

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL

Henrique João Kieling Mombach

**DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE TÉCNICAS MODULARES: ESTUDO DE
CASO E PERSPECTIVAS SUSTENTÁVEIS DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO**

Santa Maria, RS
2024

Henrique João Kieling Mombach

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE TÉCNICAS MODULARES: ESTUDO DE CASO E PERSPECTIVAS SUSTENTÁVEIS DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Civil**.

Orientador: Pr. Dr. Rogério Cattelan Antochaves de Lima

Santa Maria, RS

2024

Henrique João Kieling Mombach

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE TÉCNICAS MODULARES: ESTUDO DE CASO E PERSPECTIVAS SUSTENTÁVEIS DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial de obtenção do título de **Engenheiro Civil**

Aprovado em 26 de janeiro de 2024

Rogério Cattelan Antochaves de Lima, Prof. Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

André Lubeck, Prof. Dr. (UFSM)

Gihad Mohamad, Prof. Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS

2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço antes de tudo a Deus por permitir que eu possa, todos os dias, batalhar pelo meu sonho, me protegendo, e guiando-me pelo caminho do bem e da justiça.

À minha mãe Simone, por ter me auxiliado durante toda a graduação, por ser ser minha referência de ser humano, batalhadora, e o mais profundo amor que posso sentir. Um agradecimento especial à minha avó Lucinda, e ao meu irmão Gabriel, por fazerem parte desse caminho, sendo meu suporte. Agradeço também a minha namorada Julia, companheira de todo esse processo, por estar sempre perto nas horas de aflição e dúvida, pela paciência nesses momentos, e por todo apoio dado.

Um agradecimento especial também a todos professores que fizeram parte da graduação, pelos ensinamentos repassados. Especialmente ao Prof. Dr. André Lübeck, e ao orientador Prof. Dr. Rogério de Lima, que foram referências profissionais que levarei por toda minha carreira.

Não poderia deixar de enaltecer os meus amigos e futuros colegas de profissão, Bruno, Lara, Lucas e Vaniely, pessoas extraordinárias que tive o prazer de conviver, tendo a certeza que a graduação foi muito mais proveitosa com a companhia de vocês.

RESUMO

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE TÉCNICAS MODULARES: ESTUDO DE CASO E PERSPECTIVAS SUSTENTÁVEIS DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

AUTOR: Henrique João Kieling Mombach

ORIENTADOR: Rogério Cattelan Antochaves de Lima

O desperdício de matéria-prima, a geração de resíduos de maneira descontrolada, e a falta de planejamento de uma edificação, são problemáticas que com o passar do tempo deverão ser abolidas em construções, tendo a sustentabilidade alinhada com os princípios éticos de qualquer construtora atualmente. Desde o início da Revolução Industrial no século XVIII, até hoje em dia, com tópicos de Construções Modulares em constante avanço, essas duas temáticas aliadas representam abordagens inovadoras que vêm transformando o setor da construção, aplicando métodos e tecnologias industriais na produção de componentes em larga escala, acelerando o processo construtivo, reduzindo custos, e tendo um maior controle de toda cadeia produtiva, até sua montagem final. Os materiais mais utilizados no Brasil, tendo princípios da modulação, são o concreto, o aço e também a madeira reflorestada, cada um com sua própria característica de fabricação e montagem, mas seguindo a padronização mais precisa de seus componentes, como paredes, lajes e cobertura, garantindo ao cliente uma edificação de qualidade, executada de acordo com normas técnicas vigentes e menos agressivas ao meio ambiente. Com isso em vista, o presente trabalho procura exemplificar como se desenvolveu o avanço tecnológico, e a ideia de Construção Modular ao longo da história humana, exemplificando a importância do desenvolvimento destes tópicos, trazendo uma análise dos materiais mais utilizados hoje em dia, além de um estudo de caso de uma obra pública, exemplificando os tópicos citados acima, numa aplicação prática para o desenvolvimento da sociedade. Sendo possível concluir que esses sistemas precisam de apoio governamental, através da fomentação e utilização de Construções Modulares cada vez mais presentes em obras públicas, passíveis de uso geral, além de apoio na diminuição da tributação que afeta negativamente a industrialização da construção, especialmente em itens pré-fabricados.

Palavras-Chave: Construção Modular. Industrialização da Construção. Sustentabilidade. Controle de materiais de construção. Eficiência de produção.

ABSTRACT

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF MODULAR TECHNIQUES: CASE STUDY AND SUSTAINABLE PERSPECTIVES FOR THE CONSTRUCTION INDUSTRY

AUTHOR: Henrique João Kieling Mombach

ADVISOR: Rogério Cattelan Antochaves de Lima

The waste of raw materials, the generation of waste in an uncontrolled manner, and the lack of planning of a building are problems that, over time, should be abolished in construction, with sustainability aligned with the ethical principles of any construction company today. Since the beginning of the Industrial Revolution in the 18th century, until today, with Modular Construction topics in constant advancement, these two combined themes represent innovative approaches that have been transforming the construction sector, applying industrial methods and technologies in the production of large-scale components. scale, accelerating the construction process, reducing costs, and having greater control of the entire production chain, until its final assembly. The most used materials in Brazil, based on modulation principles, are concrete, steel, and also reforested wood, each with its own manufacturing and assembly characteristics, but following the most precise standardization of its components, such as walls, slabs, and coverage, guaranteeing the client a quality building, executed by current technical standards, and less aggressive to the environment. With this in mind, this work seeks to exemplify how technological advancement and the idea of Modular Construction developed throughout human history, exemplifying the importance of the development of these topics, bringing an analysis of these materials most used today, in addition to a case study of public work, exemplifying the topics mentioned above, in a practical application for the development of society. It is possible to conclude that these systems need government support, through the promotion and use of Modular Constructions that are increasingly present in public works, possible for general use, in addition to support in reducing taxation that negatively affects the industrialization of construction, especially in items prefabricated.

Keywords: Modular Construction. Industrialization of Construction. Sustainability. Control of construction materials. Production efficiency.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Representação da aplicação de medidas modulares em construções gregas.
- Figura 2 - Cidade de Emona.
- Figura 3 - Projeto de uma residência japonesa da Idade Média, baseada no princípio *ken*.
- Figura 4 - Residência típica japonesa ordenada com tramas de *tatame*.
- Figura 5 - Palácio de Cristal de Londres.
- Figura 6 - Montagem de uma edificação de madeira.
- Figura 7 - Representação do Modelo “Dom-Ino”.
- Figura 8 - Eixo de Referência espacial.
- Figura 9 - Aplicação de um modelo construtivo num eixo de referência espacial.
- Figura 10 - Exemplo de aplicação de malhas modulares.
- Figura 11 - Representação de medida modular, juntas e ajuste.
- Figura 12 - Ajuste Modular Positivo.
- Figura 13 - Ajuste modular negativo.
- Figura 14 - Ajuste modular nulo.
- Figura 15 - Exemplo do Sistema Modular Fechado.
- Figura 16 - Sistema modular parcialmente aberto.
- Figura 17 - Sistema modular aberto.
- Figura 18 - Sistema Construtivo com a utilização de painéis e outros componentes modulares.
- Figura 19 - Representação de laje Radier para Light Steel Framing.
- Figura 20 - Representação de sapata corrida para Light Steel Framing.
- Figura 21 - Efeitos de translação e tombamento de uma estrutura.
- Figura 22 - Elementos de transmissão de cargas em um Sistema de Light Steel Framing.
- Figura 23 - Contraventamento de um painel de *Light Steel Framing*.
- Figura 24 - Fechamento de uma residência com painéis OSB.
- Figura 25 - Representação de laje úmida no método Light Steel Framing.
- Figura 26 - Representação de laje seca no método *Light Steel Framing*.
- Figura 27 - Fechamento de alvenaria no sistema Light Steel Framing.

Figura 28 - Aplicação de placa cimentícia em Light Steel Framing.

Figura 29 - Parafusos utilizados em uma edificação de Light Steel Framing.

Figura 30 - Ancoragem provisória do painel em Light Steel Framing.

Figura 31 - Perfil provisório fixado para manter o esquadro entre painéis.

Figura 32 - Instalações em uma edificação de Light Steel Framing.

Figura 33 - Sistema Estrutural de pórticos com telhado de duas águas.

Figura 34 - Ligação de pilar e viga em pórtico pré-fabricado de concreto no sistema parafuso.

Figura 35 - Sistema estrutural composto por painéis de concreto armado.

Figura 36 - Construção em blocos celulares de concreto armado.

Figura 37 - Situação transitória de projeto, manuseio e içamento.

Figura 38 - Edificação em Wood Frame.

Figura 39 - Fundação sendo executada para receber Wood frame.

Figura 40 - Deck formado com chapas de OSB apoiado em vigas de madeira.

Figura 41 - Painéis de madeira no sistema wood frame.

Figura 42 - Embutimento de instalações no interior de painéis em wood frame.

Figura 43 - Cobertura de uma edificação em wood frame.

Figura 44 - Penitenciária de Charqueadas II pronta.

Figura 45 - Produção dos módulos em concreto.

Figura 46 - Solda das portas de correr em metal, junto ao módulo de concreto

Figura 47 - Preparação para o transporte dos módulos.

Figura 48 - Içamento de um módulo em local de obra.

Figura 49 - Imagem aérea do canteiro de obra

Figura 50 - Montagem das paredes do Centro Administrativo.

Figura 51 - Fechamento das áreas coletivas com grades metálicas.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Medidas modulares romanas.

Tabela 2 - Perfis utilizados de Light Steel Framing.

Tabela 3 - Tolerâncias para fabricação de elementos pré-moldados.

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

NBR – Norma Brasileira;

OSB - Oriented Strand Board;

ABCEM – Associação Brasileira da Construção Metálica;

CBCA – Centro Brasileiro da Construção em Aço.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Objetivos específicos	13
1.2 JUSTIFICATIVA	13
1.3 REFERENCIAL TEÓRICO	13
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2. MODULAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES.....	16
2.1 HISTÓRIA E EVOLUÇÃO DA CONSTRUÇÃO MODULAR	16
2.1.1 Arquitetura Grega.....	16
2.1.2 Arquitetura Romana.....	17
2.1.3 Arquitetura Japonesa	19
2.1.4 Revolução Industrial.....	20
2.1.5 Século XIX e XX.....	21
2.2 CONCEITOS IMPORTANTES DA CONSTRUÇÃO MODULAR	23
2.2.1 Sistema base de referência.....	23
2.2.1.1 Referência Geométrica Espacial.....	24
2.2.1.2 Malhas modulares.....	25
2.2.2 Sistema Modular para Medidas.....	26
2.2.2.1 Multimódulo	27
2.2.2.2 Submódulos	27
2.2.2.3 Medida Modular	27
2.2.3 Tolerâncias admissíveis, juntas e ajustes.....	27
2.2.3.1 Junta Modular	28
2.2.3.2 Ajuste modular	28
2.2.3.2.1 <i>Ajuste Modular positivo</i>	28
2.2.3.2.2 <i>Ajuste Modular negativo</i>	29
2.2.3.2.3 <i>Ajuste Modular nulo</i>	29
2.2.4 Numeração preferencial	30
2.3 PRINCIPAIS SISTEMAS EM CONSTRUÇÃO MODULAR	30
2.3.1 Classificações dos Sistema Modulares.....	30
2.3.1.1 Sistema Modular fechado	31
2.3.1.2 Sistema Modular parcialmente aberto	31
2.3.1.3 Sistema Modular aberto.....	32
2.3.1.4 Sistema construtivo através de componentes modulares.....	33

2.4 CONSTRUÇÕES MODULARES EM AÇO	33
2.4.1 Fundação	35
2.4.2 Ancoragem	37
2.4.3 Painéis.....	37
2.4.4 Lajes.....	40
2.4.5 Cobertura	41
2.4.6 Fechamento vertical	42
2.4.7 Tratamento termoacústico	44
2.4.8 Instalação e Montagem	45
2.4.9 Instalações	47
2.5 CONSTRUÇÕES MODULARES EM CONCRETO	49
2.5.1 Pórticos Pré-Fabricados em Concreto.....	50
2.5.2 Construções Modulares de Concreto Armado em esqueleto	51
2.5.3 Painéis em Concreto Armado.....	52
2.5.4 Construções em blocos celulares de Concreto Armado.....	53
2.5.5 Diretrizes de projeto em edificações modulares de concreto	54
2.5.6 Montagem dos elementos modulares de concreto	56
2.6 CONSTRUÇÕES MODULARES EM MADEIRA	57
2.6.1 Fundação	57
2.6.2 Pisos	58
2.6.3 Paredes	59
2.6.4 Instalações	60
2.6.5 Revestimentos	60
2.6.6 Cobertura.....	61
3. ESTUDO DE CASO	62
3.1 PENITENCIÁRIA ESTADUAL CHARQUEADAS II	62
3.2 CONSTRUÇÃO DA PENITENCIÁRIA CHARQUEADAS II	63
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68

1. INTRODUÇÃO

A evolução dos processos industriais da construção civil ainda não está regularizada e operante de forma abrangente, é o que afirmam Greven e Baldauf (2007, pg.11) “[...] a indústria da construção civil apresenta-se como um setor de caráter heterogêneo em relação à sua produção, marcada, de um lado, por obras com um alto índice de produtividade e, de outro, por obras artesanais com altos índices de desperdício associados à baixa produtividade.”

Com isso, questões como otimização da matéria prima e sustentabilidade, eficiência e produtividade da mão de obra, desperdício, incompatibilidade de projeto, ainda são desafios enfrentados por profissionais da área no desenvolvimento e evolução da construção. Segundo Sabbatini (1989, pg.52),

Industrialização da construção é um processo evolutivo que, através de ações organizacionais e da implementação de inovações tecnológicas, métodos de trabalho e técnicas de planejamento e controle, objetiva incrementar a produtividade e o nível de produção e aprimorar o desempenho da atividade construtiva.

Com o passar do tempo, técnicas construtivas que visam melhoras nas questões de sustentabilidade, baixa produtividade, desperdício, e que partem do princípio da Coordenação Modular foram surgindo e aprimorando as formas de construir. A partir dela, novas técnicas foram criadas, implementadas e melhoradas, uma delas é a Construção Modular, que aos poucos vêm se firmando e tornando-se referência na Construção Civil.

Esse método considerado promissor, aos poucos vem quebrando barreiras culturais e sendo inserido na construção civil brasileira. Gestão e compatibilização de projetos, modulação e industrialização dos elementos constituintes, exemplificam o futuro da construções, diminuindo desperdício de material, rapidez e qualidade das obras, questões que deveriam estar constantemente nas pautas de planejamento de construtoras e do poder público, pois só assim, o assunto sustentabilidade deixará de ser apenas um nome bonito, mas se transformará numa ferramenta para tornar o futuro das gerações mais agradável de se viver.

Sendo assim, visto a importância da industrialização e da modulação da construção na sociedade atual, bem como suas inúmeras vantagens pode trazer a uma obra, empresa e ao meio ambiente, estudos dos impactos positivos que esses métodos podem trazer, são essenciais para a implementação ainda mais recorrente dessas técnicas na construção civil brasileira.

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho traz consigo o objetivo de realizar uma revisão bibliográfica sobre os principais modelos de Construção Modular que estão presentes em nossa sociedade, apresentando características individuais de cada sistema, bem como parâmetros de projeto e construtivos dos mesmos.

1.1.1 Objetivos específicos

- Apresentar a evolução histórica de Construções Modulares;
- Revisar a legislação vigente para edificações modulares dos mais diferentes materiais encontrados na construção civil brasileira;
- Expor a importância de conceitos da Coordenação Modular;
- Sistemas mais utilizados em Construção Modular;
- Apresentar um estudo de caso da Penitenciária Estadual de Charqueadas II.

1.2 JUSTIFICATIVA

O desperdício, a falta de controle e mau uso da matéria prima, bem como a falta de produtividade, são características ainda presentes nas construções da sociedade brasileira. A falta de zelo com a geração de resíduos, e ao meio ambiente, são desafios que deveriam estar sendo pautas em todos os planejamentos das construções atuais.

Com isso, tendo em vista a importância do papel do Engenheiro Civil com a evolução dos processos construtivos, para evitar o máximo de desperdício possível, tornar o planejamento eficaz e competente, faz-se necessário compreender as inovações que tragam esses resultados ao seu meio.

1.3 REFERENCIAL TEÓRICO

Com a evolução dos mecanismos industriais em todas as áreas da sociedade, bem como sua ampla gama de benefícios para o dia a dia da população, a construção civil ainda não atingiu o seu potencial industrial, ficando a mercê de atividades artesanais e convencionais, apresentando baixa produtividade e um alto índice de desperdício.

Nesse sentido, Yeang (1999), elaborou um estudo concluindo que 40% de toda matéria-prima extraída de recursos naturais, são utilizadas em construções de edificações, de 36 a 45% de toda a energia de uma nação é utilizada em edificações todos os anos, também cerca de 20 a 26% de todo resíduo de aterro, é proveniente também das obras. A partir disso, BALDAUF (2004), em sua tese, traz um estudo da importância de princípios da Coordenação Modular, uma medida que tenta contornar essa problemática, otimizando o consumo de matéria prima, consumo energético, mantendo a qualidade final de uma edificação.

