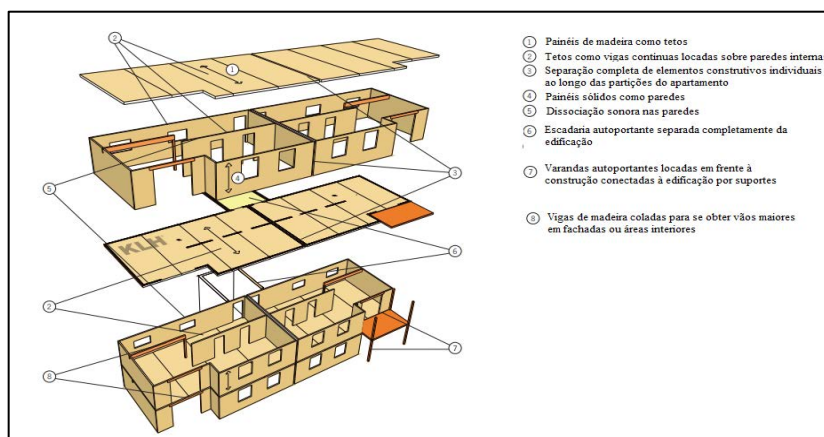
Figura 37 - Esquema do comportamento de um sistema estrutural tubular.



Fonte: Adaptado de Engel (2003)

- Sequência Construtiva:** A manufatura, ocorria enquanto eram feitos as movimentações de terra, execução das fundações (sapatas de concreto armado) e execução de num nível subsolo em concreto juntamente com isolamento.. Os elementos estruturais como paredes externas, pisos e cobertura foram pré - fabricados em CLT (madeira laminada), já prevendo isolamento termo-acústico e placas de gesso, a exceto pela escadaria que foi pré-fabricada em concreto. As paredes externas foram entregues ao local já com todas as esquadrias e fachada. Diante disso, os trabalhos in situ se limitaram à completar e conectar os componentes pré-fabricados suplementares ao interior, além de serviços de paisagismo. Segundos dados da construtora, este processo teve início em 10/2005 e foi entregue em 11/2006., totalizando 13 meses de obra. O esquema de montagem +e mostrado na figura 38

Figura 38 - Esquema de montagem dos painéis na superestrutura



Fonte: Adaptado de KLH (2013)

4.2.2 Estudo de Caso 2: Creche em Helsinki, Finlândia

Figura 39 - Vista frontal da creche em Helsinki.



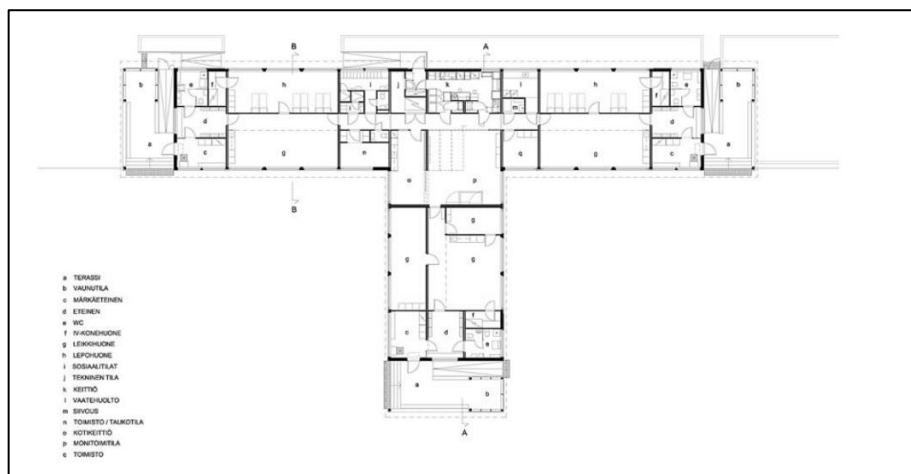
Fonte: Adaptado de Häkli (2010)

Tabela 5 - Ficha técnica da edificação em Helsinki, Finlândia

FICHA TÉCNICA	
Localização/Ano	Helsinki, Finlândia / 2008
Material base	Madeira Laminada Cruzada CLT – Cross Laminated Timber
Tipologia da edificação	Edificação térreo atuando como creche
Modulação Proposta	Grid de 15 cm / Módulos
Sistema Estrutural	Seção de pórticos rígidos

Fonte: Autoria Própria

Figura 40 - Planta baixa da edificação.

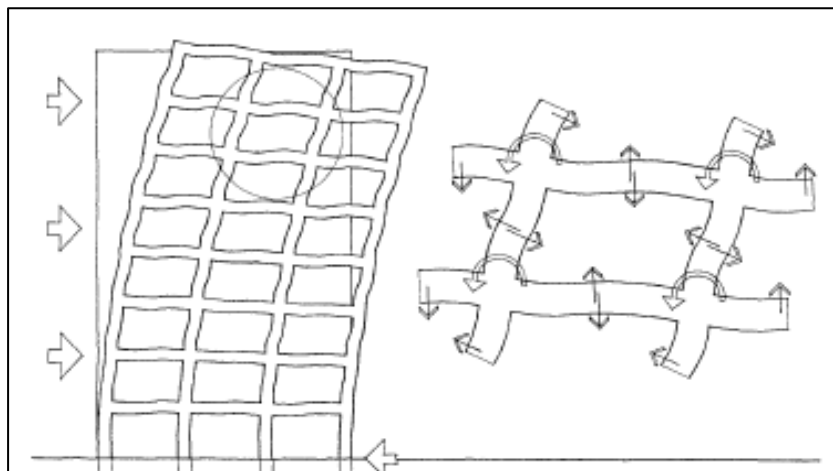


Fonte: Häkli. (2010)

- Concepção:** Devido ao crescente número de crianças, verificou – se a necessidade de construir mais creches em Helsinki, Finlândia ao final da década passada. À pedido do Departamento Municipal de Serviços Sociais, o Departamento de Real Estate concebeu em uma área situada em parque uma creche de 590 m², adotando para tanto o sistema construtivo modular por este ser a opção executiva mais rápida. A edificação tem formato em “T” em que cada uma das alas recebe um determinado grupo de crianças e no hall central, há o espaço comum. Como premissa, a distribuição das placas deveria ser projetada para que a montagem da unidade modular fosse de 150 mm (15 cm ou multimódulo de 1,5M) e portanto, sendo a medida-base utilizada no projeto. Além disso, como tipologia, dividiu – se o espaço em 16 unidades modulares com as seguintes dimensões: 3,3 metros à 4,5 metros de comprimento, 9 metros à 13,5 metros de largura e até 4,5 m de altura.
- Sistema Estrutural:** A própria arquitetura e tipologia da edificação, através da escolha por módulos interligados entre si em 1 pavimento, determinou que as cargas verticais neste projeto não seriam tão altas. Além disso, cada módulo é formado pela junção de elementos lineares ou planares, conexão de placas e pórticos (conforme mostrado na Fig. 43) e esse conjunto gera uma rigidez bi ou tridimensional, estabelecendo assim um mecanismo de resistência às forças horizontais. Sistemas com essa característica são denominados sistema estruturais de pórticos rígidos, no qual os perfis seccionais redistribuem as forças e os seus membros estão submetidos à flexão. Este sistema pode trabalhar

a altura-ativa, o que não foi optado neste projeto. O esquema do sistema estrutural adotado é mostrado na Figura 41.

