



CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ROCHELLE TOMAZ DUTRA

**ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO:
UM ESTUDO DE CASO DO EDIFÍCIO CREMEC**

FORTALEZA

2020

ROCHELLE TOMAZ DUTRA

**ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO:
UM ESTUDO DE CASO DO EDIFÍCIO CREMEC**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil da Faculdade Ari de Sá

Orientador: Prof. Me. Ésio Magalhães
Feitosa Lima.

Coorientador: Prof. Me. Audelis de Oliveira
Marcelo Júnior

FORTALEZA

2020

Folha destinada à inclusão da **Ficha Catalográfica** a ser solicitada à Biblioteca da FAS e posteriormente impressa no verso da Folha de Rosto (folha anterior).

Espaço destinado à elaboração da ficha catalográfica sob responsabilidade da Faculdade Ari de Sá.

ROCHELLE TOMAZ DUTRA

**ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO:
UM ESTUDO DE CASO DO EDIFÍCIO CREMEC**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil da Faculdade Ari de Sá.

Orientador: Prof. Me. Écio Magalhães
Feitosa

Lima.

Coorientador: Prof. Me. Audelis de Oliveira
Marcelo Júnior

Aprovada em: 19/01/2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Écio Magalhães Feitosa
Faculdade Ari de Sá

Prof. Me Lilian Brasileiro
Faculdade Ari de Sá

Prof. Me./Dr. Carlos Valbson Araújo dos Santos
Universidade de Barsilia

Dedico este trabalho à minha família, pelos
momentos de apoio.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida e por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso. A toda minha família, que me incentivou nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência.

À instituição de ensino Faculdade Ari de Sá, essencial no meu processo de formação profissional, pela dedicação e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso.

Aos professores que me permitiram um melhor desempenho para minha tão sonhada formação, em especial ao meu orientador Prof. Me. Écio Magalhães Feitosa Lima. pela constante orientação para que fosse possível esse trabalho.

Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo do curso, e aos meus colegas de turma, que convivi intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram crescer não só como pessoa, mas também como formanda.

RESUMO

Com o desenvolvimento científico e econômico novas tecnologias estão aparecendo e começando a ser utilizadas, entre elas o sistema misto aço e concreto, que permite potencializar o desempenho do conjunto unindo as vantagens de cada material. Este trabalho apresenta um estudo de caso sobre a estrutura mista de aço e concreto presente no edifício CREMEC - Conselho Regional de Medicina do Estado do Ceará, um empreendimento localizado na cidade de Fortaleza no estado do Ceará. concluído no ano de 2016, que conta com tecnologia de lajes Steel Deck e Diagrid em sua estrutura. O sistema Diagrid são vigas inclinadas e se comporta de maneira similar a uma treliça, permite às fachadas dos prédios uma arquitetura contemporânea e chama atenção de quem passa por perto. A adoção do sistema estrutural pode eliminar utilização de pilares no interior do edifício possibilitando uma vão mais livre, maior aproveitamento da iluminação natural e conseqüentemente a redução de materiais na construção dos edifícios. O objetivo do trabalho é abordar os aspectos construtivos utilizados para laje steel deck, além disso, será realizada através de um estudo bibliográfico como se comporta a estrutura diagrid presente no edifício CREMEC. A justificativa para este trabalho, é dada pela melhoria de técnicas construtivas ao longo tempo, como a busca pela otimização de espaço, economia e sustentabilidade, a solução de estruturas mistas de aço e concreto, apresentam algumas vantagens comparadas aos métodos tradicionais, e têm impulsionado bastante mercado da construção civil, e será comum encontrar estruturas como edifício CREMEC, e o bom conhecimento sobre esse tipo de estrutura além da garantia de segurança, contribuir para projetos futuros. As conclusões desse trabalho, é que para executar uma obra desse porte é necessário além de seguir as normas técnicas, o uso de software para projetos em 2D e 3D característicos da ferramenta BIM, é importante uma logística tanto para fabricação das peças quanto para construção, e apesar de muitas estruturas Diagrid existentes mundo, o edifício CREMEC tem uma característica única e que mesmo com cuidados relacionados a corrosão, é de suma importância as manutenções afim de minimizar o impacto dessa patologia.