O Brasil internacionalmente foi um dos pioneiros a ter uma norma de Coordenação e Construção Modular, a antiga NB-25R, datada no ano de 1950, além de na década de 70 e 80, estudos e conceitos sobre o tema foram abordados principalmente por entidades como o Banco Nacional de Habitação (BNH), e o pelo Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum (CBC). Nessa temática, hoje em dia a normativa em vigor sobre esse tema é a ABNT NBR 15873:2010 – Coordenação Modular para edificações, definindo termos, e conceitos para edificações modulares.

Atualmente, vigoram várias normativas a nível nacional sobre a qualidade de uma edificação, sua modularização e industrialização, sendo estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A ABNT NBR 15.575:2021 – Edificações Habitacionais – Desempenho, estabelece parâmetros mínimos de desempenho final de uma edificação de acordo com cada sistema construtivo, incluindo aspectos relacionados à industrialização da construção. Há também, normativas específicas sobre a utilização de componentes modulares específicos de cada material, por exemplo a ABNT NBR 9.062:2017 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, requisitando parâmetros importantes de projeto, execução, e controle de estruturas pré-moldadas industrialmente em concreto, para edificações modulares em aço, tem-se a ABNT NBR 16.970:2022 – *Light Steel Framing* – Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço formados a frio, e também a ABNT NBR 15.253:2014 – Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações – Requisitos gerais. Já, a ABNT NBR 16.936:2023 – Edificações em *Light Wood Frame* – traz consigo a normativa sobre o uso de componentes modulares proveniente de madeira reflorestada.

O livro de El Debs (2000), foi um grande marco de referência sobre como a utilização de elementos pré-moldados em concreto armado, se bem planejado e executado, pode impactar no avanço de soluções das problemáticas anteriormente citadas, exemplificando passo a passo, desde a concepção estrutural, fabricação e montagem em canteiro de obra. Nesse sentido, no

ano de 2015, a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), lançou uma importante bibliografia intitulada “Manual da Construção Industrializada, Conceitos e Etapas”, a qual ao longo de seus volumes, aborda também todas as problemáticas já citadas, apontando elementos e materiais, que combinando modularização e industrialização, diminuem e aceleram o desenvolvimento sustentável das edificações nacionais.

Desse modo, surge o desafio da de cada vez mais, implementar os conceitos e métodos para a industrialização e modularização, cumprindo a rigor os requisitos das normativas vigentes, substituindo-os por sistemas mais ágeis e sustentáveis de construção.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho estará dividido em 4 capítulos principais.

No 1º capítulo, chamado de “1. INTRODUÇÃO”, aborda-se qual o tema principal, sua importância perante à Construção Civil, os objetivos do trabalho, sua justificativa, e o referencial teórico.

Já no 2º capítulo, “2. MODULAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES” apresenta-se os principais modelos de Construção Modular encontrados em nossa sociedade atual, características construtivas, classificações econômicas, vantagens e desvantagens de sua utilização.

Na terceira parte, “3. ESTUDO DE CASO”, será apresentada a obra da Penitenciária Estadual Charqueadas II, projetada e executada nos moldes de Construção Modular, suas características, e comparações com os modelos apresentados no capítulo anterior.

Por fim, no capítulo “4. CONSIDERAÇÕES FINAIS” será realizado uma análise do estudo apresentado.

2. MODULAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES

2.1 HISTÓRIA E EVOLUÇÃO DA CONSTRUÇÃO MODULAR

Gerações passam, e o início do interesse da humanidade por elementos uniformes, constantes e ordenados entre si é desconhecido por todos pesquisadores do assunto. A teoria mais provável e aceita segundo Filho (2007) e Bregatto (2008), está na construção de pirâmides egípcias, estruturas feitas de rochas ou pedras, construídas há mais de 4500 anos, onde eram sepultados os faraós, os reis do Antigo Egito.

O intuito dessas construções era visto como símbolo de prosperidade econômica, sendo construções grandiosas e modernas para aquela época. Labirintos, câmaras mortuárias, corredores estreitos, passagens falsas, compunham a edificação, tudo isso para dificultar o acesso de saqueadores, visto que os faraós eram sepultados com suas riquezas, e essas eram grandes alvos.

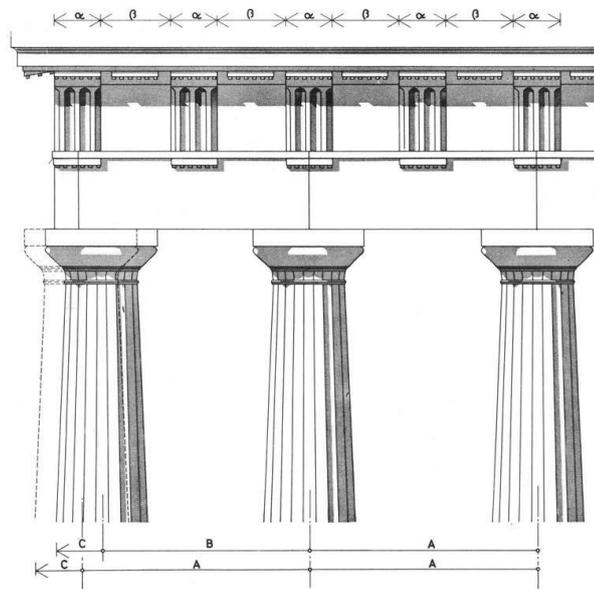
2.1.1 Arquitetura Grega

De acordo com Baldauf (2004) a arquitetura grega visava princípios que vão além da funcionalidade da edificação. Pontos como, racionalidade, beleza, ordem, geometria e padrões eram marcos primordiais em seus projetos, destacando-se principalmente, a homenagem e adoração aos deuses, com construções gigantes, inovadoras e imponentes.

Para tanto, um princípio primordial do ordenamento, padrão estético, e imponência das construções gregas, está no diâmetro das colunas, a partir do qual, se baseava as demais medidas das obras.

Nas construções gregas, a única proporção que não se alterava em uma edificação era o diâmetro de uma coluna circular em relação a sua altura, como dito por Patinha (2011, pg. 08), “...a altura das colunas deveria ser seis vezes o diâmetro da base da coluna e a altura do entablamento um terço da altura da coluna.”. Independente da ordem arquitetônica grega, toscana, dórica, jônica, coríntia ou composta, nenhuma dessas duas medidas era considerada absoluta, possível de ser adaptada e modificada de acordo com a necessidade do projeto, desde que, a relação entre os dois fosse mantida. Na Figura 1 observa-se a representação de uma edificação grega, baseada nos princípios acima citados.

Figura 1 – Representação da aplicação de medidas modulares em construções gregas



Fonte: Adaptado de BALDAUF (2004) Figuras 01 e 02.

2.1.2 Arquitetura Romana

Através de Freitas Júnior (2018) entende-se que a civilização romana, tinha como princípio para a organização de construções, planejamento de cidades e dimensões de materiais usados nas edificações, o seu próprio conjunto de medidas antropométricas, baseado no *passus* romano, múltiplo do *pes*.

De caráter prático, essa atitude possibilitou a padronização de medidas de comprimento de materiais construtivos, como tubulações, telhas, tijolos, além de itens do cotidiano, como copos, talheres e pratos. Com essa implementação, a cultura de construções modulares, organizadas e regulares, começou a ser implementada no cotidiano da vida humana, trazendo modificações ao longo do tempo, mas tendo por base, esse caráter organizacional.

A Tabela 1 apresentada abaixo, adaptada de Greven e Baldauf (2007), exemplifica como as medidas utilizadas na construção das edificações romanas, estava sempre baseada na padronização e na relação direta com medidas antropométricas, relações diretas com medidas do corpo humano, de fácil acesso e compreensão.

Tabela 1 – Medidas modulares romanas

Componentes	Dimensão
Tubo cerâmico	1 <i>gradu</i> (passo)

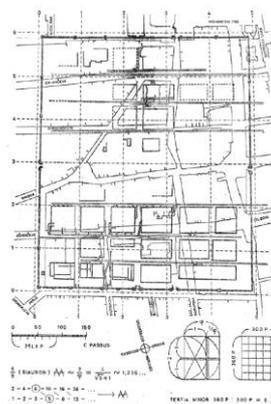
Tabela 1 – Medidas modulares romanas

Telha cerâmica	1 <i>cubitu</i> (osso longo do antebraço) ou 6 <i>palmi</i> (palma, distância da mão entre punho e dedo)
Laje de tijolos para <i>hypocausto</i>	2 <i>pedes</i> (2 pés) ou 8 <i>palmi</i>
Coluna de pedra para <i>hypocausto</i>	Largura: 2 <i>palmi</i> Altura: 2 <i>pedes</i> ou 8 <i>pedes</i>
Tijolo <i>lydica</i>	Largura: 1 <i>pes</i> ou 4 <i>palmi</i> Altura: 1 <i>palmus</i> Comprimento: 1 <i>cubitu</i> ou 6 <i>palmi</i>
Ladrilhos quadrados para piso	Área: 1 <i>cubitu</i> quadrado ou 1 <i>pes</i> quadrado
Ladrilhos hexagonais	Largura: 1 <i>bes</i> ou 1 <i>triens</i> ou 2 <i>unciae</i> (polegada)
Pedras para mosaico de pisos	Espaço modular: 1 <i>uncia cúbica</i> (polegada) ou 1 <i>semiuncia cúbica</i> ou 1 <i>silicius</i> (rocha) cúbico

Fonte: Adaptado de (Baldauf, 2004, pag. 29)

De acordo com Bregatto (2008), Um exemplo da utilização das medidas antropométricas na organização de cidade de Emona, a atual Liubliana, situada na Eslovênia, baseado num baseado de *passus* com dimensão de 360 x 300 *passus*, originando uma proporção de 6:5 de um conglomerado de 60 *passus*. A visualização do exemplo citado, pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Cidade de Emona



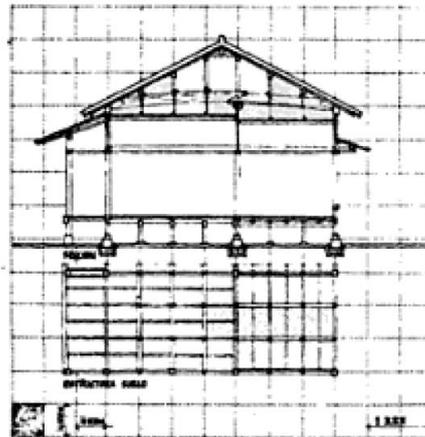
Fonte: Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum, 1972

2.1.3 Arquitetura Japonesa

Durante a segunda metade da Idade Média, em solo japonês, a arquitetura tinha como base sua própria unidade de medida, o *ken*, que se diferenciava do *shaku*, que era utilizado nas atividades básicas do cotidiano dos moradores locais.

O *ken*, tendo aproximadamente 1,8 metros, de início regia apenas a distância de separação entre duas colunas, sem apresentar uma distância fixa. Ching (1998) e Bregatto (2008), afirmam que com o passar do tempo, o *ken* tornou-se normalizado e usado na arquitetura e engenharia, como uma medida absoluta, que regia toda a estrutura, os materiais de construção, e os espaços internos, tanto de uma residência, como de uma grande edificação da época. Na Figura 3, observa-se justamente esse fenômeno, onde a estrutura está representada num plano modular, e tendo referência o princípio *ken*.

Figura 3 – Projeto de uma residência japonesa da Idade Média, baseada no princípio *ken*

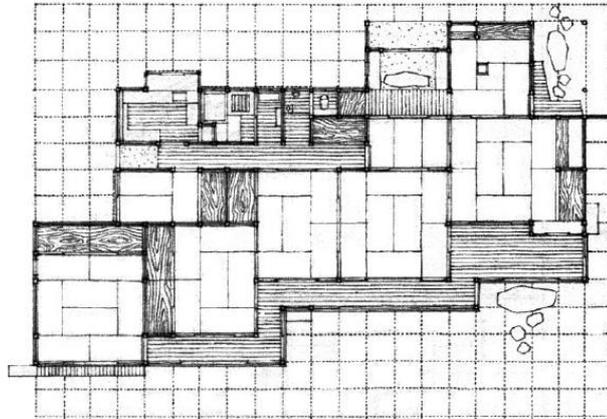


Fonte: PATINHA (2011)

De acordo com Greven e Baldauf (2007), a utilização do conjunto modular para edificações japonesas da época, chamada de *tatame*, regrava a utilização dos espaços em cada cômodo de uma habitação, possuindo dimensões retangulares de proporção 2:1 (0,5 *ken* x 1 *ken*).

Essa trama, era baseada nas necessidades humanas, pois tinha como base o espaço de duas pessoas sentadas de maneira confortável, ou de uma pessoa deitada. A orientação poderia ser de diversas maneiras para o melhor encaixe e organização do espaço, como pode ser observado na Figura 4, que retrata uma residência japonesa típica da época.

Figura 4 – Residência típica japonesa ordenada com tramas de *tatame*



Fonte: Adaptado de Ching (2002) e Greven e Baldauf (2008).

2.1.4 Revolução Industrial

Iniciando na metade do século XVIII, esse período além de transformar a história da humanidade em várias questões sociais, foi também um grande marco na construção civil. Segundo Bregatto (2008), esse processo possibilitou um melhor controle dos materiais, desenvolvimento tecnológico, melhoria em transportes, fazendo com que novos materiais antes pouco explorados e controlados pelo ser humano fossem utilizados no cotidiano, sendo eles o metal, e o vidro.

Desta forma, com o gigantesco crescimento industrial da época, novas necessidades foram surgindo e aumentando o número de portos, galpões, indústrias. Para isso, novas estratégias foram pensadas e desenvolvidas. Aliada ao desenvolvimento da indústria, surgiram uma série de elementos pré-fabricados, fazendo com que essas edificações pudessem ser executadas de forma ágil, eficiente e bem padronizada.

De acordo com Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum (1970), a primeira grande aplicação dos conceitos desenvolvidos na época, foi o Palácio de Cristal, projetado por Joseph Paxton, com a finalidade de sediar a Exposição Universal em Londres, para receber mais de 6 milhões de visitantes, e cerca de 13 mil expositores, contando um pouco do desenvolvimento industrial, sendo esse um evento de certificação mundial e referência na época.

A obra continha uma estrutura pré-fabricada em aço e vidro, contendo uma área de cobertura de cerca de 71500 m². Uma característica importante e muito marcante do Palácio de

Cristal, era ser totalmente desmontada e podendo ser transferida a outro lugar, sendo sua primeira aparição, construída em apenas 9 meses, um prazo surpreendente para a época, onde ter um conjunto de elementos bem planejados e executados era apenas um sonho distante.

Ainda de acordo com o Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum (1970), essa estrutura foi tão marcante e emblemática pois atentou em cerca de um século antes o quão eficiente poderia ser uma trama modular bem planejada, fabricada e construída, substituindo os padrões métricos habituais do cotidiano das edificações criadas pelos seres humanos. Na Figura 5, pode-se observar a imponência e a sofisticação da presente obra citada.

Figura 5 – Palácio de Cristal de Londres



Fonte: Equipe Mapa de Londres, disponível em: <https://mapadelondres.org/palacio-de-cristal-em-londres/>. Acesso em 12 dez. de 2023

2.1.5 Século XIX e XX

De acordo com Filho (2007), após a inauguração do Palácio de Cristal, muitas expectativas foram criadas para o crescimento de edificações desse tipo no mundo atual, passando a desenvolver hospitais, escolas, creches, entre outros. Mas o que aconteceu foi justamente o contrário, a Construção Modular teve um retrocesso em sua utilização e ficou resumida ao mercado de casas pré-fabricadas.

Segundo Patinha (2011) essa cultura difundiu-se muito em solo norte americano, com a comercialização de casas de madeira, cuja produção era realizada em indústrias, disponibilizando alguns modelos específicos pra residências. Possuindo em média, cerca de 30.000 peças cada edificação residencial, sendo sua venda através de consulta em catálogo.

De acordo com Ramos (2007), essa foi a primeira vez que uma edificação modular conseguia ser competitiva com o mercado convencional, tanto de maneira econômica como na questão de rendimento, se tornando uma opção viável no comércio norte americano. Na Figura 6, observa-se a montagem de uma edificação modular em madeira, ainda sem grande utilização de ferramentas mecanizadas que auxiliassem no transporte e montagem.

Figura 6 – Montagem de uma edificação de madeira

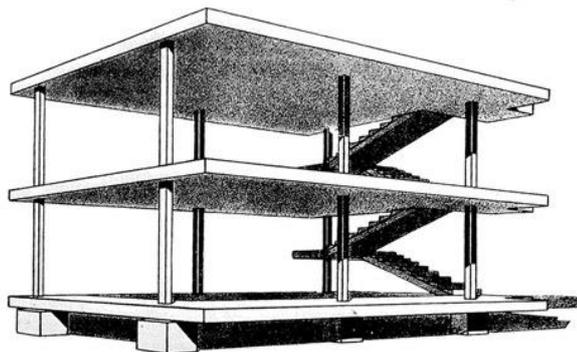


Fonte: GAFFEY et.al (2006)

Ao passar dos anos, o assunto da Construção Modular tornou-se recorrente nas escolas de arquitetura mundo afora, surgindo aliadas a pautas sustentáveis e racionalização das edificações. Referências do mercado começaram a implementar a modulação em seus projetos, de acordo com Ramos (2007), nomes como Le Corbesier, Walter Groups, Alfred Farwell fizeram parte dessa implementação.