Figura 41 - Comportamento de um sistema estrutural de pórticos rígidos.



Fonte: Adaptado de Engel (2003)

- Sequência Construtiva:** Todos os módulos foram pré - fabricados em madeira, durante a etapa das fundações e entregues após esta atividade. As fundações utilizadas foram de radier, sendo que na interface entre terreno e nível térreo, como suporte à instalação dos módulos, utilizou – se vigas para a melhor distribuição do peso. As paredes internas já vieram pré-acabadas com revestimento de placas de bétula, dando ao espaço um visual final, além de acelerar a obra. Já as paredes externas foram entregues ao local sem as esquadrias instaladas, sendo esta atividade realizada in situ, enquanto na fachada utilizou – se placas planas de pinho em dimensões 18 x 145mm. Portanto, os trabalhos in situ foram o de conectar 16 módulos entre si e prover as instalações finais de esquadrias e fachada, além de serviços de paisagismo. Pelos dados fornecidos por Håkli (2010), este processo teve início com o design em 2008 e construção em 2009.

Figura 42 - Montagem e instalação dos módulos



Fonte: Adaptado de Häkli (2010)

4.3 ESTUDOS DE CASOS: Edificações Modulares em Aço

O aço é talvez o material mais utilizado nos sistemas construtivos modulares, pois permite sua utilização em diferentes níveis de pré-fabricação. A opção pela utilização de aço geralmente se dá em edificações acima de 5 pavimentos (novas) ou quando se irá construir usadas sobre uma construção pré-existente, afim de diminuir as cargas atuantes nessa estrutura existente.

Como técnica construtiva já consolidada, inclusive no Brasil, tem – se o steel framing, que trabalha com níveis de pré-fabricação de componentes estruturais de aço e painéis de drywall.

O uso de módulos, portanto, além de aumentar o nível de pré-fabricação utilizado, em relação ao steel frame, representa uma evolução desta técnica, visto que todo o trabalho construtivo do steel frame é feito in situ (embora seus componentes sejam pré-fabricados e cheguem ao site prontos para serem “encaixados”).

Como referências normativas ao dimensionamento de estruturas metálicas constituídas por perfis formados à frio, temos:

- ANSI 360 e AISI 2012 S200-Series: Estados Unidos;
- EUROCODE 3 / 2006: Europa;
- NBR 14762 / 2010: Brasil;

A norma americana AISI 2012 S200 constitui uma série de 10 volumes normativos, referentes ao dimensionamento estrutural e guias executivos para o steel frame, enquanto as demais normas, se aplicam exclusivamente ao dimensionamento estrutural de elementos isolados.

4.3.1 Estudo de Caso 3: T30 Hotel (China)

Figura 43 - Vista frontal do Hotel T30



Fonte: Adaptado de Cunha (2012)

Tabela 6 - Ficha técnica do T30, China

FICHA TÉCNICA	
Localização/Ano	Changsha, China / 2012
Material base	Aço
Tipologia da edificação	Edificação em estrutura metálica contraventada, atuando como hotel
Modulação Proposta	Grid de 39 cm / Placas de 15,6 m x 3,9 m
Sistema Estrutural	Sistema de paredes cisalhadas e pórticos rígidos

Fonte: Autoria Própria

Figura 44 – Pavimento tipo da edificação

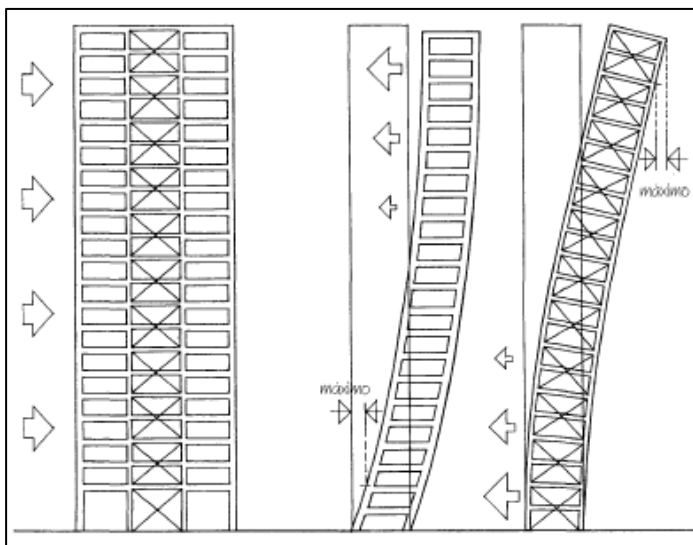


FONTE: Cunha (2012)

- Concepção:** O hotel foi projetado para ser certificado com status de 5 estrelas, contando com restaurantes, quartos – padrão, suítes, clube e até helipontos, além de ser “verde” ao demandar economia de energia. Visando o rápido retorno do investimento na construção do hotel, avaliado em cerca de US\$ 19 milhões, segundo CUNHA (2012), concebeu – se o hotel para ser construído como um “Lego”, nas definições do próprio dono da construtora responsável pelo projeto e execução, a Broad Group. Para tanto, considerou – se como elemento fundamental as placas pré-fabricadas de 15 metros por 3,9 metros, tal como seu espaçamento comum: 39 cm. Além disso, como característica executiva, todas as placas deveriam prover encaixe rápido, via bolts, com os pilares.
- Sistema Estrutural:** Uma vez que o prédio foi baseado na necessidade de se conectar placas grandes (vãos amplos) aos pilares, optou – se por contraventar (ou reforçar) diagonalmente as faces da edificação, mantendo esse pilares interligados entre si internamente. A partir disso, tem – se que há uma combinação de duas técnicas de reforço para sistemas em altura – ativa: externamente trabalha – se com paredes

cisalhadas (através do contraventamento – desenvolvendo deformações máximas no topo) e internamente com pórticos rígidos (interligação entre pilar-placa-pilar – gerando deformações máximas na base). Dessa forma, por oposição de efeitos, soluciona – se por o problema da deformação, estabilizando a edificação. Um protótipo da edificação foi testado à solicitações dinâmicas e terremotos, recebendo grau de resistência equivalente à 9 graus na escala Richter.