Palavras-chave: Aço e concreto. Diagrid e Steel Deck

ABSTRACT

With the scientific and economic development new technologies are appearing and starting to be used, among them the mixed steel and concrete system, which allows to enhance the performance of the whole by uniting the advantages of each material. This work presents a case study on the mixed steel and concrete structure present in the CREMEC building - Regional Council of Medicine of the State of Ceará, an enterprise located in the city of Fortaleza in the state of Ceará. completed in the year 2016, which has Steel Deck and Diagrid slab technology in its structure. The Diagrid system is inclined beams and behaves in a similar way to a trellis, allows the facades of the buildings a contemporary architecture and draws the attention of those passing by. The adoption of the structural system can eliminate the use of pillars inside the building allowing a freer span, greater use of natural lighting and consequently the reduction of materials in the construction of buildings. The objective of the work is to approach the constructive aspects used for the steel deck slab, moreover, it will be carried out through a bibliographical study as the diagrid structure present in the CREMEC building behaves. The justification for this work is given by the improvement of construction techniques over time, such as the search for optimization of space, economy and sustainability, the solution of mixed steel and concrete structures, have some advantages compared to traditional methods, and have driven much of the construction market, and it will be common to find structures such as CREMEC building, and the good knowledge of this type of structure in addition to the security guarantee, contribute to future projects. The conclusions of this work, is that to execute a work of this size is necessary, besides following the technical standards, the use of software for 2D and 3D projects characteristic of the BIM tool, it is important a logistics both for manufacturing the parts and for construction, and despite many existing Diagrid structures in the world, the CREMEC building has a unique feature and that even with care related to corrosion, maintenance is of paramount importance in order to minimize the impact of this pathology.

Keywords: Steel and concrete, Diagrid and Steel Deck

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVOS	12
	2.1. OBJETIVO GERAL:	12
	2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	12
3	REFERENCIAL TEÓRICO	13
	4.1 CONECTORES DE CISALHAMENTO.....	13
	4.2 LAJES ESTEEL DECK.....	15
	4.3 VIGAS MISTAS	16
	4.4 PILARES MISTOS AÇO E CONCRETO.....	17
	4.5 ESTRUTURA DIAGRID	20
4	METODOLOGIA	27
5	DESENVOLVIMENTO	28
	6.1 APRESENTAÇÃO DO PROJETO	28
	6.2 DEFINIÇÃO DO TIPO DE ESTRUTURA	32
	6.3 NORMAS TÉCNICAS PARA DIMENSIONAMENTO DO CREMEC	41
	6.4 PROGRAMAS UTILIZADOS PARA ELABORAÇÃO DO PROJETO ESTRUTURAL DO CREMEC	43
	6.5 CORROSÃO	45
6	RESULTADOS.....	48
7	CONCLUSÃO	49
8	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	50
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1 INTRODUÇÃO

Na área da construção civil, existem diversos sistemas construtivos para a execução de uma edificação. No Brasil, um dos métodos mais utilizado é a alvenaria convencional, onde toda a carga da estrutura é transferida para lajes, vigas, pilares e fundações, as paredes exercem apenas o papel de vedação, esse processo construtivo exige muito material, conseqüentemente resíduos, necessita de mais tempo de execução, bastante mão de obra e isso acarreta em patologias ao longo do tempo da vida útil do edifício.

Com o desenvolvimento científico e econômico novas tecnologias estão aparecendo e começando a serem utilizadas, entre elas o sistema misto aço e concreto, que permite potencializar o desempenho do conjunto, unindo as vantagens de cada material. Para Campos (2006) o elemento estrutural misto de aço e concreto, é aquele formado por elementos de aço como: perfil, fôrma-laje ou chapas, ligados ao concreto, podendo o mesmo ser protendido ou armado.