Ainda por Ramos (2007), Le Corbesier, um renomado arquiteto suíço, acabou por desenvolver um sistema chamado “Dom-Ino”, composto com lajes planas, pilares e fundações em concreto armado, produzidos de maneira industrial com fabricação em série. Na Figura 7, pode se observar a representação do modelo criado.

Figura 7 – Representação do Modelo “Dom-Ino”



Fonte: RAMOS (2007)

Esse modelo tinha por objetivo deixar a arquitetura livre de acordo como cada edificação necessitaria, ou seja, o modelo vinha sem a delimitação dos cômodos, sem a indicação de janelas, portas, tudo isso, era implementado de acordo com o que cada residência necessitaria.

2.2 CONCEITOS IMPORTANTES DA CONSTRUÇÃO MODULAR

A definição de Construção Modular em algumas bibliografias vem com o nome de “coordenação modular”, ou ainda “coordenação dimensional modular”. De acordo com Castelo (2008, pg. 149) “(..)uma metodologia, que visa criar uma dimensão padrão, que racionalize a concepção e a construção de edifícios, o que permite elevar o grau de industrialização, mantendo, no entanto, a liberdade de concepção arquitetônica dentro de valores aceitáveis”.

Para Patinha (2011), a racionalização de uma edificação não ocorre somente no canteiro de obras, mas sim, desde a sua correta concepção e organização dos projetos necessários, sendo necessário que todos os elementos presentes estejam organizados de maneira correta e definitiva, sendo uma elaboração final mais rígida, e menos personalizável.

Em obra, segue uma sequência de dois eventos, onde inicialmente ocorre a produção dos elementos em uma fábrica, e outro em que são organizados e instalados em seus devidos locais de implantação. A racionalização deve ocorrer em ambos os processos, provendo diminuição de custos, desperdício, e aumento significativo da qualidade individual de cada elemento participante.

Toda essa metodologia, funciona com a definição de alguns conceitos bases, necessários para aprofundar:

- Sistema base de referência;
- Sistema modular para medidas;
- Tolerâncias admissíveis, juntas e ajustes.
- Numeração preferencial.

2.2.1 Sistema base de referência

A organização de uma de uma obra modular, necessita da definição e organização de um sistema geométrico de referência. Podendo deixar mais clara a sua compatibilização e orientação dos elementos presentes. De acordo com Castelo (2008) e Greven e Baldauf (2007),

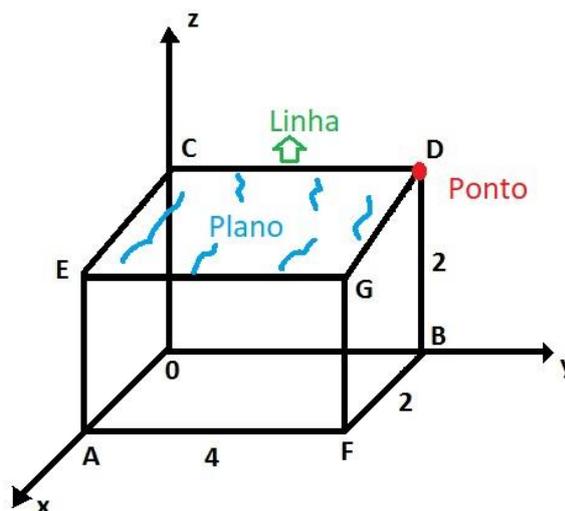
esse sistema poderá ser implementado no dimensionamento dos elementos, na implantação da obra no terreno, ou até depois, durante a execução dos elementos pré-fabricados.

2.2.1.1 Referência Geométrica Espacial

Pode ser definido como a junção de eixos tridimensionais, comumente sendo eixo X, Y e Z, onde a localização de um ponto, de uma linha, ou de um plano, se define através de coordenadas. De acordo com Rosso (1976), os planos se interceptam de maneira perpendicular, a uma distância igualmente em módulo, formando uma malha tridimensional.

Na Figura 8, pode ser observado um eixo padrão de referência espacial, contendo informações de ponto, linha e plano.

Figura 8 – Eixo de Referência espacial

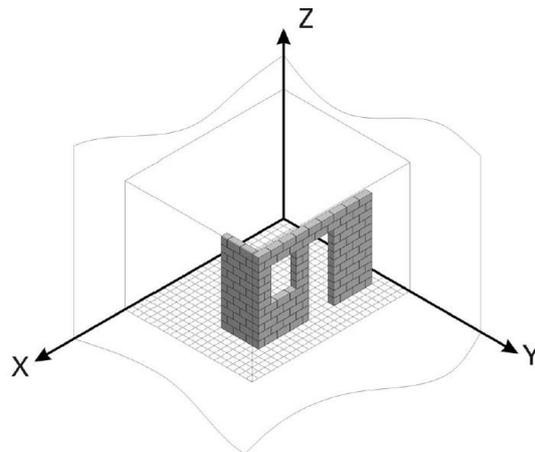


Fonte: Adaptado de ENGQUIMICASANTOSSP, Disponível em:

<https://www.engquimicasantosp.com.br/2015/10/sistema-coordenadas-cartesianas-espaco.html>. Acesso em 12 dez, 2023

Na Figura 9 Greven e Baldauf (2007), retratam como um sistema de coordenadas espacial pode ser aplicado em uma edificação. No exemplo em si, retrata-se uma parede de alvenaria, demonstrando o uso da Coordenação Modular na organização dos elementos constituintes, e na organização do espaço.

Figura 9 – Aplicação de um modelo construtivo num eixo de referência espacial



Fonte: Disponível em GREVEN e BALDAUF (2007, pag. 39)

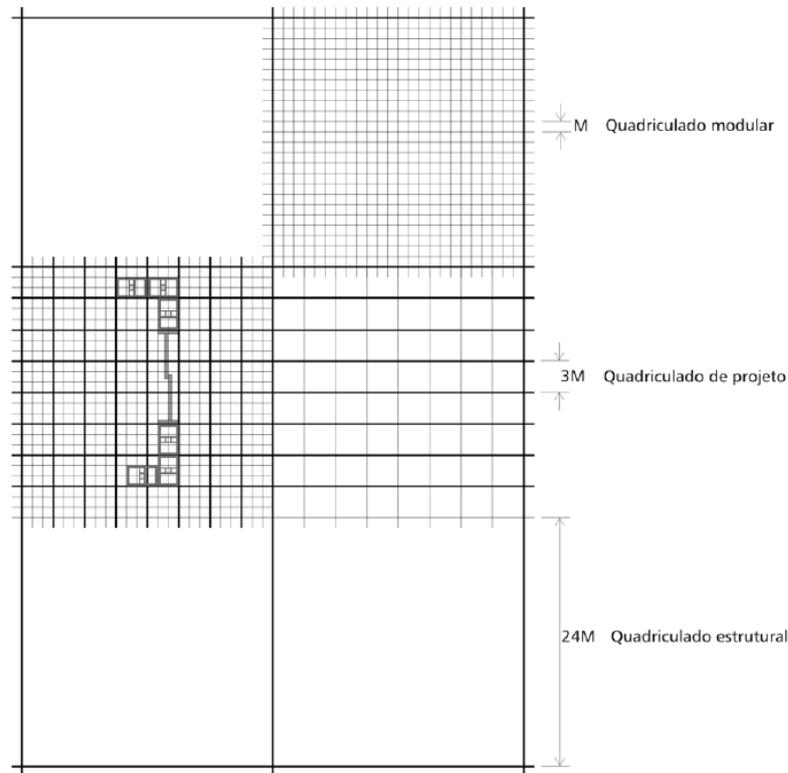
2.2.1.2 Malhas modulares

Greven e Baldauf (2007) definem malhas modulares, ou também podendo ser chamado de quadriculados modulares, elementos compostos tanto no plano horizontal, como no vertical, dependendo da representação que se deseja ter: planta baixa, cortes transversais. A distância entre dois pontos poderá ser mais ou menos ajustada de acordo com o modelo e projeto que se deseja obter. De acordo com Greven e Baldauf (2007), Castelo (2008) e Filho (2007), as malhas modulares, dividem-se em:

- Malha modular: Considerada a básica, sendo utilizada para visualização de componentes num determinado projeto;
- Malha modular de projeto: Utilizada para criação de projetos gerais de uma edificação;
- Malha modular estrutural: Utilizado para disposição dos elementos estruturais;
- Malha modular de obra: Utilizado para locação da edificação, bem como a localização e orientação do edifício.

Na Figura 10, pode-se observar três quadriculados distintos, cada um com sua aplicação, entendendo a importância da mesma, e como pode ser alterado o tamanho de referência por números inteiros, sem a perda de sua funcionalidade.

Figura 10 – Exemplo de aplicação de malhas modulares



Fonte: Disponível em GREVEN e BALDAUF (2007, pg. 41)

2.2.2 Sistema Modular para Medidas

Esse sistema preconiza a padronização das dimensões de um determinado elemento, utilizando-se de números inteiros ou fracionados, previamente obtidos de uma dimensão modular de base. Segundo Greven e Baldauf (2007, pg. 40) as características desse sistema deverão ser:

- Medidas funcionais e de elementos construtivos típicos;
- Aditiva em si mesmo;
- Assegurar a intercambialidade das partes mediante a combinação das medidas múltiplas ou fracionadas de determinado módulo.

Ocorre que, em uma determinada edificação, são várias as dimensões encontradas nos elementos. Pensando nisso, Castelo (2008), Filho (2007) e Greven e Baldauf (2007), desenvolvem conceitos de multimódulos e submódulos, com o intuito de aliviar essa problemática. A sua utilização pode ser observada na Figura 10, apresentada anteriormente.

2.2.2.1 Multimódulo

Segundo Patinha (2011), usado em dimensões maiores que o módulo, e um número inteiro de vezes (n.M). Podendo ir de 3M até 60M.

2.2.2.2 Submódulos

Para Patinha (2011), pode ser definido como o contrário do multimódulo, sendo medidas menores que o módulo (M/n). Sua base geralmente será o 2 ou o 4. Por exemplo $\frac{1}{2}$ M.

2.2.2.3 Medida Modular

Compreende a soma da dimensão da peça, com sua folga e ajuste. Tem como função definir exatamente essa distância, não correndo o perigo de peças adjacentes ocuparem o local inadequado.

De acordo com Greven e Baldauf (2007), pode ser representada por “nM”, sendo:

- n: Um número maior que zero qualquer;
- M: sendo o módulo.

2.2.3 Tolerância admissíveis, juntas e ajustes

De acordo com Patinha (2011), se referindo ao encontro de Castelo (2008), a compatibilização dos mais diversos elementos dentro de uma edificação, até mesmo de diferentes matérias. Em contraste com o modelo tradicional, dentro de uma Construção Modular, na hora da montagem in loco, ajustes e adaptações devem ser diminuídos ou até erradicados.

Patinha (2011) complementa que uma ruptura com esse processo, conseqüentemente acarretará numa diminuição significativa da eficiência do sistema como um todo, podendo o erro ser conseqüente nos demais elementos que compõem a estrutura.

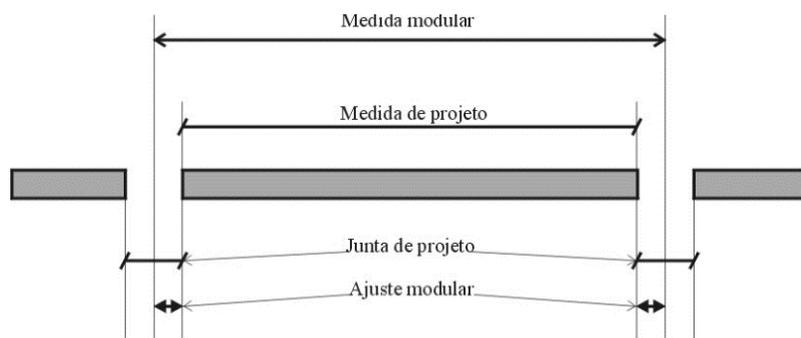
2.2.3.1 Junta Modular

Para Zechmeister (2005), junta é o intervalo entre dois ou mais elementos, podendo ser preenchido por matéria, ou não. Na Construção Modular, essa distância é prevista em projeto, considerando como uma medida que se soma no comprimento de determinado componente.

2.2.3.2 Ajuste modular

Zechmeister (2005) define que ajuste modular é considerada uma medida que visa a segurança da eficiência do sistema modular como um todo, sendo muito importante e alinhada junto ao projeto, pois na hora da montagem, ajustes, cortes e demais modificações não previstas são realizadas só em casos extremamente especiais. Na Figura 11, observa-se justamente essa definição, como o ajuste modular é integrado em um determinado elemento.

Figura 11 – Representação de medida modular, juntas e ajuste



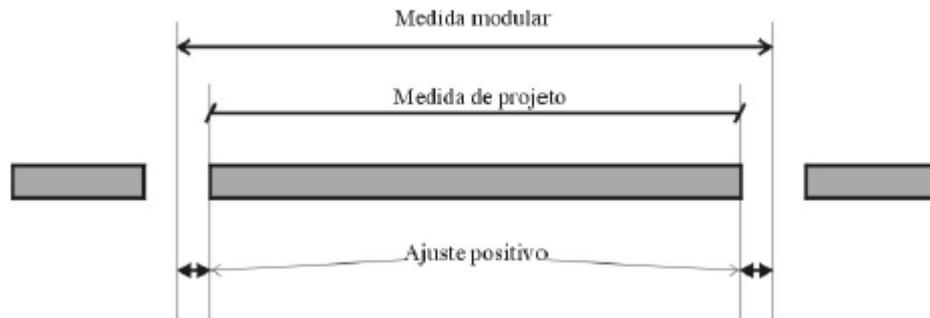
Fonte: ZECHMEISTER (2005, pg. 29)

Dada a importância que o ajuste modular representa numa edificação com o sistema apresentado, Zechmeister (2005), subdivide o ajuste modular em positivo, negativo e nulo.

2.2.3.2.1 Ajuste Modular positivo

De acordo com Zechmeister (2005), define-se ajuste modular positivo quando o espaço modular disponível, não é totalmente preenchido pelo elemento. Basicamente quando o objeto é menor que o espaço disponível. Na Figura 12, observa-se essa definição.

Figura 12 – Ajuste Modular Positivo

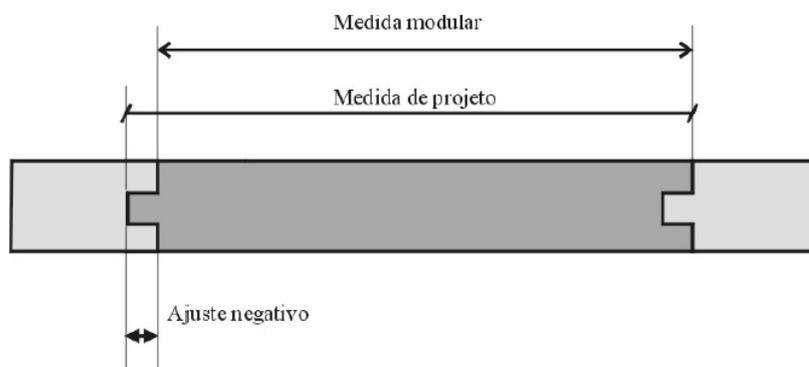


Fonte: Adaptado de ZECHMEISTER (2005)

2.2.3.2.2 Ajuste Modular negativo

De acordo com Zechmeister (2005), irá ocorrer quando o espaço modular disponível não é o suficiente para o elemento que deveria ocupar esse local se acomode. Nesse caso, ocorre o ajuste da peça, ou uma nova fabricação do elemento, atrapalhando a cadeia produtiva da edificação, perdendo prazo de obra, e gerando prejuízos desnecessários. Na figura 13, observa-se a ocorrência desse fenômeno.

Figura 13 – Ajuste modular negativo

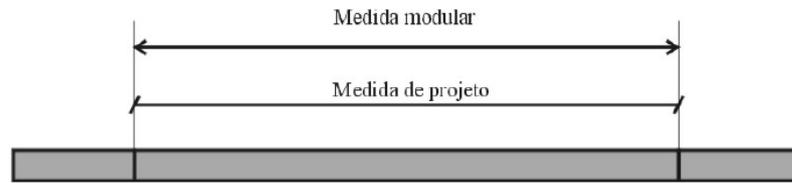


Fonte: Adaptado de ZECHMEISTER (2005).

2.2.3.2.3 Ajuste Modular nulo

E o ajuste modular nulo, de acordo com Zechmeister (2005), ocorre quando dois componentes apresentarão faces adjacentes conectando-se topo a topo de determinado elemento. Ou seja, o espaço modular disponível, é de mesma dimensão que a peça que ocupará o devido local possui, observando-se na Figura 14, a exemplificação da ocorrência dessa definição.

Figura 14 – Ajuste modular nulo



Fonte: ZECHMEISTER (2005, pg. 30)

2.2.4 Numeração preferencial

Segundo Patinha (2011), a utilização de um sistema de medidas atuando de maneira modular, pode ser utilizado com fins de organizar as ligações, definição do tipo, localização e formato de cada componente. São encontradas e consideradas medidas modulares, aquelas em que se utiliza de propriedades matemáticas (divisão, multiplicação, fatoração, combinação), para compor o sistema modular

De acordo com Greven e Baldauf (2007), se referindo à Mascaró (1976), um sistema com números preferenciais será caracterizado por apresentar as seguintes funcionalidades:

- Fixar os limites de cada elemento técnico, pelas razões econômicas e fabricação;
- Função que irá desempenhar;
- Forma de união;
- Possibilidade de se dividir.