Figura 45 - Comportamento da combinação entre parede cisalhada e pórtico rígido

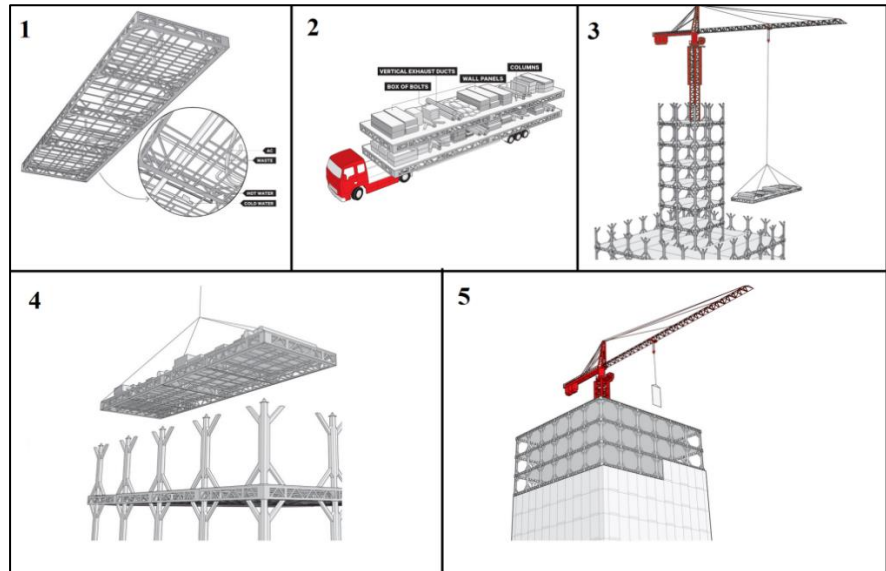


Fonte: Adaptado de Engel (2003)

- Sequência Construtiva:** Todas as 333 placas tipo “cassetes” de 60m² usadas na construção foram pré – fabricados 4 meses antes da etapa executiva, cada uma já provendo os sistemas hidráulico, elétrico e de refrigeração, e o piso (Figura 47.1). Enquanto isso, foram sendo executadas as movimentações de terra e fundações em estacas de concreto. O transporte das placas foi feitos aos pares para cada caminhão, sendo que cada caminhão, além das placas já levava um kit de parafusos, divisórias (paredes em placas), pilares e dutos inerentes à instalação de cada placa (Figura 47.2). Desta forma, a montagem das placas, e consequentemente os pavimentos, era feita de maneira rápida, assim como todas as conexões entre os serviços (Figura 47.3 e Figura 47.4). Essa montagem foi feita ininterruptamente por 360 horas, sendo 3 turnos de 8 horas com 200 funcionários cada, conforme relatado por CUNHA (2012). O acabamento externo foi feito com painéis altamente isolados termo-acusticamente e janelas (Figura 47.5). Enquanto montava – se o topo, paralelamente, a base já recebia o acabamento, assim a cada 12 horas em média finalizava – se um pavimento. Diante

disso, estabeleceu – se um recorde : construir 30 pavimentos em 15 dias.

Figura 46 - Sequência construtiva do T30



Fonte: Adaptado de Hilgers (2012)

4.3.2 Estudo de Caso 4: Victoria Hall, Wembley (Londres)

Figura 47 - Vista frontal do Victoria Hall.



Fonte: Adaptado de Lawson et al. (2014)

Tabela 7 - Ficha técnica do Victoria Hall em Londres, Inglaterra

FICHA TÉCNICA	
Localização/Ano	Londres, Inglaterra / 2012
Material base	Aço
Tipologia da edificação	Edificação em estrutura metálica com núcleo de concreto, atuando como moradia estudantil
Modulação Proposta	Grid em função de módulos de 16 m x 3,8 m
Sistema Estrutural	Sistema de balanço com núcleo

Fonte: Autoria Própria

Figura 48 – Pavimento térreo e pavimento tipo da edificação

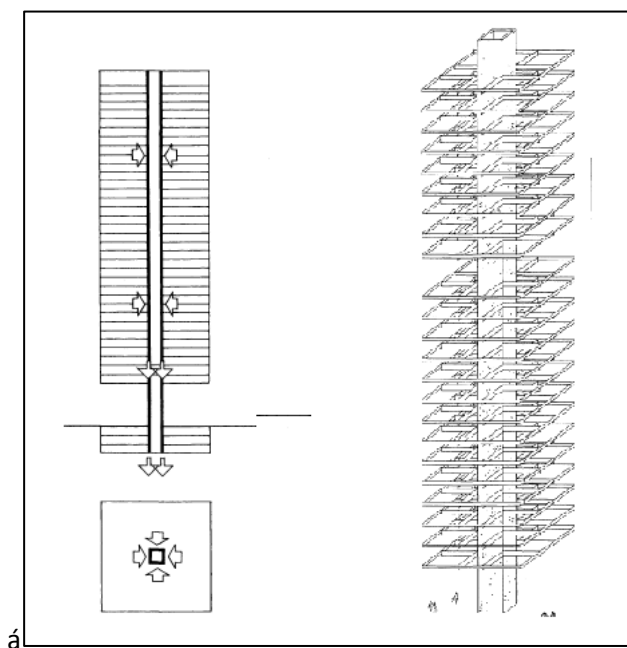


Fonte: Savills (2013)

- Concepção:** A moradia estudantil, localizada em Wembley e próxima à estação de metrô Wembley Park, foi projetada primeiramente em função do tamanho dos módulos (16 metros x 3,8 metros) em que cada módulo compreende 2 quartos e um corredor duplo. Diante disso, projetou-se 3 alas de diferentes tamanhos (ala oeste com 16 pavimentos, norte 4 e leste 6 pavimentos), construídas sobre 2 pavimentos inferiores de concreto, tendo ambas um espaço central em comum, afim de atender aos edifícios residenciais e comerciais vizinhos e amenidades nas proximidades. Desta forma, a edificações dispõe de 248 quartos no total, além de 51 cozinhas integradas com salas, lavanderia e estacionamento de bicicletas.

- Sistema Estrutural:** A partir da concepção arquitetônica da edificação, a qual previu três alas irradiando de um centro comum, estas por sua vez concebidas por módulos abertos lateralmente, verifica-se que a melhor solução seria conceber as alas em balanço em torno deste centro comum e portanto a estabilização da edificação dependeria basicamente da absorção horizontal de cargas e transmissão vertical dessas cargas, através deste centro comum. Diante disso, a solução que se adequa à essa premissa é a de sistema de balanço com núcleo. Nesta alternativa, liberam-se os espaços perimetrais e concentram-se, conforme proposto, as cargas horizontais no núcleo, este por sua vez usado arquitetonicamente também como núcleo de serviços, como escadas e elevadores.