Em relação aos materiais aplicados na engenharia civil, resistência e durabilidade são características essenciais para compor a estrutura de uma edificação, o concreto foi um dos primeiros materiais empregados na construção civil, no qual possui uma resistência à compressão e uma durabilidade boa, porém baixa resistência a tração. O aço e o ferro foram empregados na construção séculos depois, e o concreto armado por volta de 1850, embora acordo com Fabrizzi (2007), nos pilares revestidos, o aço servia apenas como fôrma permanente para o concreto, e o concreto servia para proteção contra a corrosão do aço e não exercia nenhuma função estrutural.

O concreto armado surgiu com necessidade de aliar as qualidades do concreto com a resistência mecânica do aço, adquirindo vantagens como, facilidade de execução, rapidez e economia. Segundo AlvaG. (2000), a combinação do sistema aço-concreto, foram determinadas com a evolução do concreto armado empregados em edifícios de múltiplos pavimentos, e as primeiras construções mistas no Brasil, foram normatizadas pela primeira vez em 1986, pela ABNT NBR 6118 (2008) que aborda o dimensionamento e execução dos elementos mistos, submetidos a flexão (vigas mistas), foram edifícios e pequenas pontes construídas entre a década de 50 e 60.

Para edificações de vãos médio e de múltiplos pavimentos, torna bem competitiva quando comparados, concreto armado com o sistema misto aço e concreto, em relação a rapidez, economia e redução de peso nas fundações, uma outra característica muito importante é a proteção contra o fogo que pode alterar o custo da obra, e influenciar na escolha entre eles .

O aço assim como outros elementos empregados na construção civil, como madeira, concreto e alumínio por exemplo, tem sua resistência e módulo de elasticidade reduzida, com o aumento da temperatura. O concreto sofre um efeito chamado *spalling*, quando a pressão da água no interior no concreto evapora e os outros elementos contidos agem de forma diferente, tem se um deslocamento na superfície conseqüentemente a perda de suas propriedades mecânicas colocando portanto á armadura exposta ao fogo.

No Brasil em 1999 foi aprovada a norma utilizada para o dimensionamento de elementos estruturais mistos (vigas, lajes e pilares) em situação de incêndio e também em temperatura ambiente, no caso das lajes e pilares mistos é NBR 14323:2000 (2013) “Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio”.

Existe uma constante busca por métodos construtivos que possibilita a redução de materiais visando a economia e edifícios cada vez mais esbeltos, exemplo disso são as substituições de paredes de alvenaria por divisórias internas, a troca da laje convencional treliçada ou valterranea por lajes alveolares protendidas, cobertas de cerâmicas por metálicas entre outros. As escolhas de combinações dos materiais dependem do projeto arquitetônico, dos vãos a serem vencidos, prazo e execução da obra, tipo de utilização da edificação e das tecnologias disponíveis.

Estrutura mista é um exemplo dessa aplicação, vista como solução em edifícios de múltiplos andares, sejam comerciais, residenciais, institucionais, hospitais, shopping centers entre outros. A norma brasileira que especifica os parâmetros para o dimensionamento é a NBR 8800, de acordo com, Associação Brasileira de Normas técnicas (2008), na qual estabelece critérios de segurança que devem ser obedecidos.

Na cidade de Fortaleza, CE em 2016 foi concluída a obra do edifício CREMEC- Conselho Regional de Medicina do Estado do Ceará, localizado no bairro Joaquim Távora, avenida Antônio Sales, um empreendimento de sete andares e chama atenção pelo seu *design*. A fachada em aço se conecta ao prédio por meio de uma estrutura metálica

reticulada, do tipo *diagrid*¹, está presente em toda estrutura um sistema misto aço e concreto, a tecnologia escolhida conta também com lajes *Steel Deck*².

Figura 1 - Edifício CREMEC



Fonte: Assessoria de Comunicação do Sindicato dos Médicos do Ceará³

Neste trabalho será apresentado um estudo de caso do edifício CREMEC -Conselho Regional de Medicina do Estado do Ceará, mostrado na Figura 1, que trata de uma estrutura que possui um sistema misto aço e concreto, no qual serão abordados os aspectos construtivos utilizados no prédio, além disso, será realizada através de um estudo bibliográfico como se comporta a estrutura diagrid presente no edifício.