2.3 PRINCIPAIS SISTEMAS EM CONSTRUÇÃO MODULAR

Como definido anteriormente, a Construção Modular apresenta uma série de modelos construtivos que através do uso do princípio da Coordenação Modular, organizam-se cada um com suas características próprias, mas de maneira geral com os mesmos princípios.

Neste tópico, apresenta-se os principais métodos disponíveis em território nacional, bem como o andamento de sua tecnologia, inovações e normativas vigentes.

2.3.1 Classificações dos Sistemas Modulares

Antes de exemplificar e aprofundar mais sobre cada tipo de edificação modular presente, é necessário apresentar os sistemas existentes da relação indústria com a montagem in loco.

Tendo por base Patinha (2011), essa classificação é importante, pois irá basear o estudo individual de cada tipo de edificação modular de acordo com seu material de construção.

2.3.1.1 Sistema Modular fechado

Patinha (2011), define sistema modular fechado como um elemento caracterizado pelo elevado grau de industrialização, padronização e pré-fabricação. Esse sistema apresenta-se em células, comparando-se a containers utilizados em transportes marítimos.

Suas formas e dimensões são limitadas, não permitindo uma grande variabilidade e criatividade arquitetônica. Podem ser empilháveis, ou ligados entre si, dependendo do que o projeto demandar, como pode ser observado na Figura 15, no içamento de um elemento caracterizado como sistema modular fechado.

Figura 15 – Exemplo do Sistema Modular Fechado



Fonte: Aratau Construção Modular, disponível em: < <https://www.arataumodular.com/app/tag/construcao-modular/>>. Acesso em 12 dez. 2023

2.3.1.2 Sistema Modular parcialmente aberto

Nesse caso, Patinha (2011) destaca a semelhança com Sistema Modular fechado, diferenciando-se nas aberturas nas laterais, com o intuito de promover a ligação entre os componentes. Dependendo das características, também podem ser empilháveis até vários módulos de altura, como pode ser visto na Figura 16, com o içamento de uma estrutura modular classificada como parcialmente aberto.

Figura 16 – Sistema modular parcialmente aberto



Fonte: DoModular, disponível em: <https://domodular.com.br/2021/05/30/porque-devo-realizar-meu-empreendimento-com-construcao-modular/>. Acesso em 12 dez. 2023

2.3.1.3 Sistema Modular aberto

Patinha (2011) define sistema modular aberto, como sendo um sistema que possui uma liberdade arquitetônica muito mais ampla comparado aos métodos apresentados anteriormente. De maneira geral, esse sistema possui os módulos com suas laterais abertas, ou parcialmente abertas.

Essa característica permite que os módulos sejam agrupados em várias direções, ordenando de maneira melhor estudada e planejada de acordo com o projeto, como observado na Figura 17.

Figura 17 – Sistema modular aberto



Fonte: BARTH e BOLOGNA (2015), disponível em:

<https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/15.177/5478>. Acesso em 12 dez. 2023

2.3.1.4 Sistema construtivo através de componentes modulares

Diferentes dos outros sistemas, Patinha (2011) define que nesse caso não há a utilização de elementos retangulares em formato de caixa, tanto aberta, como fechada lateralmente. Ocorre a utilização de painéis pré-fabricados ou de pisos, paredes e demais elementos tanto estruturais, ou não, com o intuito da rápida ligação entre eles e montagem da estrutura final. Na Figura 18, observa-se a instalação de um painel em madeira, mas poderia ser qualquer outro elemento modular, estrutural ou não.

Figura 18 – Sistema Construtivo com a utilização de painéis e outros componentes modulares



Fonte: ArchDaily (2021), disponível em: < <https://www.archdaily.com.br/br/965688/arquitetura-com-paineis-sip-casas-pre-fabricadas-de-construcao-rapida-e-alto-desempenho>. Acesso 12 dez. 2023

2.4 CONSTRUÇÕES MODULARES EM AÇO

De acordo com Termovale (2023), o aço pode ser considerado um material pertencente a classe dos metais, e definido com uma liga metálica, junção de 2 elementos dessa classe. Em sua composição, há necessariamente dois elementos, o ferro e o carbono, que combinados de algumas maneiras, podem alterar as características finais desse elemento.

Sua produção, posterior à extração do ferro e carbono da natureza é realizado em siderúrgicas, indústrias especializadas nesse ramo, e que constantemente são balizadores econômicos de uma sociedade, devido ao gigantesco papel crucial desempenhado pelo aço no desenvolvimento global.

De acordo com o CBCA (Centro Brasileiro da Construção em Aço), em uma pesquisa conjunta com o ABCEM (Associação Brasileira da Construção Metálica), em 2022, a produção

de estruturas em aço gerou um faturamento na casa dos 16,2 bilhões de reais, com um aumento perto dos 13% em relação ao ano anterior. Um ponto relatado por 68,3% dos participantes da pesquisa, questionados sobre quais fatores que amenizam o avanço da produção e comercialização do material, relatam exclusivamente pela alta tributação que atinge o setor, além do emprego de um material não qualificado para o desenvolvimento da industrialização da construção.

Para Santiago, Freitas e Crasto (2012), edificações modulares e industrializadas em aço, ainda consideradas um sistema construtivo novo, apresentam em sua história, obras centenárias e difundidas extremamente nos Estados Unidos e no continente Europeu.

Santiago, Freitas e Crasto (2012) afirmam também que a utilização do aço em Construções Modulares, o método mais comum e tradicional é chamado *Light Steel Framing*, na tradução literal, estrutura de aço leve, possuindo um revestimento de zinco, onde seu sistema construtivo formado por elementos modulares, resulta num esqueleto metálico. Por ser um sistema altamente industrializado, com construção a seco, e agilidade de execução, os autores denominam esse sistema de Sistema Autoportante de Construção a seco.

Sua aplicação se estende de residências unifamiliares, edifícios de até 4 pavimentos, hotéis, hospitais e unidades de ensino, unidades modulares, mezaninos, coberturas e substituições de telhados.

Conforme a ABNT NBR 15.253 (2014), os perfis para uso em *Light Steel Framing* são os seguintes:

Tabela 2 – Perfis utilizados de Light Steel Frame

Denominação – ABNT NBR 6355	Utilização
	Guia
U simples	Ripa
U bw x bf x tn	Bloqueador
	Guia de entrepiso
	Terça

Tabela 2 – Perfis utilizados de Light Steel Frame

	Bloqueador
	Enrijecedor de alma
U enrijecido	Montante
Eu bw x bf x D x tn	Verga
	Viga
	Terça
	Guia enrijecida (sistema com encaixe)
Cartola	Ripa
Cr bw x bf x D x tn	
Cantoneira de abas desiguais	Cantoneira
L bf1 x bf2 x tn	
Fonte: Adaptado de SANTIAGO, FREITAS e CASTRO (2012) e ABNT NBR 15253:2014	

Por ser uma estrutura muito leve, a estrutura de *Light Steel Frame*, juntamente com os componentes de vedação, exige bem menos da fundação, comparado aos métodos convencionais de construção.

2.4.1 Fundação

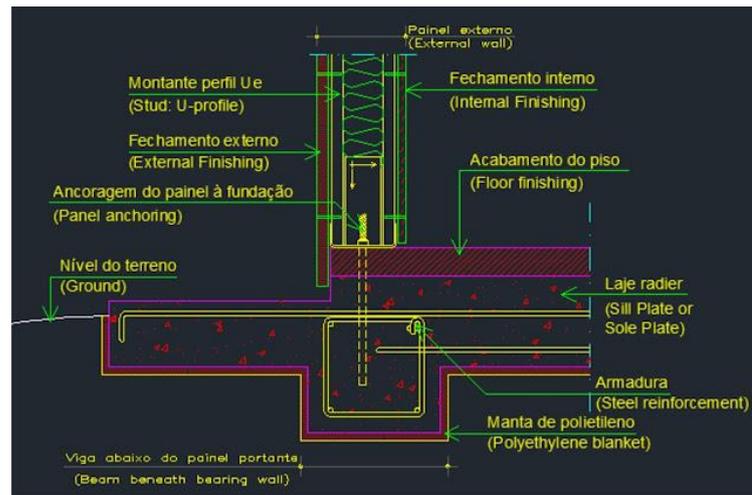
De acordo com Santiago, Freitas e Crasto (2012), a escolha do tipo de fundação não é sempre o mesmo em todas as edificações, dependendo de diversos fatores, sendo a opção melhor adotada, aquela que atender os requisitos necessários, de acordo com a topografia, tipo, nível do lençol freático e da profundidade do solo. Comumente são escolhidos os tipos laje Radier e sapata corrida.

As fundações são executadas de acordo com os métodos convencionais de construção, devendo seguir a norma vigente, ABNT NBR 6122 (2022) – Projeto e execução de fundações. Sendo executados todos processos necessários para que patologias futuras sejam evitadas.

De acordo com Santiago, Freitas e Crasto (2012), a laje Radier é o método mais utilizado em obras de *Light Steel Frame*, constituída por uma laje de concreto armado e vigas de contorno, sendo considerada uma fundação rasa, funcionando como uma laje, transmitindo os esforços e cargas para o solo.

Os cuidados necessários em relação a evitar a umidade ascensional, ou com a infiltração da água, resulta num nível mínimo de 15 cm do contrapiso em relação à altura do solo, além de uma correta impermeabilização dos elementos. Na Figura 19, observa-se os componentes construtivos que fazem parte de uma laje Radier para receber uma estrutura em *Light Steel Framing*.

Figura 19 – Representação de laje Radier para *Light Steel Frame*

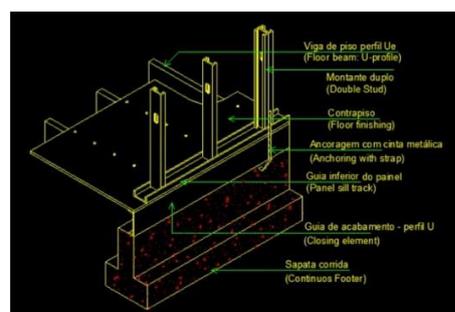


Fonte: Arquitetura + aço, disponível em: <https://felipeschmitzhaus.blogspot.com/2015/07/fundacoes-para-steel-framing.html>. Acesso 12 dez. 2023

Para o outro caso, das sapatas corridas, Santiago, Freitas e Crasto (2012) indicam que são mais utilizadas em edificações com paredes portantes, onde haverá a distribuição contínua dos esforços ao longo das paredes presentes.

Também é constituído por vigas de concreto armado no contorno, podendo o contrapiso ser de concreto, ou constituído por vigas de piso com perfil Ue, como é o caso da Figura 20, uma representação dos componentes que fazem parte de uma fundação em sapata corrida para *Light Steel Framing*.

Figura 20 – Representação de sapata corrida para *Light Steel Framing*

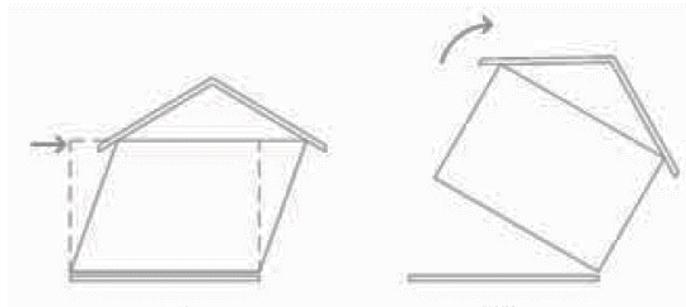


Fonte: Arquitetura + aço, disponível em: <https://felipeschmitzhaus.blogspot.com/2015/07/fundacoes-para-steel-framing.html>. Acesso 12 dez. 2023

2.4.2 Ancoragem

Para o adequado funcionamento da estrutura, a fixação dos painéis de aço galvanizado deve ser precisamente executada e planejada, unindo de maneira correta a superestrutura com a fundação escolhida, evitando movimentos de translação ou tombamento. Como pode ser observado na Figura 21, a esquerda, o fenômeno de translação, e na direita, o tombamento.

Figura 21 – Efeitos de translação e tombamento de uma estrutura



Fonte: SANTIAGO, FREITAS e CRASTO (2012, pg. 28)

Entende-se em Consulsteel (2002), que o princípio de ancoragem no sistema *Light Steel Framing*, baseia-se em tornar estrutural, o maior número de elementos possíveis, possibilitando através de uma ancoragem ideal, utilizar-se de elementos mais esbeltos, leves, e de fácil manutenção.

Através de Santiago, Freitas e Crasto (2012), entende-se que são encontrados três tipos de ancoragem em edificações de *Light Steel Framing*, a química com barra roscada, expansível com parabolt, e ancoragem provisória. A primeira delas, é comumente mais utilizada, sendo colocada logo após a concretagem da fundação, constituída por uma barra roscada, porca e arruela, formando uma estrutura resistente.

Já a ancoragem provisória de acordo com Santiago, Freitas e Crasto (2012), é muito utilizada durante o processo de montagem da estrutura, servindo como uma maneira de manter o prumo dos painéis justamente durante a instalação, até que seja realizada ancoragem definitiva, fixando os elementos de fundação, com os painéis, que funcionam como o sistema estrutural da estrutura.

2.4.3 Painéis

Santiago, Freitas e Crasto (2012) definem que os painéis, aliados aos elementos de vedação, além de toda responsabilidade estrutural, representam as paredes de uma edificação,

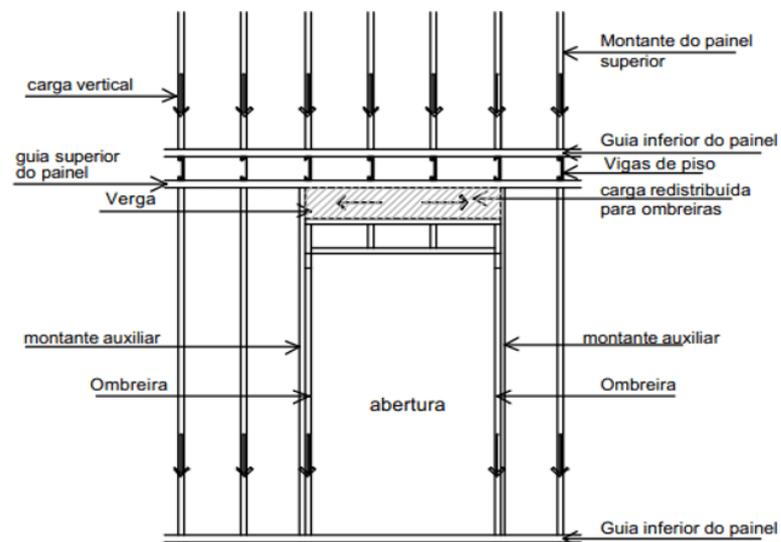
onde estarão os vãos de portas e janelas, ou seja, o projeto modular por encaixe, deve estar bem alinhado com as tarefas anteriormente executadas em obra, visando a máxima qualidade possível desse sistema construtivo.

Esses painéis além de auxiliarem na vedação da edificação, suportam as cargas e ações provenientes da estrutura, tanto internos como externos, chamados de painéis estruturais, ou painéis autoportantes, de acordo com SANTIAGO, FREITAS e CRASTO (2012).

As cargas que esses elementos recebem provêm de cargas horizontais, como vento, e cargas verticais, oriundos de pisos, telhados, possíveis lajes e outros painéis que podem estar vinculados com o mesmo. Composto por perfis de aço galvanizado na orientação vertical sendo chamados de montantes, e na horizontal de guias, sendo ambos em seção “U”.

Através da Figura 22, proveniente de Santiago, Freitas e Crasto (2012) , além da visualização completa dos elementos constituintes de um painel em *Light Steel Framing*, também pode se observar a presença ombreiras, que servem de elementos para redistribuição das cargas provenientes dos montantes que foram interrompidos, sendo a quantidade necessária, respeitando o cálculo estrutural do Engenheiro responsável pelo projeto

Figura 22 – Elementos de transmissão de cargas em um Sistema de *Light Steel Frame*



Fonte: SANTIAGO, FREITAS e CRASTO (2012, pg. 34).

De acordo com Santiago, Freitas e Crasto (2012), somente os montantes não capazes de resistir aos esforços horizontais provenientes, possíveis de levar uma estrutura até a ruína, oriundo de deformações excessivas provocadas. Com isso, duas maneiras são comumente utilizadas: O uso de contraventamento, ou o fechamento da estrutura com painéis rígidos.

A utilização de contraventamento é o método mais comum de estabilização de estruturas de *Light Steel Framing*, em forma de “X”, constituído de fitas de aço galvanizado, fixadas em cada face do painel, onde a largura, espessura e localização desse elemento, deve ser considerado no projeto estrutural. Essa fixação é executada em placas de aço, onde é parafusada em montantes duplos, que irão receber os esforços provenientes do contraventamento.

Na Figura 23, pode-se observar o contraventamento utilizando-se fitas de aço galvanizado, que de acordo com Consulsteel (2002), é dimensionada para transmitir os esforços de tração provenientes da decomposição da força horizontal. Podem ser solicitadas à tração, ou a compressão, dependendo do sentido de aplicação da carga do vento.