Figura 49 – Comportamento de sistema em balanço com núcleo.



Fonte: Adaptado de Engel (2003)

- Sequência Construtiva:** Todos os módulos foram pré-fabricados sendo que cada um embutido os sistemas hidráulico, elétrico e de refrigeração, piso e paredes já revestidas. Durante a produção módulos, executaram-se as movimentações de terra e fundações em estacas de concreto. Posteriormente, a partir de Julho de 2010, iniciou-se a construção da plataforma de concreto e do núcleo de concreto e os módulos foram sendo transportados e instalados concomitantemente ao longo de 15 semanas, conforme relatado por LAWSON et al. (2014). Cada ala consiste em 10 módulos por pavimento e desta forma, pôde-se obter uma taxa de instalação de 3 pavimentos por semana. Após a

instalação dos módulos, realizou – se as conexões entre os serviços e a aplicação do revestimento de fachada, consistida em painéis suportados em trilhos horizontais previamente instalados nos módulos. O projeto foi completamente terminado em Agosto de 2011, custando cerca de £ 5,5 milhões (cerca de R\$ 32 milhões), segundo informações da construtora.

Figura 50 - Construção do núcleo de concreto e instalação dos módulos.



Fonte: Adaptado de Lawson et. al (2014)

4.4 ESTUDO DE CASO: Edificações Modulares em Concreto

O concreto como material - base em construções modulares é utilizado quando a edificação requer grandes resistências mecânicas, seja pela sua localização, tipologia ou cargas atuantes.

Como já comentado, o material possibilita o uso de diferentes níveis de elementos pré-fabricados: desde simples elementos lineares, como pilares, à sistemas tipo framing, à panelização e eventualmente módulos volumétricos inteiros.

Como referências normativas ao dimensionamento de estruturas de concreto pré-fabricadas, temos:

- ACI 318: Estados Unidos;
- EUROCODE 2 / 2010: Europa;
- NBR 9062 / 2006: Brasil;

Todas as normas citadas possibilitam o dimensionamento de elementos lineares, como pilares e vigas, à elementos planos, como lajes, deste modo, ao se trabalhar com elementos volumétricos (módulos inteiros), é necessário verificar cada elemento separadamente.

4.4.1 Estudo de Caso 5: Country Club Village, Honolulu (Estados Unidos)

Figura 51 - Vista frontal do Country Club Village.



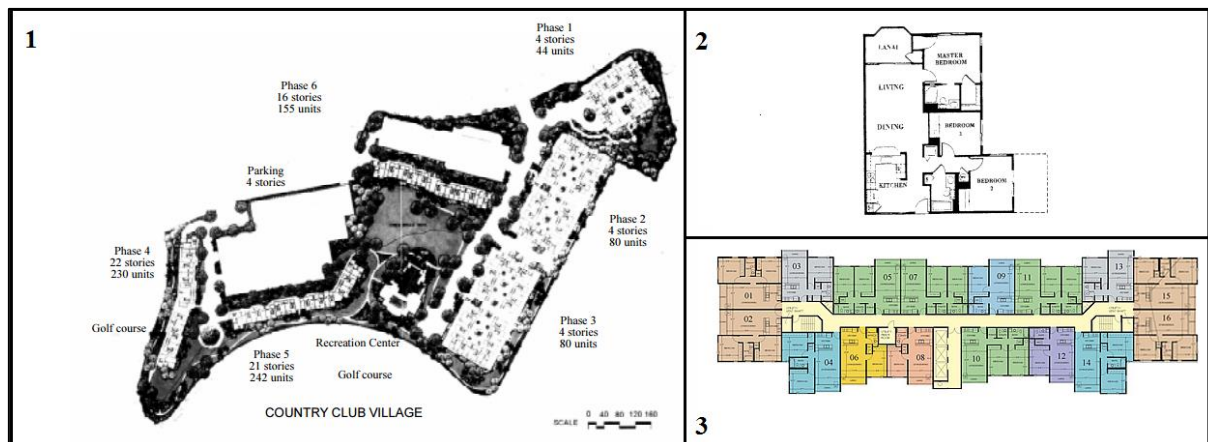
Fonte: Adaptado de Disi (1996)

Tabela 8 - Ficha técnica do Country Club Village em Honolulu, EUA

FICHA TÉCNICA	
Localização/Ano	Honolulu, Hawaii, Estados Unidos / 1996
Material base	Concreto
Tipologia da edificação	Condomínio – clube com 6 edificações de diferentes alturas
Modulação Proposta	Unidade habitacional como módulo
Sistema Estrutural	Sistema tubular

Fonte: Autoria Própria

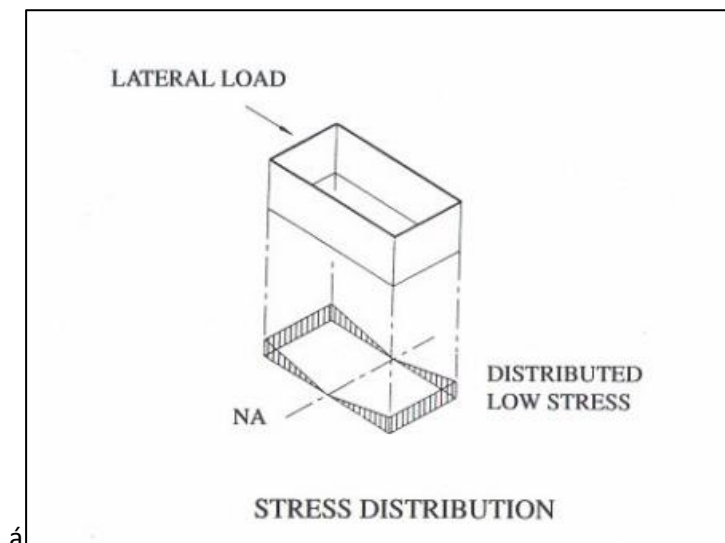
Figura 52 – Implantação do condomínio (1), planta – tipo de uma unidade com 3 quartos (2) e pavimento tipo da edificação nº 6 (3).