Este artigo não se centrará nestes estudos de base matemática, mas são de leitura essencial para obter uma compreensão mais completa da base estrutural, das ações e do potencial de otimização do sistema diagrid. Existem grandes dúvidas entre a investigação de engenharia publicada e a concepção e construção propriamente dita, principalmente de estruturas diagridísticas, então o estudo visa entender isso, assim como as principais características do conjunto viga metálica e laje steel deck.

¹ Steel Deck :É uma laje acompanhada por chapa de aço galvanizado, que recebe camada de concreto.

² Diagrid: É um projeto para a construção de grandes edifícios com aço que cria estruturas triangulares com vigas diagonais de suporte

³ <https://www.sindicatodosmedicosdoceara.org.br/>

Estruturas mistas de aço e concreto apresentam algumas vantagens comparadas aos métodos tradicionais, isso têm impulsionado a melhoria de técnicas construtivas assim como análise estrutural e ferramentas. Desta forma, o estudo dos aspectos construtivos e do comportamento estrutural é muito útil, pois torna mais significativa a garantia de segurança e economia além dos padrões estéticos.

A inovação na construção civil busca redução dos custos efetivos, diminuir o prazo da obra e aumentar eficiência, com a implementação do aço, um material bem mais flexível, está tornando possível e por isso é destaque no mundo. Em grandes cidades, onde espaço livre é cada vez mais difícil, a otimização de espaço para aumentar a área útil do projeto é cada vez mais aplicado. Enquanto estruturas convencionais de concreto tem como precisão de medidas centímetros, o aço se trabalha em milímetros isso diminui a margem de erro, gera poucos resíduos e pode ser totalmente reciclado contribuindo para preservação do meio ambiente.

Este trabalho busca incentivar o interesse pela estrutura mista aço e concreto, sobretudo para os recém formados, pois com o avanço da tecnologia e grandes pesquisas científicas, que está possibilitando novos métodos construtivos na engenharia civil será comum encontrar estruturas como edifício CREMEC, e perceber a necessidade de mão obra qualificada, o mercado tende a utilizar construções cada vez mais industrializadas, e um bom conhecimento sobre o dimensionamento dessa estrutura mista é essencial para o aprimorar nossa capacidade de obter mais segurança nos projetos futuros. Com base nisso, contribuir para o desenvolvimento de novos estudos e análise estrutural do sistema misto aço e concreto.

2 OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL:

- 2.1.1 O objetivo geral do trabalho é realizar um estudo de caso do Edifício CREMEC - Conselho Regional de Medicina do Estado do Ceará, quanto a sua estrutura mista aço e concreto.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 2.2.1 Avaliar quais são os elementos estruturais que constitui o Edifício do CREMEC;
- 2.2.2 Realizar um estudo da solução estrutural denominada de sistema diagrid presente no edifício CREMEC, por meio de um estudo bibliográfico.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será abordado conceitos gerais das estruturas mistas de aço e concreto, bem como os sistemas estruturais associados aos elementos mistos: vigas, conectores, lajes e pilares. Será apresentado os tipos de estruturas mais utilizados pelos engenheiros, assim como os parâmetros que deve se levar em consideração na hora da escolha do projeto, baseados na revisão bibliográfica de artigos realizados por profissionais da área.

Segundo Campos (2006) é fundamental quando se trabalha com o sistema misto aço e concreto, que o profissional conheça as características de cada material de forma isolada e em conjunto, para que desta forma obtenha o melhor dos dois atuando de maneira eficiente e que possam garantir a segurança em relação as cargas atuantes no edifício.