Figura 23 – Contraventamento de um painel de *Light Steel Frame*



Fonte: SANTIAGO, FREITAS e CRASTO (2012, pg. 38)

Santiago, Freitas e Crasto (2012) define o outro método possível de contraventamento, mas não comumente utilizado, como o fechamento com painéis rígidos de OSB (*Oriented Strand Board*), fornece para a estrutura um ganho considerável de resistência, absorvendo as cargas laterais, aliviando os painéis, transmitindo diretamente para as fundações.

De acordo com Masisa (2003), a placa OSB é constituído de tiras de madeira, possuindo 3 camadas internas, o que aumenta consideravelmente sua capacidade de resistência, unidas entre si através de resina, e prensadas sob alta temperatura. Tendo espessura mínima de 12 mm e comprimento de 1,20 metros.

Na figura 24, observa-se uma fachada de uma residência, com o contraventamento utilizando placas de OSB. Santiago, Freitas e Crasto (2012) afirmam que só ocorre o melhor desempenho da placa estrutural, quando estiver corretamente fixada aos perfis. Consulsteel (2002) complementa, afirmando que para a correta rigidez do sistema, o encontro de diferentes painéis não deve coincidir com o encontro de placas OSB.

Figura 24 – Fechamento de uma residência com painéis OSB



Fonte: SANTIAGO, FREITAS e CRASTO (2012, pg. 40)

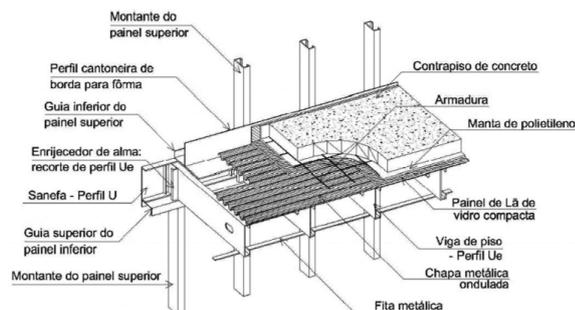
2.4.4 Lajes

De acordo com Santiago, Freitas e Crasto (2012), o princípio para as lajes em *Light Steel Framing*, segue o mesmo dos painéis com seus montantes, onde os perfis de aço, de seção Ue, comumente denominados de vigas de piso, são espaçados entre si de acordo com a quantidade de carga que há naquele determinado pavimento.

Sob esses perfis de aço galvanizados espaçados a uma certa distância entre si, pode haver duas caracterizações distintas sob o método adotado para a laje.

Na Figura 25 observa-se o primeiro caso, de laje úmida, que segundo Santiago, Freitas e Crasto (2012) consiste na utilização de uma chapa metálica, com característica ondulada parafusadas nas vigas de piso, onde sob ela, é inserida uma camada de lã de vidro, com o intuito de obter um conforto acústico mais adequado. Posteriormente, ocorre o preenchimento com concreto, sendo ele, podendo ser considerado o contrapiso, com a devida nivelção da camada. Esse preenchimento serve como base para acabamentos de piso, podendo ser de diversos materiais, como amadeirado, cerâmico, pedras entre outros.

Figura 25 – Representação de laje úmida no método *Light Steel Frame*



Fonte: SANTIAGO, FREITAS e CRASTO (2012, pg. 55)

O outro tipo encontrado, é a laje seca, como observado na Figura 26 e definida por Santiago, Freitas e Crasto (2012) é constituída com os mesmos painéis de enrijecimento, OSB, parafusadas nas vigas de piso. Com esse método, é necessário ter cuidado com a sua utilização em áreas molhadas, recomendando-se impermeabilizantes próprios para esse determinado material, ou utilizando outro material de base.

Consulsteel (2002) reitera que a espessura da placa está relacionada com a quantidade de carga requerida, sendo comumente utilizadas placas OSB de 18 mm, mas podendo ser aumentadas de acordo com a necessidade de projeto

Figura 26 – Representação de laje seca no método *Light Steel Frame*



Fonte: Espaço Smart, disponível em < <https://conteudo.espacosmart.com.br/tipos-laje-steel-frame/>. Acesso em 12 dez. de 2023

2.4.5 Cobertura

Para Santiago, Freitas e Crasto (2012) outro componente que é primordial em uma edificação em *Light Steel Framing*, são os elementos de cobertura, ou comumente chamados de telhado. Onde além de proteger a estrutura de intempéries, também pode ser considerado fator estético para a habitação, atuando ainda no conforto térmico, dependendo do material a ser utilizado.

Moliterno (2003), explica que na maioria dos casos, é escolhido um telhado inclinado, formado por tesouras ou caibros de também aço galvanizado, tendo o cuidado para que esses elementos estejam alinhados com os montantes dos painéis, afim de influenciar para que os esforços sejam axiais. Compostos de elementos de cobertura, podendo ser de diversos materiais, desde que impermeáveis, e elementos de armação, que são o conjunto de elementos estruturais responsável pela sustentação da cobertura, no caso, os perfis de aço galvanizado.

Santiago, Freitas e Crasto (2012) ainda explicam, que os elementos de cobertura são constituídos por perfis “Ue” de aço galvanizado, possuindo em sua composição elementos básicos, como banzos superiores e inferiores, montantes, diagonais, enrijecedores de apoio e contraventamento, que unidos trazem para a cobertura uma estrutura estável e capaz de receber as telhas de vedação.

Também existem coberturas planas, mas não é tão comum seu uso. Geralmente são de vãos menores, sendo utilizado treliças planas de perfil “Ue” e onde a demanda estética não é tão primordial.

2.4.6 Fechamento vertical

Consulsteel (2002) indica que no sistema de fechamento vertical, tanto interno quanto externo, o material a ser escolhido deve ser de peso leve, afim da estrutura conseguir suportar essas cargas. São comparados a uma pele, que aliado com os perfis de aço galvanizado, formam essas vedações do sistema.

Essas placas podem ser de diversos materiais, sendo sua escolha especialmente ligada ou a questões de disponibilidade local, ou financeiras.

Santiago, Freitas e Crasto (2012) indicam que o material de fechamento vertical pode ser alvenaria convencional, de OSB, as mesmas placas que possuem funções enrijecedores nos painéis, placas cimentícias, ou até mesmo o gesso acartonado, que amplamente está difundido em nosso país, sendo crescente o uso, mas devendo apenas ser utilizado internamente

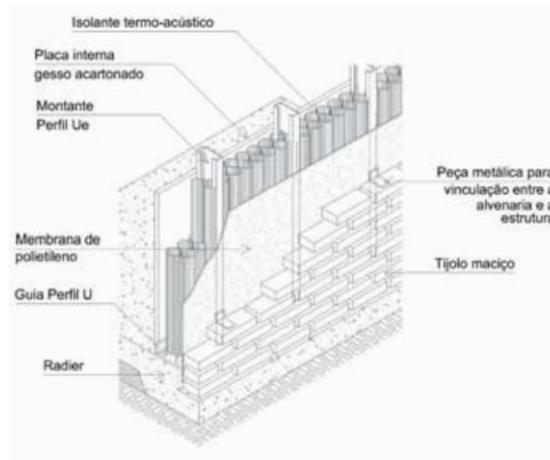
Definições de coordenação modular executadas na prática anteriormente apresentadas por Greven e Baldauf (2007), além de Patinha (2011), estão presentes no fechamento vertical com placas. Isso ocorre pela definição de Santiago, Freitas e Crasto (2012) onde esses elementos possuem 1,20 m de comprimento, valor que é múltiplo dos montantes dos painéis, espaçados a cada 40 ou 60 cm.

Coelho (2003) reitera que o fechamento em alvenaria convencional não é tão utilizado em edificações de *Light Steel Framing*, pois vai contra os princípios de racionalização de material, produtividade e execução de métodos industrializados. É comumente utilizada como elemento decorativo em fachadas, com tijolo aparente.

Como observado na Figura 27, e definido por Coelho (2003), entende-se que a alvenaria não se apoia sobre a estrutura, sendo apenas vinculada por meio de coletores, ou seja, toda carga

proveniente dela, é transferida diretamente para a fundação, aliviando os elementos de todo esse peso.

Figura 27 – Fechamento de alvenaria no sistema *Light Steel Frame*



Fonte: SANTIAGO, FREITAS e CRASTO (2012, pg. 84)

Santiago, Freitas e Crasto (2012) explicam que o fechamento vertical em placas cimentícias pode ser executado tanto internamente como externamente, tendo sua principal característica, a utilização em áreas molhadas, realizando a substituição do gesso acartonado, mais suscetíveis a degradar com intempéries. Dentre sua composição, encontra-se uma mistura de cimento Portland, fibras sintéticas e agregados, formando assim, um elemento muito resistente a impactos, e à umidade. Além disso, são materiais incombustíveis, que não auxiliam a propagação do fogo em eventual incêndio que possa afetar a estrutura.

Sua espessura varia entre 6, 8 ou 10 mm, tendo aplicações específicas para cada dimensão, explicado por Santiago, Freitas e Crasto (2012) e Consulsteel (2002):

- 6 mm: Divisórias leves com paredes internas e secas, sem carga sendo aplicada diretamente na placa;
- 8 mm: Divisórias leves em paredes internas e externas, podendo ser utilizada em áreas molhadas, e alguma aplicação de carga.
- 10 mm: Áreas secas e molhadas, internas e externas. Recomendada para paredes estruturais, com ganho de resistência contra impactos e aplicações de carga.

Alguns cuidados na aplicação e escolha do uso de placas cimentícias são extremamente importantes, Santiago, Freitas e Crasto (2012) indicam que a execução de juntas, devem ter no mínimo 3 mm de espessura, e seguindo as orientações do fabricante. Na parte externa, recomenda-se a aplicação de um selador de base acrílica, além de uma eficiente

impermeabilização nas áreas molhadas, aumentando o rendimento da estrutura como um todo, além de evitar patologias e aumentar tempo de vida útil.

Na Figura 28, observa-se a aplicação de placa cimentícia em acabamento externo no sistema *Light Steel Framing*.

Figura 28 – Aplicação de placa cimentícia em *Light Steel Frame*



Fonte: Megaço, disponível em <https://megaco.com.br/sem-categoria/saiba-porque-a-placa-cimenticia-e-a-solucao-ideal-para-sua-construcao/>. Acesso em 12 dez. 2023

O último modelo de fechamento vertical utilizado é o gesso acartonado, sendo aplicado apenas internamente no sistema *Light Steel Framing*. Santiago, Freitas e Crasto (2012) indicam que quando a divisória a ser executada não ter responsabilidade estrutural, opta-se pelo método “Drywall”, composto de chapas de gesso acartonado fixadas nos perfis de aço galvanizado.

Por ser uma composição muito leve, de acordo com a Abragesso (2004), possuindo no máximo um peso específico de 14 kg/m², são facilmente instaladas e substituídas quando houver alguma necessidade. Sua comercialização também segue padrões de coordenação modular, tendo largura de 1,20 m e seu comprimento podendo variar de 1,80 m até 3,6 m, de acordo com o fabricante. Nacionalmente, há 3 tipos de placas que são comercializadas, como explicado pela Abragesso (2004):

- Placa Standard (ST): Aplicação em paredes secas;
- Placa Resistente a Umidade (RU): Conhecida como placa verde, utilizada em ambientes em que há a presença de umidade;
- Placa Resistente ao Fogo (RF): Também chamada de placa rosa, utilizada em áreas secas, em que há uma demanda e exigência especial quanto à resistência ao fogo.

2.4.7 Tratamento termoacústico

Todos esses acabamentos necessitam além do cuidado especial, um tratamento termoacústico, fazendo total diferença para uma edificação. Santiago, Freitas e Crasto (2012)

definem que o intuito dessa proteção é controlar a qualidade e o conforto de um determinado ambiente, barrando a transmissão dos sons provenientes de fora, e evitando que ocorra a perda ou ganho de calor com o meio externo.

Sales (2001) explica que como os materiais presentes no sistema de *Light Steel Framing* são considerados leves, a propagação do som não é evitada utilizando do princípio da lei de massa, mas sim de um sistema massa-mola-massa, ou seja, entre as paredes é inserido um material altamente absorvente de vibração acústica, geralmente sendo porosos e fibrosos, o que vai diminuir a transmissão desse som proveniente através do fenômeno de atrito entre a onda sonora no ar.

A lã de vidro é o material mais utilizado para desempenhar essa função, amplamente difundido comercialmente em território nacional, tendo variações significativas de fabricantes e comerciantes da área. Podendo ser utilizado também, a lã de PET e a lã de rocha.

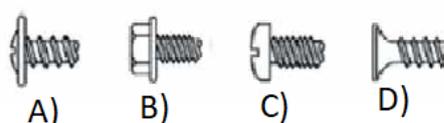
2.4.8 Instalação e Montagem

Para todo esse sistema funcionar de maneira correta, é importantíssimo que os elementos estejam conectados e instalados idealmente, aproveitando o máximo desempenho da edificação. Para isso, os componentes dessas ligações precisam ser de qualidade e apropriados para uso nesses materiais.

Santiago, Freitas e Crasto (2012) destaca a utilização da parafusadeira como a ferramenta mais utilizada em uma edificação de *Light Steel Frame*, pois é responsável por toda a fixação dos parafusos entre as ligações dos componentes desse sistema.

A utilização do parafuso adequado, também influencia no desempenho máximo da estrutura, sendo representado na Figura 30, os diferentes tipos encontrados, bem como sua utilização.

Figura 29 – Parafusos utilizados em uma edificação de *Light Steel Frame*



Fonte: Adaptado de SANTIAGO, FREITAS e CRASTO (2012)

- A) Parafuso cabeça lenticular: Usado em ligações metal/metal, entre os perfis e em fitas de aço galvanizado, e principalmente na ligação entre montante e guia;

- B) Parafuso cabeça sextavada: Também conhecido como parafuso estrutural, utilizado na fixação de tesouras em seus apoios e em vigas de piso;
- C) Parafuso cabeça panela: Utilizado em ligação metal/madeira;
- D) Parafuso cabeça trombeta: Utilizado para a fixação das placas de gesso e de OSB, sendo a cabeça nesse formato, fornecendo a melhor penetração ao substrato obtendo uma superfície rente.

Para a montagem da estrutura como um todo, quanto maior o nível de industrialização utilizado, o maior detalhamento do projeto, mais eficiente e menor o desperdício obtido na edificação.

Santiago, Freitas e Crasto (2012) explica que depois de executada a fundação, tendo a laje que irá receber os painéis, limpa e bem nivelada, inicia-se a montagem por algum canto. Esse posicionamento inicial é extremamente importante que esteja com exatidão no local certo, pois é a partir dele que os demais componentes serão montados. Colocado o painel, podendo ser de forma manual, ou mecanizada, é realizado o escoramento provisório, que não deverá coincidir com a ancoragem definitiva, podendo ser observado na Figura 30.

Figura 30 – Ancoragem provisória do painel em *Light Steel Frame*

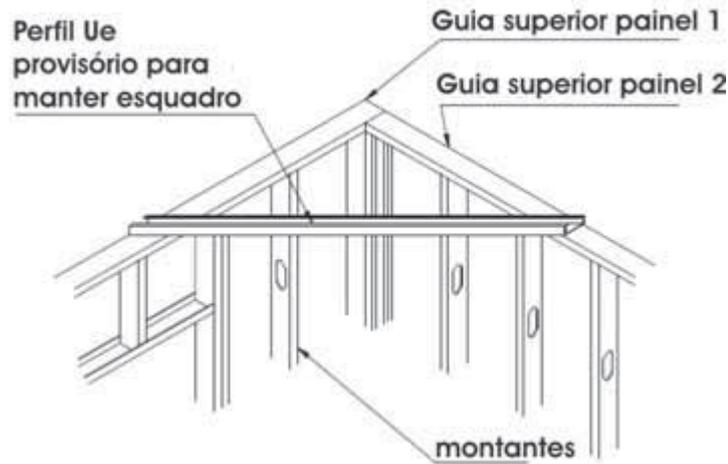


Fonte: SANTIAGO, FREITAS e CRASTO (2012, pg. 100)

Após isso Santiago, Freitas e Crasto (2012) indica que o seguinte painel a ser ancorado é o exterior perpendicular ao primeiro, tendo a primeira quina da construção. É necessário que esses dois elementos estejam completamente alinhados e dentro do esquadro, bem como

nivelados em altura. É realizada a fixação de um perfil provisório na diagonal, para que essas características permaneçam durante toda a montagem, ação que pode ser vista na Figura 31.

Figura 31 – Perfil provisório fixado para manter o esquadro entre painéis



Fonte: SANTIAGO, FREITAS e CRASTO (2012, pg. 101)

Continua-se a execução dos painéis exteriores, que formarão o perímetro da construção. E por fim, os internos, que auxiliam a propiciar a rigidez adequada para a estrutura.

Consulsteel (2002) indica que no pavimento superior, a lógica segue a mesma do inferior, mas redobrando o cuidado com o içamento dos painéis, evitando que os mesmos sejam torcidos e deformados, o que causaria desperdício de material, perda de tempo e financeiro.

Para o telhado, há duas maneiras de montagem. Santiago, Freitas e Crasto (2012) explica que uma delas consiste na montagem por partes diretamente no local que o componente ficará posicionado, içando as tesouras, caibros, cumeeira separadamente e fixando-os com os parafusos estruturais. Já a outra técnica, parte da ideia de montar a estrutura no chão, fixando os elementos e posteriormente içando a estrutura na sua posição definitiva, tendo cuidado com a deformação da estrutura, para que não danifique nenhum componente.