Fonte: Adaptado de Pollalis (1997)

- Concepção:** O condomínio foi projetado para ser o primeiro nos Estados Unidos a utilizar o sistema modular proposto chamado MRMC (Muti – Room Modular Construction System), após os proprietários do terreno constatarem a velocidade de execução do sistema ao visitar uma obra que utilizava a mesma em Pusan, Coreia do Sul. Este sistema se baseia na tipologia das unidades habitacionais (quartos). De modo geral, cada pavimento possuía geralmente de 2 a 4 tipos possíveis de quartos, sendo cada tipologia repetida algumas vezes ao longo do pavimento e consequentemente dos andares. Na Figura 53 são ilustrados a implementação do condomínio, além de uma tipologia e do pavimento tipo no caso do Country Club Village. Ao total, 832 unidades habitacionais de 2 e 3 quartos foram entregues, dispostos em 3 edifícios de 4 pavimentos, 2 edifícios de 21 pavimentos e 1 edifício de 16 pavimentos, entre 1994 e 1995.
- Sistema Estrutural:** Uma vez que os elementos de cada módulo são moldados e fabricados monoliticamente, a edificação como um todo se comporta como um tubo capaz de distribuir as cargas verticais pelas paredes, estas por sua vez, resistentes ao cisalhamento, assim como redistribuir as cargas laterais também para as paredes, conforme ilustrado na Figura 54.

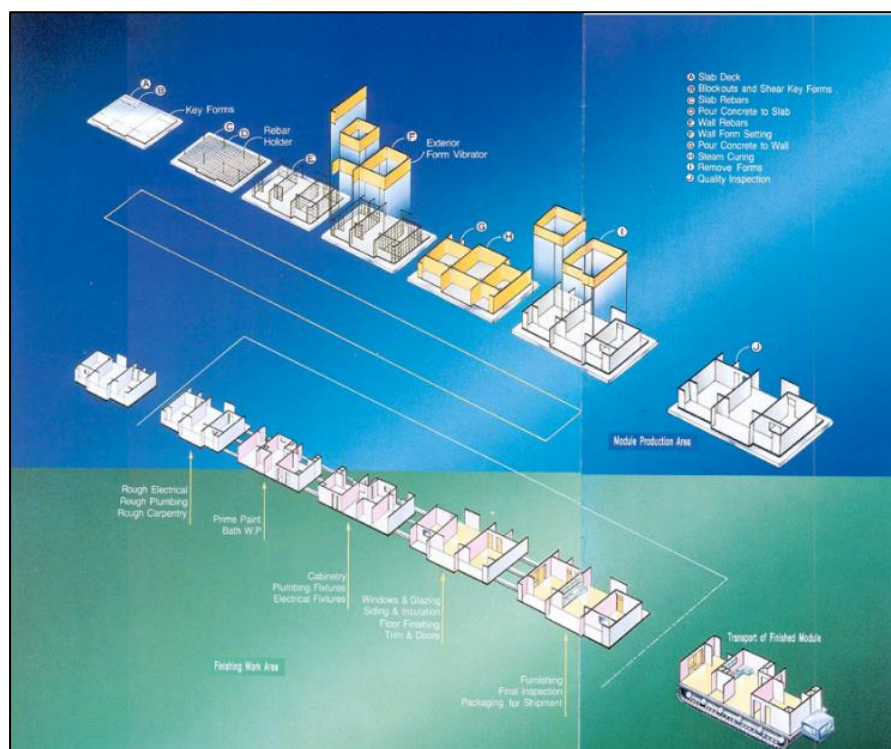
Figura 53 – Comportamento do sistema MRMC como sistema tubular.



Fonte: Adaptado de Disi (1995)

- Sequência Construtiva:** Neste sistema, montou – se a planta de pré-fabricação dos módulos junto ao local de obra. Nesta planta incluem – se 3 conjuntos de moldes automáticos 3D para a moldagem e pré-fabricação dos módulos. Segundo Disi (1996), a implantação dessa unidade fabril requer 4 meses de mobilização, geralmente concomitantes às etapas de movimentação de terra e fundações. Nesse processo de pré-fabricação, os processos de armação e moldagem de paredes e pisos são feitos concomitantemente. Ao final do processo, descrito na Figura 55, o módulo é retirado do molde após 3 horas de cura feita à vapor e desta maneira, é possível se produzir 120 moldes (geralmente quartos já adicionados de corredores) em 30 dias. O processo de pre-fabricação dos módulos pode ser dividido em duas etapas, conforme descrito por Pollalis (1997): na primeira, são produzidos os pisos, locados as armaduras e posicionamento de conduítes, prumadas e junções e finalmente o transporte para o conjunto de moldes de cada parede. Na segunda etapa há o lançamento do concreto através das formas e a vibração ocorre através de linhas de ar, além do processo de cura à vapor. Após a cura os moldes são retirados cuidadosamente. Por fim, após limpeza do módulo, é feito a finalização do módulos, com a inserção de painéis de gesso e as distribuição final das instalações, além da instalação de esquadrias.

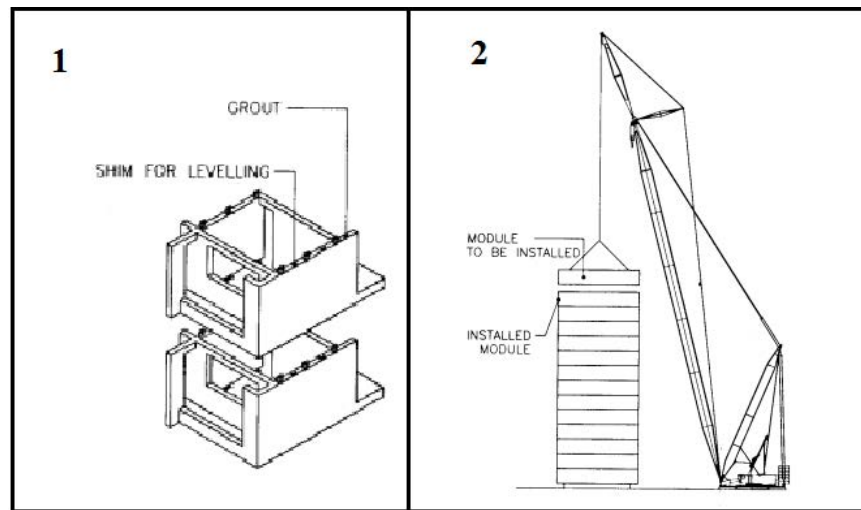
Figura 54 - Esquema de pré-fabricação in situ.



Fonte: Disi (1996)

Após a execução e finalização dos módulos, os mesmos são içados e posicionados na edificação e nivelados com calços de neoprene. No entorno das áreas de conexão entre os módulos, as barras de ligação são expostas, afim de proporcionar espaço para a soldagem entre as barras e conectores, eventualmente placas de aço, que garantirão a conexão entre os módulos. A conexão era finalizada exteriormente com selantes. Pollalis (1997) fornece uma descrição detalhada com desenhos dos esquemas de conexão vertical e horizontal entre os módulos. Além disso, para a continuidade das forças cisalhantes é feito o grouteamento entre os módulos, posterior à conexão dos mesmos. Estruturas auxiliares, como escadas e elevadores também eram feitos nesse sistema, afim de manter o ritmo de obra.