O comportamento da estrutura de uma edificação precisa absorver ações gravitacionais e horizontais como as ações causadas pelo vento e transferi-las até as fundações, para Corrêa (1991) no sistema estrutural, existem dois sistemas principais, que recebem as cargas verticais, formados por vigas, lajes, e os que suportam os esforços horizontais, causados pela ação do vento em toda estrutura, formada por pilares, pórticos, paredes, núcleos e contraventamentos que se encarregam de direcionar até as fundações.

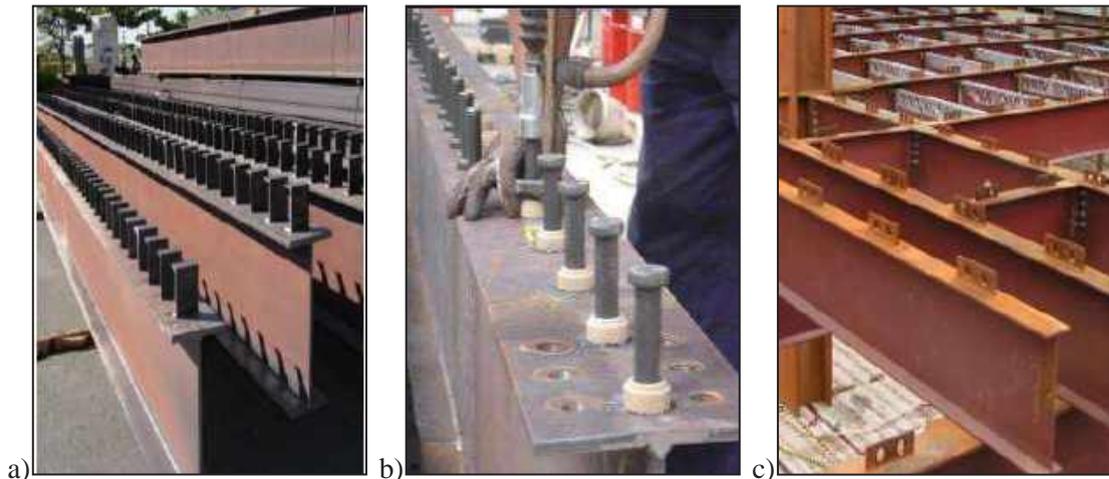
Estruturas mistas constituídas de aço e concreto por serem dois materiais distintos se faz necessário a utilização de elementos de ligação que possuem a função de restringir a mesa da viga de aço e a laje .

4.1 CONECTORES DE CISALHAMENTO

De acordo com Alva e Malite (2005) a ligação do elemento de aço e a laje de concreto é estabelecida através dos conectores de cisalhamento, dentre eles, o perfil U, laminado ou dobrado a frio, pino com cabeça, conhecidos também como Studs Bolts que é soldado sobre o perfil de aço e o Perfobond, que é um conector com aberturas circulares, ambos representados na respectiva ordem na Figura 2. Quanto a classificação desses conectores eles podem ser rígidos ou flexíveis, os flexíveis por sua vez tem uma maior

trabalhabilidade devido a utilização da solda automática.

Figura 2 - Exemplos de tipos usuais de conectores
a) Perfil U; b) Studs Bolts; c) Perforbond



Fonte: http://www.ibracon.org.br/eventos/56cbc/Djaniro_Alvaro.pdf

No que se refere onde esses conectores devem ser locados, deve-se adotar recomendações e restrições de acordo com as normas. A ABNT NBR 8800 (2008) estabelece que é necessário colocar cada conector uniformemente espaçados, levando em consideração as linhas de centro, deve ser igual a oito vezes a espessura total de laje e não pode ser superior a 800 mm, no caso laje com fôrmas incorporadas que possuem nervuras perpendiculares a viga.

A resistência desses conectores se dá por meio de ensaios que definem o comportamento estrutural, como o *Push-Test*⁴, obtendo assim a curva força-escoamento, força última e colapso da ligação. No ensaio é aplicado uma força vertical ao perfil de aço gradativamente, obtendo assim o escorregamento relativo entre a mesa e o perfil a cada carga empregada.