2.4.9 Instalações

Outro ponto que precisa ser analisado e seguir à risca de acordo com o projeto, são as instalações hidráulicas, elétricas e de gás.

Santiago, Freitas e Crasto (2012) indica que o desempenho dessas instalações não se difere do modelo construtivo, ou seja, as considerações usuais como perdas de carga, traçado

da tubulação, parâmetros e princípios de dimensionamento, seguem normalmente no sistema *Light Steel Framing*.

Em alguns casos, será necessário furar os perfis ou placas para passagem da tubulação, mas somente podem ser executados se previstos em projeto e dimensionados de acordo, de acordo com a ABNT NBR 15.253 (2014).

Um benefício desse sistema construtivo, está na passagem das tubulações pelos vazios de paredes e forros, funcionando como um *shaft* visível durante toda extensão da edificação. Com isso, sua manutenção e sua instalação, ocorrem de maneira mais rápida e eficaz, resultando em procedimentos mais limpos e sustentáveis.

Santiago, Freitas e Crasto (2012) expõe que nas tubulações de água quente e água fria, geralmente opta-se por diâmetros menores para as tubulações devido ao espaçamento interno das paredes. Porém, deve-se atentar que pela ausência de massa no interior dessa parede, as tubulações podem acabar ficando soltas, vibrando de maneira descontrolada e perdendo sua eficiência. Para isso, ocorre o travamento destas tubulações, tanto com espuma para acomodação, ou com anéis de borracha nos pontos de passagem delas pelos furos.

Barros e Sabattini (1996) explicam que nos pontos de saída de água, é necessário ter um cuidado redobrado com o material que se opte pelo uso, recomenda-se que seja utilizado uma luva com flanges laterais, fixadas junto às placas de revestimento. Para os registros, é importante que haja sempre uma peça auxiliar na parede que auxilie na fixação do mesmo, normalmente metálica. Ele é fixado nessa placa com auxílio de uma braçadeira, para melhor eficiência e durabilidade.

Santiago, Freitas e Crasto (2012) indica que a mesma forma acontece com a tubulação de esgoto, onde os critérios e materiais sendo parecidos com o convencional, apenas alterando-se a fixação dos elementos. De preferência deve-se evitar ao máximo o traçado horizontal, pois normalmente ocorre abaixo das vigas de piso, o que diminuiria o pé direito do cômodo, sendo evitado o furo das vigas, devido ao grande diâmetro da tubulação.

Barros e Sabattini (1996) e Santiago, Freitas e Crasto (2012), explicam que a passagem da tubulação elétrica em um sistema de *Light Steel Framing* é bastante simplificada e bem mais ágil que o sistema convencional, tendo por caminho o interior das paredes e do forro. Os conduítes geralmente são corrugados, para melhor traçado junto à edificação. Esses eletrodutos também devem ser fixados aos perfis, com espuma expansiva, ou com peças plásticas próprias para a proteção. Na parte elétrica, o modelo de caixinha é um pouco diferente do convencional. Por ser fixada junto a placa de revestimento, necessita ser parafusada, tendo características

próprias que auxiliam a instalação e o melhor desempenho, definições que podem ser observadas na Figura 32.

Figura 32 – Instalações em uma edificação de *Light Steel Frame*



Fonte: Desterro Eletricidade, disponível em: < <https://www.asterroeletricidade.com.br/blog/eletrica/instalacao-eletrica-e-hidraulica-em-drywall-aprenda-como-fazer/>. Acesso em 12 dez. 2023

2.5 CONSTRUÇÕES MODULARES EM CONCRETO

De maneira histórica e de acordo com Vasconcelos (2002), a primeira grande obra que se utilizou de elementos pré-moldados em sua composição, em território brasileiro, foi o Hipódromo da Gávea, situado capital carioca, Rio de Janeiro, no ano de 1926. Por outro lado, apenas na década de 80 que esse método começou a ganhar notoriedade, na execução obras industriais de multinacionais, onde esse método já estava amplamente difundido em suas edificações no exterior.

Atualmente, utilizando-se de elementos pré-fabricados em concreto, encontrando-os em praticamente todos os setores da construção civil, pontes, viadutos, portos, aeroportos, centros esportivos, estádios, além de habitações residenciais e comerciais.

De acordo com El Debs (2017) por mais que a utilização de edificações modulares em concreto esteja em um pequeno crescimento, alguns fatores ainda são considerados impeditivos para sua subutilização, cita-se:

- Sistema tributário possui altas taxas para elementos pré-fabricados;
- Instabilidade econômica, que dificulta o planejamento a longo prazo;
- Conservadorismo dos agentes planejadores da Construção Civil;
- Falta de conhecimento dessas alternativas industriais.

Observa-se, portanto, que não só fatores econômicos dificultam essa implementação, mas também fatores culturais, consequentes das primeiras, configurando como afirma El Debs (2017), um círculo vicioso, responsável pela não exploração da potencialidade que a utilização de elementos modulares industriais pode alcançar.

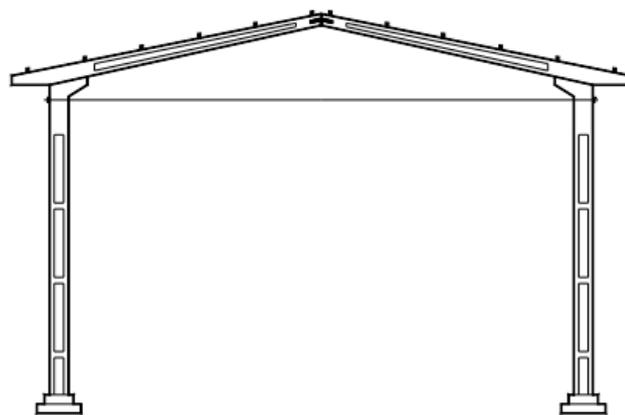
Tendo em vista a diversidade de elementos modulares, faz-se uma subdivisão de acordo com sua utilização, aspecto visual e modularização de seus elementos

2.5.1 Pórticos Pré-Fabricados em Concreto

Geralmente sua utilização está atrelada, como afirma Soares (1998) e El Debs (2017), a galpões destinados a grandes indústrias, almoxarifados, oficinas e já amplamente utilizado no agronegócio. Tendo por característica principal, ser uma edificação térrea, apresentando grandes dimensões, características que facilitam a modulação dessa construção.

De acordo com Soares (1998), no Brasil, o modelo mais difundido e utilizado é o sistema estrutural que apresenta telhado de duas águas, podendo vencer vãos de até 30 metros de comprimento, tendo os pórticos espaçados entre si geralmente a cada 5 metros. Podendo ser observado através da Figura 33.

Figura 33 – Sistema Estrutural de pórticos com telhado de duas águas

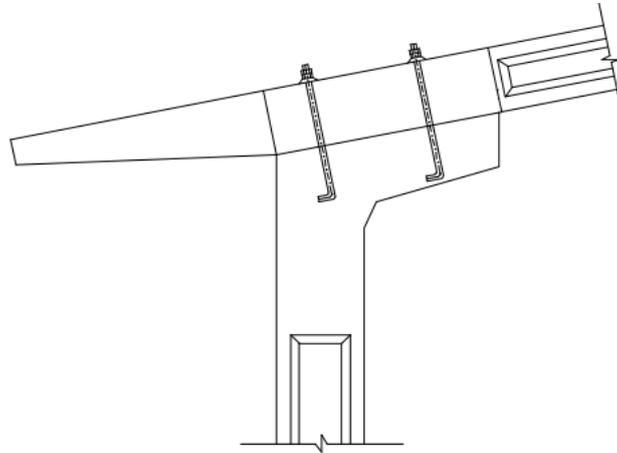


Fonte: SOARES (1998, pg. 15)

Soares (1998), incida que o pórtico, composto de pilar e viga possui diferentes formas de ligação entre si, fabricados do sistema parafuso, ou sistema passante. O primeiro, como pode

ser observado na Figura 34, acontece com a inserção de dois parafusos oriundo do consolo do pilar, que atravessam a seção da viga.

Figura 34 – Ligação de pilar e viga em pórtico pré-fabricado de concreto no sistema parafuso



Fonte: SOARES (1998, pg.18)

Já o outro método encontrado, Soares (1998) denomina de sistema passante, não é comumente utilizado, mas ocorre com uma seção vazada na extremidade superior do pilar, no qual a viga transpassa e se apoia no pilar.

Nesse sistema, Soares (1998) e El Debs (2017), definem que a estabilidade estrutural é garantida pelo engaste do pilar na fundação, aliada com o contraventamento, que ocorre através da inserção de tirantes fixados diretamente nos pilares e vigas, de maneira cruzada. Seu material de composição pode ser de aço mecânico, que é o mais utilizado, ou propriamente de concreto.

2.5.2 Construções Modulares de Concreto Armado em esqueleto

Formado por pilares, vigas e lajes, é um sistema que se assemelha à construção convencional em concreto armado. Construções modulares de concreto em esqueleto, comparam-se ao estudo de Ramos (2007), que indica Le Corbesier, um renomado arquiteto suíço, e criador do sistema “Dom-Ino”, caracterizado por apresentar uma grande variabilidade arquitetônica, ressaltado por EL DEBS (2017).

De acordo com o Manual da Construção Industrializada (2015), os pilares em edifícios pré-fabricados, comumente em seção retangular, variam de 40 x 40 cm até 60 x 80 cm, com altura máxima recomendada por volta de 20 metros, acima disso, torna-se muito custoso o transporte e o içamento da peça, inviabilizando financeiramente a edificação. Essas dimensões

tem por base a coordenação modular, definida anteriormente por Greven e Baldauf (2007), e Patinha (2011), onde com a padronização de medidas, o controle e gerenciamento de um projeto pode ser amplamente modularizado.

De acordo com El Debs (2017), outros tipos de seção de pilares são utilizados, alterando os tipos de apoio para vigas, também chamado de consolos, as esperas de armaduras, ligação entre pilar e viga, além de inserções de almofadas de Neoprene para apoio. A definição ocorre de acordo com o projetista, levando em consideração os parâmetros necessários. Podendo ser eles:

- Seção quadrada;
- Seção retangular;
- Seção circular;
- Seção I;
- Seção quadrada vazada;
- Seção retangular vazada;
- Seção circular vazada;
- Tipo Vierendel.

No caso das vigas, El Debs (2017), indica que comumente há a aplicação em seção retangular, mas também em seção I e seção T invertido. Nas vigas retangulares, podendo vencer vãos até 15 metros, e de seção I variando de 10 a 35 metros, em concreto protendido, podendo ser utilizada para vãos menores, utilizando-se do concreto armado.

El Debs (2017), ressalta também que para as lajes, aproveitando o máximo de industrialização e racionalização das etapas, pode-se utilizar diferentes tipos de acordo com as definições de projeto. Partindo de lajes alveolares, até laje pré-moldada treliçada.

2.5.3 Painéis em Concreto Armado

De acordo com El Debs (2017), o sistema de paredes portantes é composto por painéis pré-fabricados ou moldados in loco, inteiramente maciços em concreto armado. Desempenha função estrutural junto à estrutura podendo alcançar até 5 pavimentos.

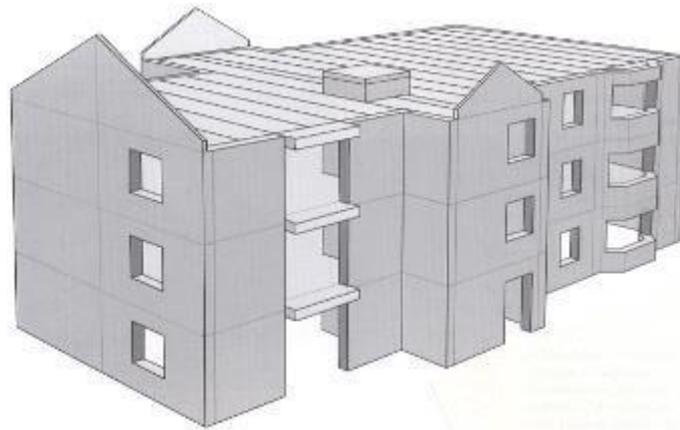
O concreto utilizado, de acordo com Nakamura (2019) geralmente é o concreto celular autoclavado, tendo por agregados o cimento, cal, areia, e o alumínio em pó, dando a esse

material, boas características de manejo, leveza, resistência dispensando a necessidade de adensamento mecânico.

Nakamura (2019) ressalta todo o processo de montagem das formas, embutimento das instalações hidráulicas e elétricas, concretagem e desenforma, ocorre de maneira muito acelerada, necessitando acompanhamento técnico, aliada a uma mão de obra qualificada, com o intuito de usufruir a potencialidade máxima que esse método tem a oferecer, trazendo qualidade, agilidade, e uma ótima relação custo benefício.

Na Figura 35, elaborada por El Debs (2017), uma representação de um resultado final de um edifício modular através de paredes portantes, ressaltando pelo autor, a dispensa de uso de vigas e pilares em sua composição estrutural.

Figura 35 – Sistema estrutural composto por painéis de concreto armado



Fonte: EL DEBS (2017)

O mercado atualmente oferece uma grande variedade e diferentes tipos para sistemas de piso em concreto pré-moldado em indústria, sendo de acordo com El Debs (2017), os seguintes:

- Lajes alveolares protendidas pré-fabricadas;
- Painéis maciços em concreto;
- Laje mista;
- Laje com vigotas pré-moldadas.

2.5.4 Construções em blocos celulares de Concreto Armado

De acordo com El Debs (2017), também pode ser denominado como sistema de células tridimensionais. Caracterizado por sua alta taxa de industrialização envolvida, desde o seu

início, até sua instalação final, oferecendo um alto controle de qualidade, gerando rapidez, economia de matéria-prima, desenvolvendo sustentabilidade através do processo inteiro.

No Brasil, de acordo com o Manual da Construção Industrializada (2015), esse método ainda não está amplamente difundido, mas em países especialmente orientais, edifícios inteiros já estão sendo montados em tempo recorde, onde a cultura da industrialização na construção civil já está presente no dia a dia da população. Na Figura 36, observa-se a construção de um sistema utilizando-se de blocos celulares.

Figura 36 – Construção em blocos celulares de concreto armado



Fonte: MRGB – Construções em Concreto Armado, disponível em

https://www.facebook.com/photo/?fbid=356663009486766&set=a.356662996153434&locale=ja_JP. Acesso em 12 dez. 2023

2.5.5 Diretrizes de projeto em edificações modulares de concreto

A ABNT NBR 9062 (2017) regulamenta os procedimentos necessários para um projeto adequado concebido em estruturas pré-fabricadas em concreto. Além de, diferenciar aspectos desse método, com as estruturas de concreto convencionais, moldadas in loco, regulamentando questões sobre montagem das formas, manuseio em indústria e no local de aplicação, içamento, transporte e armazenamento de todos esses elementos.

Nesse caso, os esforços críticos de elementos modulares de concreto, nem sempre serão aqueles que da combinação mais crítica envolvendo a sobrecarga e força permanente, mas sim, o que a ABNT NBR 9062 (2017) denomina de transitória, esforços manuseio, içamento e armazenamento que devem ser observados, e levados em consideração no dimensionamento desses elementos, como pode ser observado na Figura 37.

Figura 37 – Situação transitória de projeto, manuseio e içamento



Fonte: TECNOSIL, disponível em < <https://www.tecnosilbr.com.br/o-que-sao-pre-moldados-de-concreto-e-qual-a-diferenca-com-os-pre-fabricados/>. Acesso em 12 dez. 2023

De acordo com Salem (2020), esses esforços originam-se inicialmente com o desmolde dos elementos pré-moldados junto de suas formas, estando em baixa idade de cura do concreto, geralmente menos de 24 dias, onde serão içadas para seu local de armazenagem. Na armazenagem surge os esforços de compressão no elemento, devido ao empilhamento de peças semelhantes, mais um exemplo de esforços transitórios. Após isso, na obra, as peças novamente serão movimentadas, manuseadas e montadas, solicitando novamente o elemento.

Outro item que já foi comentado anteriormente, são os ajustes e tolerâncias admitidos por norma, sendo o item 5.2.2 da ABNT NBR 9062 (2017) responsável por isso, trazendo os seguintes limites para sua fabricação, visualizado na tabela 3.

Tabela 3 – Tolerâncias para fabricação de elementos pré-moldados

Grupo de elementos de pré-moldados	Seção ou dimensionamento		Tolerância
Pilares, vigas, pórticos e elementos lineares	Comprimento	$L \leq 5 \text{ m}$	+ - 10 mm
		$5 \text{ m} \leq L \leq 10 \text{ m}$	+ - 15 mm
		$L > 10 \text{ m}$	+ - 20 mm
	Seção transversal		- 5 mm e + 10 mm
	Distorção		+ - 5 mm
	Linearidade		+ - L/1000

Tabela 3 – Tolerâncias para fabricação de elementos pré-moldados

Painéis, lajes, escadas, e elementos em placa	Comprimento	$L \leq 5 \text{ m}$	+ - 10 mm
		$5 \text{ m} \leq L \leq 10 \text{ m}$	+ - 15 mm
		$L > 10 \text{ m}$	+ - 20 mm
	Espessura		- 5 mm e + 10 mm
	Planicidade	$L \leq 5 \text{ m}$	+ - 3 mm
		$L > 5 \text{ m}$	+ - $L/1000$
	Distorção	Largura ou altura $\leq 1 \text{ m}$	+ - 3 mm /30 m
		Largura ou altura $> 1 \text{ m}$	+ - 10 mm
Linearidade		+ - $L/1000$	

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 9062:2017

2.5.6 Montagem dos elementos modulares de concreto

El Debs (2017) afirma que para a montagem ocorrer da melhor maneira possível, tendo um aproveitamento do tempo, agilidade e eficiência, faz-se de suma importância um correto e organizado planejamento, um canteiro de obras limpo, e com passagem livre para o equipamento que irá realizar o içamento e montagem, sendo geralmente um autogrua, que é um guindaste acoplado em uma plataforma móvel. Em edifícios altos, é necessário a utilização de uma grua fixa, verificando-se a capacidade de massa que pode ser transportada por ela.