Figura 55 - Conexão e içamento dos módulos.



Fonte: Adaptado de Pollalis (1997)

Com esse processo, ocorrendo sob o regime produtivo Just in Time, conforme os módulos iam sendo produzidos, os mesmos eram içados, posicionados e unidos, gastando – se em média 15 dias nesse ciclo por módulo. Dada a natureza pré-fabricada das edificações, a produção dos módulos ocorria concomitantemente à ereção daqueles já prontos, sendo assim, para a edificação de 21 pavimentos, a cada 5 ou 6 dias um piso era totalmente acabado, consequentemente em 130 dias terminava – se a edificação e portanto, terminou – se o condomínio em 2 anos.

Figura 56 - Execução, içamento e locação dos módulos.



Fonte: Disi (1997)

4.5 ESTUDO DE CASO: Edificações Modulares Híbridas

No caso de sistemas híbridos, conforme já comentado, pode – se aplicar uma combinação de elementos pre-fabricados em diferentes níveis, como entre módulos (sistemas volumétricos) e painéis (elementos planares) ou mesmo entre painéis e frames (ambos elementos planares) de diferentes materiais.

Pode – se recorrer à esse uso misto quando se requer um espaço flexível e adaptável ou deixar a estrutura mais leve ou mais robusta, sendo que para tanto é necessário prever a locação de serviços, suportes estruturais e capacidade de carga dos elementos.

4.5.1 ESTUDO DE CASO 6: Beaufort Court, Londres, Inglaterra

Figura 57 - Vista frontal do Beaufort Court.



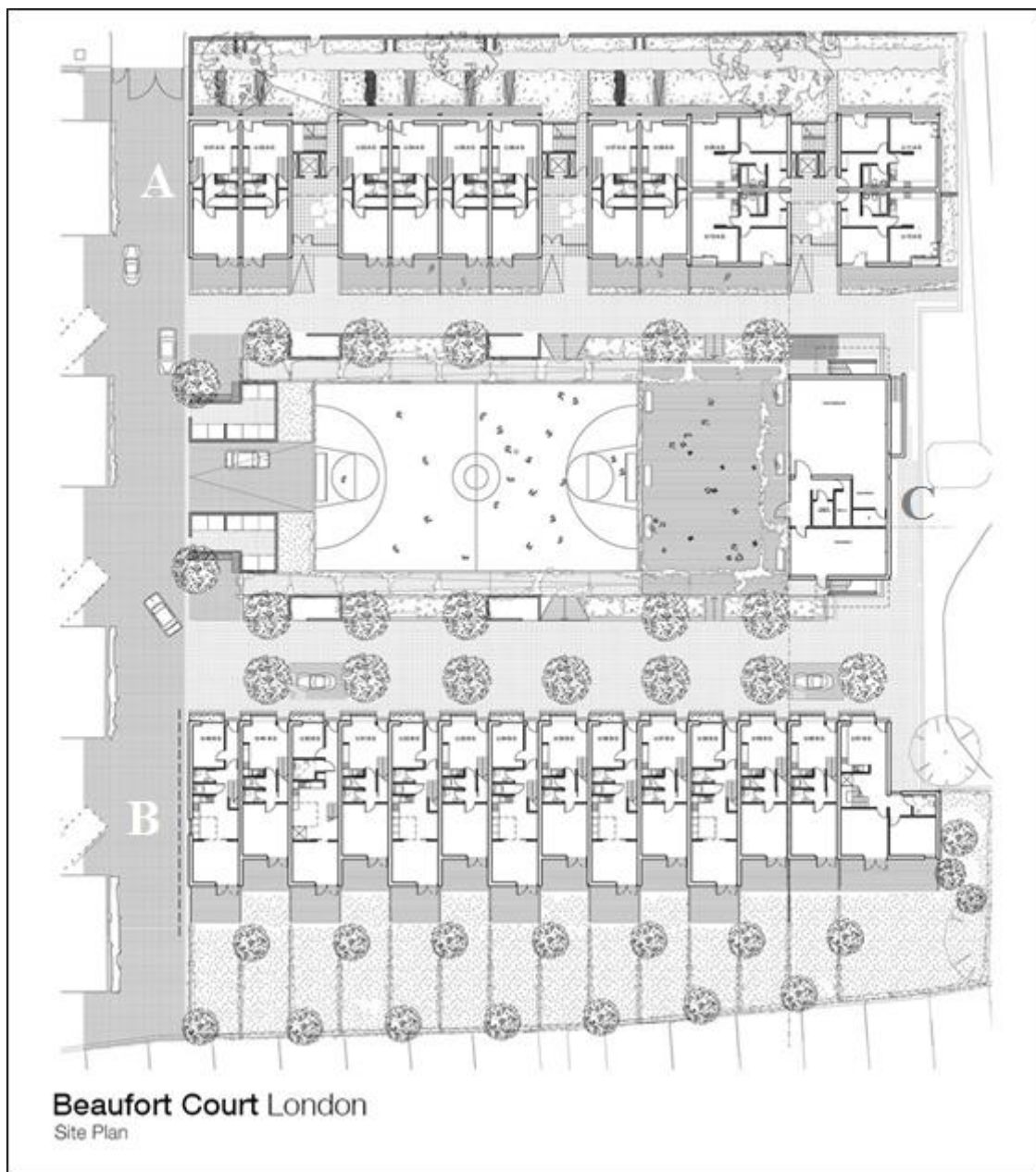
Fonte: Adaptado de New Steel Construction (2003)

Tabela 9 - Ficha técnica do Beaufort Court em Londres, Inglaterra

FICHA TÉCNICA	
Localização/Ano	Fulham, Londres, Inglaterra / 2002
Material base	Aço
Tipologia da edificação	Condomínio residencial
Modulação Proposta	Grid de 4,2 m / Uso misto de elementos planares e módulos
Sistema Estrutural	Sistema de pórticos rígidos

Fonte: Autoria Própria

Figura 58 – Implantação do condomínio e plantas – tipo.



Fonte: Adaptado de FCB Studios. (2002)

- **Concepção:** O condomínio foi projetado para seguir a cartilha do programa de estímulo governamental “Rethink Construction Programme” que visava as melhores práticas em relação ao desenvolvimento construtivo sustentável, além de adotar novas ideias construtivas. Diante disso, como solução ao projeto, verificou – se a necessidade de introduzir a fabricação off-site. Para isso, adotou – se um grid de 4,2 metros, visto que este possibilitava a construção volumétrica, além de espaços mais amplos. Diante disso, a escolha pelo uso mista decorreu do desejo da contratante em explorar novos sistemas

construtivos para uso futuro, além dos painéis oferecerem flexibilidade no projeto, dada às restrições de transporte no local. A partir disso, concebeu – se 65 apartamentos de 50m², divididos em 3 blocos de 2,3 e 6 pavimentos, locados em torno de um pátio ajardinado que serve de ponto focal do site além de parte do estacionamento, usando para tanto o uso misto de painéis de aço leve e módulos servindo como banheiros.

- **Sistema Estrutural:** A estrutura foi concebida para ter todos os elementos pré-fabricados, incorporando as placas tipo “cassetes” acopladas com painéis leves em aço, além dos módulos. Deste modo, a sustentação entre as placas, se dá nas laterais (apenas pelo conjunto pilar-viga), enquanto nos módulos as paredes foram projetadas para contribuir à resistência lateral às cargas atuantes. Para satisfazer a estabilidade, optou – se pelos reforços verticais dispostos em contraventamentos em X afim de resistir as cargas horizontais atuando na estrutura.

Figura 59 – Esquema da estrutura da edificação de 6 pavimentos no Beautifor Court.

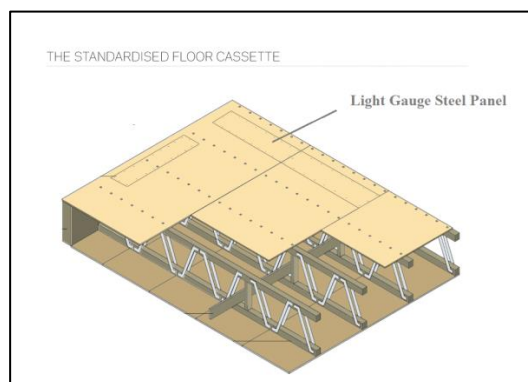


Fonte: Adaptado de Nwsteel Construction (2003)

- **Sequência Construtiva:** Todos os elementos usados na superestrutura foram pré-fabricados fora do local de obra. Durante a sondagem verificou – se a existência de fundações antigas, e uma camada de areia densa e abaixo da mesma uma camada de argila (cota – 20 metros em relação ao nível do terreno). Uma vez que as cargas verticais eram relativamente baixas, devido à baixa altura dos blocos e, a partir da sondagem, optou – se por uma fundação tipo vigas-baldrames,

enquanto nos andares inferiores, funcionando como estacionamento, utilizou – se lajes e pilares de concreto armado e vigas de aço, afim de sustentar o deck do pátio. A locação da superestrutura iniciou – se pela instalação das paredes, formadas por um conjunto de frames contraventados em X interconectados, e das placas de piso dos tipo “cassettes” (acoplados dos painéis de aço leve), ambas com isolamento de lã de rocha entre os perfis de aço. Perfis de aço retangulares foram instalados simultaneamente nas fachadas e nas varandas para permitir grandes aberturas para as janelas e varandas amplas, dando mais flexibilidade ao projeto.

Figura 60 - Esquema das placas de piso tipo "cassettes".



Fonte: Adaptado de Lawson et. al. (2014)

Concomitantemente a partir do segundo pavimento, instalaram – se os módulos, os quais funcionariam como banheiros com os serviços previamente instalados e servindo como base para a distribuição vertical e horizontal dos pavimentos. Posteriormente, aplicou – se o revestimento interno em placas de reboco e gesso, enquanto que nas fachadas utilizou – se como revestimento ladrinhos colados em placas (simulando visualmente tijolos) conectadas à estrutura por parafusos e esquadrias em alumínio. Como finalização, na cobertura, projetou – se um “telhado verde”, baseado em sedum, para reforçar a preocupação com o desenvolvimento construtivo sustentável. A construção iniciou – se em fevereiro de 2002 e terminou em julho de 2003, custando £7,5 milhões (cerca de R\$ 45 milhões). Lawson et al. (2014) cita que a utilização da construção modular evitou 20 semanas de trabalhos.

Figura 61 – Instalação dos módulos e das placas de piso.



Fonte: Adaptado de Lawson et. al. (2014) e New Steel Construction (2003).

5. CONCLUSÃO

De acordo com o conteúdo apresentado tanto nos aspectos conceituais quanto nos demonstrativos, estes, efetuados através de estudos de caso, conclui – se que o presente trabalho cumpriu os objetivos propostos inicialmente.

O principal objetivo a ser cumprido neste trabalho era demonstrar através de casos reais a importância do uso da coordenação modular como ferramenta de projeto e consequentemente como sistema construtivo, indicando em ultima instancia de que a efetiva aplicação da coordenação modular é possível e que está redefinindo, em países mais desenvolvidos, a forma com que se concebe e se executam as edificações.

Durante a execução deste trabalho, determinados pontos chamaram a atenção do autor e diante disso, pode-se tecer que:

A modulação existe desde a Antiguidade e a coordenação modular como ferramenta arquitetônica e normativa de projeto é datada do início do séc. XX, sendo o Brasil um dos primeiros signatários. Verifica-se que as normas tratam de forma genérica os conceitos da coordenação modular, não dando maiores especificações quanto ao seu uso, por exemplo. Além disso, embora muitas outras normas façam referência à obrigação da modulação em projetos no país, o seu uso não está incorporado no cotidiano dos componentes do ciclo da cadeia produtiva da construção, como projetistas, fabricantes, construtores e demais profissionais, o que dificulta ainda mais a sua assimilação e uso. Conforme já apresentado, os gargalos para a aplicação da modulação em projetos são muitos, sendo talvez a barreira cultural a principal responsável por isso.

Os projetistas brasileiros, em sua maioria, tem como *modus operandi* na fase de concepção da edificação, preocupar-se apenas com o rigor e resultado estético final do produto, preterindo para tanto a racionalização, ao invés de aliá-la, dando origem ao atual modelo, o famigerado “na hora de construir se resolve” (eventuais incompatibilidades entre estética e técnica).

Para que isso não ocorra, é necessário um olhar mais integrado entre, soluções estéticas, técnicas, ao planejamento construtivo, privilegiando a tomada de decisões durante a fase conceitual, visto que segundo Barros (2003), “o projeto deve ser a porta de entrada para novas tecnologias, deve ser o papel de indutor da modernização do setor”. É nesta fase que reside o sucesso não só do sistema construtivo modular, mas como de qualquer construção.

Obviamente, parte deste “força motriz de transformação” da Indústria só é possível com a formação de profissionais que tenham entrado em contato com as noções de coordenação modular, para que os mesmos não criem essa “barreira cultural” e sejam responsáveis por iniciar e promover esta mudança, sendo responsabilidade de Universidades promover o ensino do tema, além de fomentar pesquisas na área.