Esse processo de montagem, segue o padrão de modulação do projeto, tendo os princípios da coordenação modular bem planejados e em constante utilização.

De acordo com El Debs (2017), um ponto que necessita muita atenção na hora montagem em obra, são os pilares e painéis de parede, que chegam no local em posições diferentes da de serviço, tendo que ser realizada, a rotação dos elementos na medida que são içados. Tendo por regra geral que os pontos de içamento devem ficar sempre acima do centro de gravidade dos elementos, tornando estável e equilibrada a estrutura para realizar tais movimentações.

2.6 CONSTRUÇÕES MODULARES EM MADEIRA

De acordo com Molina e Junior (2010), o principal método construtivo baseando-se em princípios da coordenação modular em madeira, é denominado *Wood framing*, onde a principal matéria-prima para esse sistema altamente industrializado e constituído em painéis estruturais, é a madeira proveniente de reflorestamento, tratada em indústria e apresentando um alto desempenho em edificações, além de ser um sistema competitivo, de alta produção e agilidade.

Molina e Junior (2010) apresenta a elevada relação resistência/peso que a madeira possui, o que segundo o autor facilita sua industrialização para a construção, facilitando o transporte das peças, com posterior montagem final. No Brasil, ainda há barreiras culturais quanto ao uso da madeira em residências, geralmente adotando-se métodos convencionais de construção, por serem mais comuns e aceitos no mercado. Por outro lado, nos Estados Unidos, esse método construtivo está presente em 95% das residências unifamiliares, ganhando destaque pela agilidade de execução. Na figura 38, pode-se observar a imagem de uma residência estrutura com base no *Wood Framing*.

Figura 38 – Edificação em *Wood Framing*



Fonte: Associação Brasileira de DryWall, disponível em: <https://drywall.org.br/wood-frame/>. Acesso em 12 dez. 2023

2.6.1 Fundação

A fundação é o único processo em uma edificação de construção modular em madeira que não se caracteriza pela sua alta industrialização. Devido ao sistema ser constituído por um material leve, e tendo cargas distribuídas ao longo dos painéis, os métodos mais utilizados são

os mesmos utilizados no sistema *Light Steel Framing*, acordo com Molina e Junior (2010) e Santiago, Freitas e Crasto (2012) sendo o radier, ou ainda a sapata corrida, amplamente difundidos em nosso país.

Na Figura 39, consegue-se observar uma fundação sendo executada para receber o sistema estrutural *Wood Framing*.

Figura 39 – Fundação sendo executada para receber *wood frame*



Fonte: BOLSONI ESTRUTURAS DE MADEIRA, disponível em: < <https://fernandobolsoni.com.br/wood-frame-2/>. Acesso em 12 dez. 2023

2.6.2 Pisos

Molina e Junior (2010) definem que o processo mais convencional se utilizando de componentes modulares industriais são os denominados de *decks*, constituídos por chapas de OSB, as mesmas utilizadas para fechamento e enrijecimento da estrutura no modelo *Light Steel Frame*, que são apoiadas em vigas de madeira, comumente em seção I. Na Figura 40, pode-se observar essa configuração.

Figura 40 – *Deck* formado com chapas de OSB apoiado em vigas de madeira



Fonte: JULAR, disponível em < <https://www.jular.pt/produtos/placas-e-paineis/osb>. Acesso em 12 dez. 2023

Molina e Junior (2010) indicam que sobre essa placa do OSB, que funciona como uma espécie de contrapiso, é inserido revestimento em carpete ou pisos planejados contendo uma manta intermediária, com a função de absorver os impactos e funcionar como um regulador termoacústico no sistema. Em áreas molhadas, segundo os autores, aplica-se outra placa só que

de material cimentício, após tratamento de impermeabilização com membrana acrílica e impermeável, está apto a receber o revestimento interno.

2.6.3 Paredes

Constituído por montantes verticais que possui função estrutural, as paredes de *Wood Framing* assemelham-se ao sistema de *Light Steel Frame*. Molina e Junior (2010) indicam que esses painéis, receberão os esforços do pavimento superior, do *deck*, e ações externas, principalmente do vento. Sob ela são fixadas placas de OSB, que realizam a vedação da edificação.

Os painéis podem ser caracterizados pela sua alta taxa de industrialização, estando prontos os montantes e as placas de OSB, e in loco ocorrendo apenas o içamento e ancoragem da estrutura em sua fundação.

De acordo com Revista Técnica (2009), a fixação dos elementos constituintes pode ser feita por meio de pregos galvanizados, justamente por possuir uma vida útil mais extensa que os normais, preservando a edificação de manutenções estruturais, gerando uma maior segurança aos moradores. Além de pregos, grampos também podem ser utilizados, o que agiliza ainda mais o processo de montagem.

Por sua modularização, esses montantes estão espaçados entre si em 40 ou 60 centímetros, tendo a placa de OSB com 1,20 metros, sendo múltiplos e facilitando a modulação, reafirmando conceitos apresentados por Greven e Baldauf (2007) e Patinha (2011).

Na figura 41, pode ser observado a representação da montagem de um painel constituído no sistema *Wood Framing*.

Figura 41 – Painéis de madeira no sistema *Wood framing*



Fonte: VIVADecora, disponível em: < <https://www.vivadecora.com.br/pro/wood-frame/>>. Acesso em 12 dez.

2.6.4 Instalações

Mais um ponto que se assemelha muito ao sistema *Light Steel Frame*, as instalações em componentes modulares de madeira, de acordo com Molina e Junior (2010), também prioriza o embutimento das tubulações hidráulicas e elétricas, nos vão internos dos painéis de montantes, tendo muita atenção com a adequada fixação dos elementos constituintes, evitando problemas que diminuam a eficiência, facilitando possíveis manutenções futuras, além de evitar patologias de modo geral, podendo ser observado na Figura 42.

Figura 42 – Embutimento de instalações no interior de painéis em *wood frame*



Fonte: BOLSONI ESTRUTURAS DE MADEIRA, disponível em: < <https://fernandobolsoni.com.br/wood-frame-2/>. Acesso em 12 dez. 2023

2.6.5 Revestimentos

Molina e Junior (2010), explicam que uma ampla variedade de materiais pode ser utilizada para revestimento tanto interno, como externos, o que facilita a liberdade arquitetônica que esse método construtivo pode disponibilizar. Nas fachadas, prioriza-se elementos em aço, madeira ou PVC, além da utilização de placas cimentícias, que dão acabamento semelhante ao de uma parede em alvenaria convencional.

Internamente, como já comentado, revestimentos dos mais variados gêneros podem ser executados, desde que planejados e levados em consideração no projeto estrutural.

Molina e Junior (2010) ainda ressaltam que na instalação dos mesmos, sempre verificar a correta execução do tratamento acústico, o que influencia no conforto e qualidade de vida final da habitação.

2.6.6 Cobertura

O sistema de cobertura em um sistema modular de madeira, está atrelado justamente com a coordenação modular, pois é composto por treliças planas industrializadas também em madeira, espaçadas a cada 60 ou 120 cm, distância múltipla do espaçamento dos montantes estruturais que são responsáveis por receber os esforços, lembrando conceitos de Greven e Baldauf (2007) e Patinha (2011).

De acordo com Molina e Junior (2010), devido a industrialização na fabricação das treliças em madeira, seu peso diminui em 40% comparado aos métodos convencionais de fabricação das mesmas, provendo para a edificação um menor peso, sem perder eficiência e desempenho.

De fechamento, os autores Molina e Junior (2010) explicam que pode-se também utilizar painéis de OSB, além de telhas metálicas, cerâmicas e de fibrocimento. Utiliza-se também uma manta de cobertura acoplada na treliça plana, com o intuito de garantir a estanqueidade da edificação. Na figura 43, observa-se a

Figura 43 – Cobertura de uma edificação em *wood frame*



Fonte: Engenharia 360, disponível em: <https://engenharia360.com/como-funciona-o-sistema-constutivo-em-wood-frame/>. Acesso em 12 dez. 2023

3. ESTUDO DE CASO

Com o intuito de demonstrar como Construções Modulares são aplicadas em nossa sociedade, e discutir mecanismos para aprimoramento de técnicas construtivas, selecionou-se uma edificação executada utilizando-se de princípios da coordenação modular. A obra em si é uma penitenciária estadual, chamada de Charqueadas II, situada no município de Charqueadas, Rio Grande do Sul, inaugurada no dia 27 de novembro de 2023, tendo capacidade para receber 1.650 detentos. Na Figura 44, observa-se a edificação pronta em sua inauguração

Figura 44 – Penitenciária de Charqueadas II pronta



Fonte: Fonte: Mauro Nascimento – SECOM, disponível em: <https://obras.rs.gov.br/nova-penitenciaria-estadual-de-charqueadas-ii-agrega-1-6-mil-vagas-ao-sistema-prisional>. Acesso em 12 dez. de 2023

Por se tratar de uma instalação diretamente ligada à Segurança Pública do Estado do Rio Grande do Sul, detalhes técnicos que possam apresentar alguma vulnerabilidade do sistema, não serão destacados nesse presente estudo.

3.1 PENITENCIÁRIA ESTADUAL CHARQUEADAS II

De acordo com Horowitz (2023), em matéria publicada no periódico *Correio do Povo*, a nova unidade penitenciária faz parte do complexo prisional da região Carbonífera, com investimento em cerca de R\$ 185 milhões, proveniente do programa Avançar, uma iniciativa do governo gaúcho lançado em junho de 2021, envolvendo uma série de investimentos que procura agilizar o crescimento econômico e serviços prestados à população.

Para o secretário da Secretaria de Sistemas Penal e Socioeducativo, Luiz Henrique Viana, publicado em Casa Civil RS (2023), “O início do uso deste estabelecimento representará

ainda mais segurança para o Rio Grande do Sul, com este complexo sendo uma referência no país”.

De início, para essa penitenciária, foram transferidos 700 detentos provenientes da readequação dos módulos de vivência da Cadeia Pública de Porto Alegre, recentemente implodida para construção de novos módulos carcerários.

3.2 CONSTRUÇÃO DA PENITENCIÁRIA CHARQUEADAS II

O início da construção da Penitenciária Estadual de Charqueadas II, de acordo com Reginato e Barroso (2022), teve início no dia 29 de junho de 2022, com investimento aproximado na casa dos R\$ 185 milhões. A previsão de entrega da obra era de 360 dias, mas o prazo não se cumpriu, houve atraso.

De início ocorre toda a fabricação dos elementos constituintes em uma indústria de maneira controlada, sendo produzidos com agilidade e eficiência. Os módulos são fabricados já na dimensão de uma cela, tendo capacidade para 8 detentos.

Os módulos tem como material de composição o Concreto GRC (*Glassfibre reinforced concrete*), de acordo com Vicenzi (2015) é um material que possui reforço em fibra de vidro, garantindo uma alta segurança e durabilidade. Na Figura 45 observa-se justamente esse módulos são individualizados, que de acordo com o que cita Patinha (2011), são considerados do sistema parcialmente aberto. Onde a estrutura já vem com sua estrutura montada de fábrica, em obra, apenas há o encaixe dos elementos.

Figura 45 – Produção dos módulos em concreto



Fonte: Fonte: Edvaldo Correa (2023), disponível em:

https://www.youtube.com/watch?v=VRnw40vDXRE&ab_channel=EdvaldoCorrea. Acesso em 12 dez. de 2023

Nessa fase também ocorre a inserção das portas de cada cela, soldadas junto aos módulos. Também acontece a instalação de grades cimentadas e temperadas nas janelas, de acordo com Silva e Mei (2010) proporcionam ao material, uma maior dureza e resistência da superfície. Na Figura 46 observa-se justamente essa ação.

Figura 46 – Solda das portas de correr em metal, junto ao módulo de concreto



Fonte: Edvaldo Correa (2023), disponível em:

https://www.youtube.com/watch?v=VRnw40vDXRE&ab_channel=EdvaldoCorrea. Acesso em 12 dez. de 2023

Após isso finalizados, os módulos são içados e armazenados em seu devido local na indústria. Devido ao tamanho dos módulos, o espaço necessário para estocagem demanda uma grande área, com isso, a solução encontrada foi o transporte de alguns elementos já para o local de obra, agilizando todo o processo de fabricação. Na Figura 47, observa-se a preparação para o transporte desses elementos.

Figura 47 – Preparação para o transporte dos módulos



Fonte: Edvaldo Correa (2023), disponível em:

https://www.youtube.com/watch?v=VRnw40vDXRE&ab_channel=EdvaldoCorrea. Acesso em 12 dez. de 2023

Com os serviços preliminares, como terraplenagem, fundação, e locação de obra executados, considerados de grande importância para a Construção Modular para o ideal funcionamento do sistema, inicia-se a montagem dos módulos já em seu local definitivo. Na Figura 48, pode ser observado o içamento dos mesmos por uma auto grua.

Figura 48 – Içamento de um módulo em local de obra



Fonte: Edvaldo Correa (2023), disponível em:

https://www.youtube.com/watch?v=VRnw40vDXRE&ab_channel=EdvaldoCorrea. Acesso em 12 dez. de 2023

Simultaneamente com a montagem dos módulos em seus devidos lugares, ocorre outras tarefas no canteiro de obras, com o intuito de agilizar ao máximo. Entre elas cita-se serviços preliminares de movimentação de terra, ancoragem dos módulos com a fundação, e podendo também, de acordo com o planejamento, iniciar a fase de acabamento. Na Figura 49, observa-se justamente isso, várias equipes executando suas tarefas ao mesmo tempo.

Figura 49 – Imagem aérea do canteiro de obra



Fonte: Edvaldo Correa (2023), disponível em:

https://www.youtube.com/watch?v=VRnw40vDXRE&ab_channel=EdvaldoCorrea. Acesso em 12 dez. de 2023

Além de toda a estrutura preparada para receber os detentos, há estabelecimentos internos utilizados para o gerenciamento de toda a operação. Espaços como cozinha, lavanderia, alojamento de serviços e um local para assistência de saúde.

O Centro Administrativo, utilizado pela gerência e controle total do complexo, fica localizado bem na entrada da Penitenciária Charqueadas II, no meio dos dois módulos carcerários. Na Figura 50, pode ser observado que esse local, foi estruturado com paredes portantes pré-fabricadas, diferenciando-se dos módulos das celas, mas ainda assim utilizando-se de princípios da Coordenação e Construção Modular

Figura 50 – Montagem das paredes do Centro Administrativo



Fonte: Edvaldo Correa (2023), disponível em:

https://www.youtube.com/watch?v=VRnw40vDXRE&ab_channel=EdvaldoCorrea. Acesso em 12 dez. de 2023

Outra fase de execução que exige muito cuidado e atenção, pois garante ao sistema mais segurança e eficiência, é a fase de cobertura. Nas áreas comuns, como observado na Figura 51, destinadas ao uso coletivo e recreação dos detentos, há a inserção de grades metálicas, impossibilitando que ocorra alguma fuga, bem como, que objetos externos sejam arremessados para o interior da penitenciária

Figura 51 – Fechamento das áreas coletivas com grades metálicas



Fonte: Edvaldo Correa (2023), disponível em:

https://www.youtube.com/watch?v=VRnw40vDXRE&ab_channel=EdvaldoCorrea. Acesso em 12 dez. de 2023

Reginato e Barroso (2022) destacam que após toda a estrutura montada, encaixada pela VISIA – Construção Modular, 90% de toda obra já está concluída, restando apenas o sistema hidráulico e elétrico para finalização. Na figura 47, observa-se o corredor entre as celas praticamente finalizado.

Figura 47 – Estrutura da Penitenciária Charqueadas II quase finalizada



Fonte: Edvaldo Correa (2023), disponível em:

https://www.youtube.com/watch?v=VRnw40vDXRE&ab_channel=EdvaldoCorrea. Acesso em 12 dez. de 2023

Como apresentado anteriormente, o prazo estipulado era de 360 dias para conclusão, mas sua entrega ocorreu em 516 dias, de acordo com Mendes (2023), essa variação ocorreu devido à instabilidade climática que atingiu o estado no de 2023, sendo inviável a montagem dos elementos in loco.

Mesmo com o significativo atraso, pode ser observado a agilidade em que a Penitenciária Estadual de Charqueadas II foi entregue. Prazos esses, que só foram possíveis tendo por base todos os conceitos de Coordenação e Construção Modular, aliados com a alta taxa de industrialização do sistema, apresentados por Greven e Baldauf (2007), Patinha (2011), e ainda conhecimentos práticos advindos de El Debs (2017), fazendo com que a sociedade possa perceber, investimentos cada vez mais representativos em todas camadas sociais com projetos moldados em bases sustentáveis.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este presente estudo, conclui-se que o tópico da Construção Modular, no mercado da construção civil brasileira e mundial, pode ser considerado uma das maiores fontes de inovação e crescimento atual da modernidade, através de princípios sustentáveis, com intuito de evolução de produtividade, controle da qualidade do produto final e aproveitamento dos recursos.