Quanto aos eventuais questionamentos em relação à aplicação da coordenação modular em projetos no Brasil, pode-se citar o trabalho desenvolvido por Freire (2006), demonstrando que é possível obter os benefícios supracitados da coordenação modular, mesmo com o uso de componentes, como blocos de vedação. No mesmo

trabalho, há um interessante comparativo entre a construção modular e construção tradicional, ante este projeto-tipo.

Por fim, o autor entende que a aplicação da modulação, de certo trará mais benefícios à projetistas e demais membros do ciclo da indústria da construção, além de nos colocar no mesmo nível de competitividade de empresas estrangeiras, sem que para tanto, haja limitações estéticas no produto final

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões de trabalhos futuros, afim de dar continuidade nos estudos sobre o assunto, o autor tendo em vista, dos relatórios e pesquisas de fomento à construção modular, disponibilizados no MBI e, dos estudos de caso, além da importância e complexidade do tema propõe:

- Aplicação do sistema construtivo modular em habitações de interesse social (HIS) com níveis de pré-fabricação mais simples como 1 e 2 (componentes simples e elementos planos, como frames e painéis), atentando – se ao projeto e respectiva análise dos resultados físicos-financeiros;
- Análise do panorama de sustentabilidade em projetos executados com a construção modular: verificação da diminuição do índice de desperdícios e resíduos gerados;

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15873**: *Coordenação Modular para Edificações*. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: *Ações e Segurança nas estruturas*. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: *Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios*. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: *Projeto de estruturas de concreto*. Rio de Janeiro, 2014.

BARROS, M. M. S. B. de; SABBATINNI, F. H. ***Diretrizes para o processo de projeto para implementação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios***. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP: BT/PCC/172. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

BRUNA, P. J. V. ***Arquitetura, Industrialização e Desenvolvimento***. Editora Perspectiva. São Paulo, 1976.

CHING, F.D.K. ***Arquitetura: Forma, Espaço e Ordem***. Editora GG. México, 1998.

CUNHA, S.M. ***T30 Hotel***. Apresentação da disciplina de Noções de Arquitetura e Urbanismo. PUC - Goiás. Goiânia, 2012.

DISI, INC. ***DWS and MRMC2 Brochures***. Catálogos de apresentação da empresa. Honolulu, Havaí, Estados Unidos, 1997. Disponíveis em: http://disi-inc.com/downloads/DWS_brochure.pdf e http://disi-inc.com/downloads/mrmc2_brochure.pdf Acessados em 12 out 2015.

DOLEZAL, F., AM TINKOF, O. M., MÖTZL, H., SPITZBART, C. **Wood in Carbon Efficient Construction: Tools, methods and applications**. Capítulo 8. CEI-Bois. Finlândia, 2013. Disponível em:

https://asiakas.kotisivukone.com/files/eco2.ota.fi/tiedostot/eco2_book_chapter_8.pdf

Acessado em 25 set 2015.~

ENGEL, H. **Sistemas Estruturais**. Editora Gustavo Gili. Barcelona, Espanha, 2003.

FERREIRA, M. A **Apontamentos: Sistemas Construtivos Inovadores**. São Carlos, 1999.

Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/36374474/08-Sistemas-construtivosinovadores> .

Acessado em 05 set 2015.

FREIRE, A. M. V. **Coordenação Modular de Projetos como ferramenta para a racionalização da construção**. Monografia. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006;

GREVEN H. A. & BALDAUF A. **Introdução à Coordenação Modular na Construção no Brasil: Uma Abordagem Atualizada**. Coleção Habitare. Porto Alegre, 2007.

HÄKLI, S. **Daycare Center**. Revista PUUWoodHolzBois nº 4. Helsinki, Finlândia, 2010.

Disponível em: <http://www.woodarchitecture.fi/sites/default/files/magazines/puulehti10-4www.pdf> .Acessado em 08 out. 2015.

HILGERS, L. **Meet the man who built a 30-story building in 15 days**. Wired Magazine nº 9.

Estados Unidos, 2012. Disponível em: <http://www.wired.com/2012/09/broad-sustainable-building-instant-skyscraper/> Acessado em 10 out. 2015.

KLH. **Component catalogue for multi-storey residential buildings**. Viena, 2013. Disponível em: http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2013/englisch_klh_broschueren_tausch/bauteilkataloge_engl/wohnbau_engl/Wohnbau_engl.pdf . Acessado em 07 out. 2015.

LACERDA, M., FLORENCIO, A., SILVA, W.A., DELALIBERA, R. **Avaliação dos critérios para análise da estabilidade global em edifícios de concreto armado: Um estudo de caso**. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, vol.9 nº 2. Goiânia, 2014.

LAWSON, M, OGDEN, R.,GOODIER, C. ***Design in Modular Construction***. CRC Press. Boca Raton, 2014.

LUCINI, H. C. ***Experiências de Coordenação Modular realizadas no Brasil***. São Paulo, SINDUSCON, 2002;

MOLINA, J.C.; CALIL JÚNIOR. C. ***Sistema Construtivo em wood frame para casas de madeira***. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas. Londrina, 2010;

NEW STEEL CONSTRUCTION. ***Beaufort Court, Lillie Road, Fulham***. Projects and Features. New Steel Construction Magazine, nº 11. Londres, Inglaterra 2003. Disponível em: <http://www.newsteelconstruction.com/wp/beaufort-court-lillie-road-london/> . Acessado em 15 out. 2015.

PATINHA, S. M. ***Construção Modular – Desenvolvimento da Ideia: Casa Numa Caixa***. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro. Aveiro, Portugal, 2011.

POLLALIS, S. N. ***Country Club Village, Hawaii –A Case Study on Daewoo’s Multi-Room Modular Construction System***. Harvard University – Graduate School of Design . Cambridge, Massachussetts, Estados Unidos, 1997. Disponível em: <http://www.gsd.harvard.edu/images/content/5/3/538904/fac-pub-pollalis-paper-dws.pdf> .

SANTOS, A., SCHEER, S., AZUMA, F., MARCOS, M. ***Gargalos para a Disseminação da Coordenação Modular***. IV Colóquio de Pesquisas em Habitação. Belo Horizonte, 2007.

SARABANDA, C. I. M. ***Habitação Modular Evolutiva***. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia do Porto. Porto, Portugal, 2013.

SAVILLS. ***Victoria Hall , Wembley – Brochure***. Apresentação. Londres, Inglaterra, 2013. Disponível em: <http://pdf.savills.com/documents/Victoria%20Hall,%20Wembley%20Brochure%20-%20FINAL%20-16%20May%202013.pdf> Acessado em 12 set 2015.

SMITH, R.. E. ***Prefab Architecture: A guide to modular design and construction***. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, 2010.