Entende-se que na atual configuração de instabilidade do mercado financeiro nacional, a utilização desses princípios modulares é uma gigantesca oportunidade de alavancar o setor da construção civil, com essa inovação na forma de se pensar uma edificação, pois de acordo com Martins (2023), estando o setor da construção aquecido, influencia todos os serviços ligados a ela, devendo a Construção Civil, ser vista da maneira que merece, refletindo sua importância para sociedade brasileira.

Com a evolução histórica da Construção Modular, desde os povos egípcios, gregos e romanos, até os dias atuais, princípios de modularidade estiveram presentes e se fizeram marcantes para a sociedade de cada época, tendo sua devida importância. Hoje em dia, pode ser considerada uma esperança sustentável da construção civil, tendo uma barreira cultural para ser ultrapassada, mas que aos poucos com a consolidação dos métodos construtivos apresentados, se faça ainda mais presente nas pautas de planejamento de futuras edificações.

Analisando socialmente a configuração dos materiais presentes atualmente em nossa sociedade, entende-se que o sistema *Light Steel Framing*, juntamente com os elementos modulares pré-moldados em concreto, são os mais adequados para alavancar o crescimento de Construções Modulares. Isto porque, já são altamente difundidos no Brasil, tendo uma boa base de conhecimento da maneira de obtê-los, processá-los e transformá-los em produto final, porém como apresentado, a pesquisa da ABCEM juntamente com a CBCA, nos demonstra que é necessário rever as taxas de tributação do setor siderúrgico pelo governo federal, onde 63,8% dos participantes da pesquisa, indicam que o crescimento do setor trava nessa alta tributação, não tendo incentivos fiscais por parte do Poder Executivo, o que ajudaria ainda mais o desenvolvimento do setor. Já o *Wood Frame*, que consiste na utilização de madeira reflorestada, atualmente entende-se que não irá ser difundido amplamente no mercado construtivo, fazendo frente com os métodos convencionais, mas em questão sustentável e ecológica, seu uso futuramente possa se tornar uma opção muito considerável.

Também exposto o desenvolvimento e execução da Penitenciária Estadual Charqueadas II, pode-se observar o potencial uso de Construções Modulares atualmente e até futuramente para a sociedade. Cada vez mais, o poder público deve fomentar edificações nessa configuração, influenciando e aquecendo o mercado interno de empresas e indústrias que tenham consigo, princípios sustentáveis de construção.

Por fim, o autor entende que o desenvolvimento de técnicas modulares aliadas a industrialização, trará benefícios imediatos na sociedade, tanto para engenheiros que terão maior controle dos materiais utilizados, projetando edificações com maior qualidade de acabamento, competindo internamente para o desenvolvimento do setor como um todo, sem que haja prejuízo estético no produto final.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAGESSO. **Manual de Montagem de sistemas Drywall**. 2004. Pini. São Paulo.

ARATAU CONSTRUÇÃO MODULAR. **Posts tagged: Construção modular**. 2021. Disponível em: <https://www.arataumodular.com/app/tag/construcao-modular/>. Acesso em: 17 dez. 2023.

ARQUITETURA + AÇO. **Fundações para Steel Framing (Foundations for Cold Formed Steel Stud Walls)**. 2015. Disponível em: <https://felipeschmitzhaus.blogspot.com/2015/07/fundacoes-para-steel-framing.html>. Acesso em: 17 dez. 2023.

ASCOM CASA CIVIL. **Estado e prefeitura de Charqueadas assinam termo para início de uso de penitenciária no município**. 2023. Disponível em: <https://casacivil.rs.gov.br/estado-e-prefeitura-de-charqueadas-assinam-termo-para-inicio-de-uso-de-penitenciaria-no-municipio>. Acesso em: 17 dez. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DRYWALL. **Wood frame**. Disponível em: <https://drywall.org.br/wood-frame/>. Acesso em: 17 dez. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575**: Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.873**: Coordenação modular para edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.936**: Edificações em light wood frame. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.970**: Light Steel Framing – Sistemas construtivos em perfis leves de aço formados a frio, com fechamento em placas delgadas – Parte 1: Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

AZEVEDO, Vanessa da Silva de; COSTA, Ronald Alves da; ROCHA, Romulo Campos. **EDIFICAÇÕES SUSTENTÁVEIS COMPOSTAS POR SISTEMAS CONSTRUTIVOS MODULARES EM AÇO: utilização de containers para construção de polos educacionais universitários**. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA, 7., 2016, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Abcem, 2016. v. 7, p. 1244-1264.

BALDAUF, Alexandra Staudt Follmann. **Contribuição à implementação da Coordenação Modular da construção no Brasil**. 2004. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

BARROS, Mercia Maria Semensato Bottura de e SABBATINI, Fernando Henrique. **Diretrizes para o processo de projeto para a implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios**. 1996 São Paulo: Epusp. Acesso em: 12 dez. 2024.

BASTOS, Raphael de C. S. C. **Da coordenação modular à construção modular: estudos de caso**. 2015. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

BRASIL. AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. (ed.) **Manual da Construção Industrializada: conceitos e etapas**. Asa Norte: Abdi, 2015. 1 v.

BREGATTO, Paulo Ricardo. **Coordenação Modular – PARTE I, II e III**. 2008. Disponível em: <https://bregatto.blogspot.com/2008/09/coordenao-modular-parte-i.html>. Acesso em 12 dez. de 2023

BOLSONI, Fernando. **Construções em Wood Frame**. Disponível em: <https://fernandobolsoni.com.br/wood-frame-2/>. Acesso em: 17 dez. 2023.

CASTELO, João Luís de Couto. **Desenvolvimento de modelo conceptual de sistema construtivo industrializado leve destinado à realização de edifícios metálicos**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO BOUWCENTRUM. **Noticiário da Coordenação Modular**. São Paulo: BNH/CBC, n 26-27, jan/fev 1972.

CHING, Francis DK. **Arquitectura: forma, espacio y orden**. 1998. GG/México.

CIRQUEIRA, Clarissa Belle de Rezende Pimentel. **A coordenação modular como ferramenta de projeto de arquitetura e levantamento de componentes normatizados no mercado da construção civil do distrito federal**. 2015. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

COELHO, Roberto de Araujo. **Sistema Construtivo Integrado em Estrutura Metálica**. 2003. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.

CONSULSTEEL. **Construcción con acero leviano – Manual de Procedimiento**. 2002. Buenos Aires, Argentina.

CORREA, Edvaldo. **VISIA PENITENCIÁRIA DE CHARQUEADAS - EPISÓDIO 03 (2023)**. 1 vídeo (1 min). Direção e roteiro Martin Haag. Rio Grande do Sul, (2023). Publicado pelo canal Edvaldo Correa. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=VRnw40vDXRE&ab_channel=EdvaldoCorrea. Acesso em 12 dez. de 2023.

DESTERRO ELETRICIDADE. **Instalação Elétrica e Hidráulica em drywall: Aprenda como fazer**. 2022. Disponível em: <https://www.asterroeletricidade.com.br/blog/eletrica/instalacao-eletrica-e-hidraulica-em-drywall-aprenda-como-fazer/>. Acesso em: 17 dez. 2023.

EL DEBS, Mounir Khalil. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. 2017. 2 ed São Carlos, SP: EESC-USP.

ENGQUIMICASANTOSSP. **Sistema de coordenadas cartesianas no espaço**. 2015. Disponível em: <https://www.engquimicasantosp.com.br/2015/10/sistema-coordenadas-cartesianas-espaço.html>. Acesso em: 17 dez. 2023.

EQUIPE MAPA DE LONDRES. **O que foi o Palácio de Cristal em Londres**. 2017. Disponível em: <https://mapadelondres.org/palacio-de-cristal-em-londres/>. Acesso em: 17 dez. 2023.

FERNANDES, Paulo Henrique. **Análise de Cenário e Perspectivas de Crescimento das Startups de Construções Modulares no Brasil**. 2022. 141 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

FILHO, Isac Chedid Filho. **A Coordenação Modular como uma ferramenta no processo projetual**. 2007. Tese (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, RS.

FRANCO, José Tomás. **Arquitetura com painéis SIP: casas pré-fabricadas de construção rápida e alto desempenho**. 2021. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/965688/arquitetura-com-paineis-sip-casas-pre-fabricadas-de-construcao-rapida-e-alto-desempenho>. Acesso em: 17 dez. 2023.

FRANÇA, Erich Takachi Ychisawa. **Materiais empregados na construção modular: cenário atual e potencialidades**. 2021. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de São Paulo, São José dos Campos, 2021.

FREIRE, Andréa Maria Valverde. **Coordenação modular de projetos como ferramenta para a racionalização da construção**. 2006. 139 f. Monografia (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

FREITAS JÚNIOR, Ismael Forte (org.). **Padronização de medidas antropométricas e avaliação da composição corporal**. São Paulo: Cref4/SP, 2018. 152 p.

GREVEN, Hélio Adão; BALDAUF, Alexandra Staudt Follmann. **Introdução à coordenação modular da construção no brasil: Uma abordagem atualizada**. Coleção Habitare, 9 ed. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ANTAC. 2007.

HOROWITZ, Marcel. Nova Penitenciária de Charqueadas é inaugurada com 23 mil metros quadrados e 1,6 mil vagas. **Correio do Povo**, 27 de novembro de 2023. Disponível em: <https://www.correiodopovo.com.br/not%C3%ADcias/pol%C3%ADcia/nova-penitenc%C3%A1ria-de-charqueadas-%C3%A9-inaugurada-com-23-mil-metros-quadrados-e-1-6-mil-vagas-1.1425593>. Acesso em: 17 de dezembro de 2023.

JORGE, Liliam Pederneiras; RAVACHE, Rosana Lia. **CONSTRUÇÃO MODULAR PRÉ-FABRICADA, O FUTURO DA ARQUITETURA NO BRASIL**. **Connection Line: Revista Eletrônica do Univag**, Várzea Grande, v. 24, n 1 p. 80-95, 2021. Semestral.

JULAR. **OSB - o painel resistente, durável e dimensionalmente estável**. Disponível em: <https://www.jular.pt/produtos/placas-e-paineis/osb>. Acesso em: 17 dez. 2023.

KOCH, Wilfried. **Dicionário dos Estilos Arquitetônicos**. 2. ed. São Paulo: Martins Fortes, 1996. Tradução de: Neide Luzia de Rezende.

MARCON, Guilherme; DAMACENO, Gabriela Scanagatta. **ESTUDO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA COORDENAÇÃO MODULAR NA CONSTRUÇÃO NO BRASIL**. *Revista Thêma et Scientia*, v. 4, n. 2, 2014.

MARTINS, José Carlos. **Construção cresce forte e impulsiona economia do país**. 2023. Agência CBIC, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://cbic.org.br/a-importancia-da-construcao-civil-para-a-economia-nacional/>. Acesso em 12 dez. 2023

MEGAÇO. **Saiba Porque a Placa Cimentícia é a Solução Ideal para sua Construção**. Disponível em: <https://megaco.com.br/sem-categoria/saiba-porque-a-placa-cimenticia-e-a-solucao-ideal-para-sua-construcao/>. Acesso em: 17 dez. 2023.

MOLINA, Julio Cesar; JUNIOR, Carlito Calil. Sistema construtivo em "wood frame" para casas de madeira. **Seminário: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 31, n. 2, p. 143-156, 2010.

MOLITERNO, Antonio. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. Ed. Edgard Blucher LTDA., São Paulo. 2003.

MOREIRA, Carlos Ismael; POLLACCHINI, Rafaela. **Nova Penitenciária Estadual de Charqueadas II agrega 1,6 mil vagas ao sistema prisional**. 2023. Disponível em: <https://estado.rs.gov.br/nova-penitenciaria-estadual-de-charqueadas-ii-agrega-1-6-mil-vagas-ao-sistema-e-auxilia-na-reconstrucao-da-cppa>. Acesso em: 17 dez. 2023.

MRGB – CONSTRUÇÕES MODULARES EM CONCRETO ARMADO – **MRGB**. Almirante Tramandaré. 19 set 2021. Facebook. Disponível em: https://www.facebook.com/photo?fbid=356663009486766&set=a.356662996153434&locale=ja_JP. Acesso em: 17 de dez. 2023.

NAKAMURA, Juliana. **Parede de concreto: vantagens e características**. 2019. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/parede-de-concreto/>. Acesso em 12 dez. 2023.

PATINHA, Sérgio Miguel Pinto de Almeida. **Construção modular – desenvolvimento da ideia: casa numa caixa**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2011.

PENAZZI, Maria Emilia. **Desenvolvimento de sistema construtivo e estrutural modular em aço para edificações para fins didáticos**. 2015. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

RAMOS, Alvaro Tavares. **Prefab Perfection**. 2007. Essencial Lisboa. Disponível em: <http://www.modular-system.com/pt/media/essencial-lisboa>. Acesso em 12 dez. de 2023

REDAÇÃO 360. **Como funciona o sistema construtivo em Wood Frame?** 2021. Disponível em: <https://engenharia360.com/como-funciona-o-sistema-construtivo-em-wood-frame/>. Acesso em: 17 dez. 2023.

REGINATO, Gisele; BARROSO, Lucas. **Governo do Estado assina início da construção da Penitenciária Estadual Charqueadas II.** 2022. Governo do Estado do RS, Porto Alegre, RS. Disponível em: <https://estado.rs.gov.br/governo-do-estado-assina-inicio-de-construcao-da-penitenciaria-estadual-de-charqueadas-ii>. Acesso em 12 dez. 2023.

REVISTA TÉCNICA. **Light Wood Frame.** São Paulo, ano 17, ed. 151, p 48, outubro de 2009.

RIO GRANDE DO SUL. GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Governo do Estado assina início de construção da Penitenciária Estadual de Charqueadas II.** 2022. Disponível em: <https://justica.rs.gov.br/governo-do-estado-assina-inicio-de-construcao-da-penitenciaria-estadual-de-charqueadas-ii>. Acesso em: 17 dez. 2023.

ROSSO, Teodoro. **Teoria e prática da Coordenação Modular.** 1976. FAUUSP, São Paulo.

SALEM, Maria Beatriz Aranha. **Análise de Elementos em Concreto Pré-Moldado nas Situações Transitórias.** 2020. TCC (Graduação). Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN.

SALES, Urânia Costa. **Mapeamento dos problemas gerados na associação entre sistemas de vedação e estrutura metálica e caracterização acústica e vibratória de painéis de vedação.** 2001. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais.

SALOMÃO, Pedro Emílio Amador; SOARES, Alan Deivid Alves; LORENTZ, Larissa Petrini Alves; PAULA, Larissa Tatiane Gonçalves de. **Análise comparativa dos sistemas construtivos alvenaria convencional e light steel framing: um estudo de caso em residência uniufamiliar em Teófilo Otoni, MG.** 2019. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/5606/560662200014/html/>. Acesso em: 17 dez. 2023.

SANTIAGO, Alexandre Kokke; FREITAS, Arlene Maria Sarmanho; CRASTO, Renata Cristina Moraes de. **Steel framing: arquitetura.** 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/Cbca, 2012. (Manual de Construção em Aço).

SILVA, André Luiz da Costa; MEI, Paulo Roberto. **Aços e ligas especiais.** 2010. Edgard Blucher. 4 ed. São Paulo, SP.

SOARES, Anamaria Malachini Miotto. **Análise estrutural de pórticos planos de elementos pré-fabricados de concreto considerando a deformabilidade das ligações.** 1998. 230 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 1998.

TECNOSIL. **O que são pré-moldados de concreto e qual a diferença com os pré-fabricados?** Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/o-que-sao-pre-moldados-de-concreto-e-qual-a-diferenca-com-os-pre-fabricados/>. Acesso em: 17 dez. 2023.

TERMOVALE. **O que é aço?** 2023. Disponível em: <https://www.termovale.com.br/pt-br/novidades-e-dicas/o-que-e-aco>. Acesso em 12 dez. de 2023

THOMAZ, Ana Claudia. **Conheça os tipos de Laje para Steel Frame.** 2022. Disponível em: <https://conteudo.espacosmart.com.br/tipos-laje-steel-frame/>. Acesso em: 17 dez. 2023.

VASCONCELOS, Augusto de Carlos. **O concreto no Brasil – Vol. 3: Pré-fabricação, monumentos, fundações.** 2002. Studio Nobel. São Paulo

VICENZI, Taís Delvina. **Glassfibre Reinforced Concrete (GRC). Análise das Dificuldades de Inserção no Mercado Nacional de Painéis Fabricados em Concreto Reforçado com Fibra de Vidro.** 2015. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VIVA DECORA. **Descubra tudo sobre Wood Frame e veja 15 exemplos perfeitos!** 2019. Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/wood-frame/>. Acesso em: 17 dez. 2023.

ZECHMEISTER, Dóris. **Estudo para a padronização das dimensões de unidades de alvenaria estrutural no brasil através do uso da coordenação modular.** 2005. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

YEANG, K. **Proyectar com la natureza: bases ecológicas para el proyecto arquitectónico.** Barcelona, 1999.