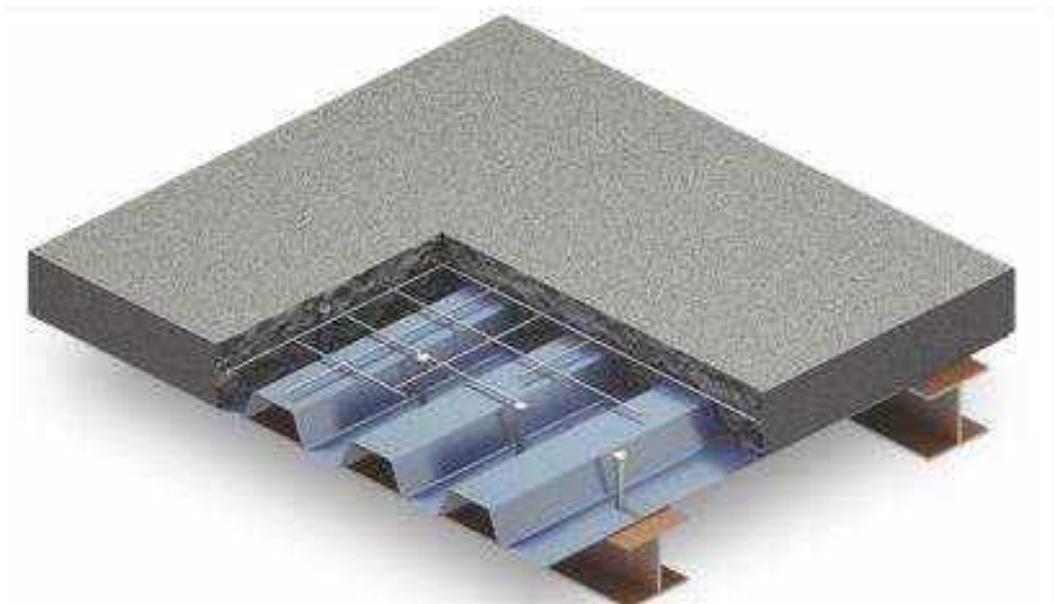
“A resistência à compressão do concreto é um parâmetro que influencia tanto o modo de colapso quanto a capacidade nominal do conector. A ruptura pode ocorrer por esmagamento, em concretos de resistência à compressão menores, enquanto que a ruptura por cisalhamento dos conectores pode ocorrer em concretos de resistência à compressão maiores.” (Alva G. , 2000, p. 31)

⁴ Push-Test: É um teste de pressão para a caracterização de conectores, determinando que a relação força-deslizamento.

4.2 LAJES ESTEEL DECK

No trabalho de Campos (2006), afirma que o uso do sistema Steel Deck apresentados na Figura 3, é um dos mais apropriados para construção das lajes, pois as formas de aço constituídas nas lajes mistas, suportam o carregamento durante a concretagem, por ser mais leve, pode diminuir o custo da fundação e devido a distribuição das deformações pela retração evita também patologias de fissuras no concreto. É uma tecnologia muito utilizada nos países desenvolvidos como Estados Unidos, Japão e em boa parte dos países na Europa, que se destaca na construção de shopping centers, hotéis, hospitais, edifícios residenciais, edifícios comerciais ou garagens.

Figura 3 – Exemplo de laje usual de lajes Steel Deck



Fonte: internet disponível em: <https://engenhariaetc.wordpress.com/2015/06/14/steel-deck-tecnologia-de-lajes-mistas-que-dispensa-escoramento/>

Fabrizzi (2007) ressalta que lajes maciças e pré-moldadas apesar de competitivas nos aspectos econômicos, necessitam de escoramentos, enquanto a laje *steel deck* é uma solução para ambientes com grandes vãos e pode minimizar ou excluir esses apoios e que a escolha da laje, deve também ter como parâmetro a trabalhabilidade, pois não se torna interessante caso seja difícil a execução. No que se refere ao dimensionamento das lajes mistas, deve considerar peso próprio da chapa, do concreto ainda fresco, as sobrecargas no período da construção, e durante a vida útil o estado de limite último e os estados limites de utilização.

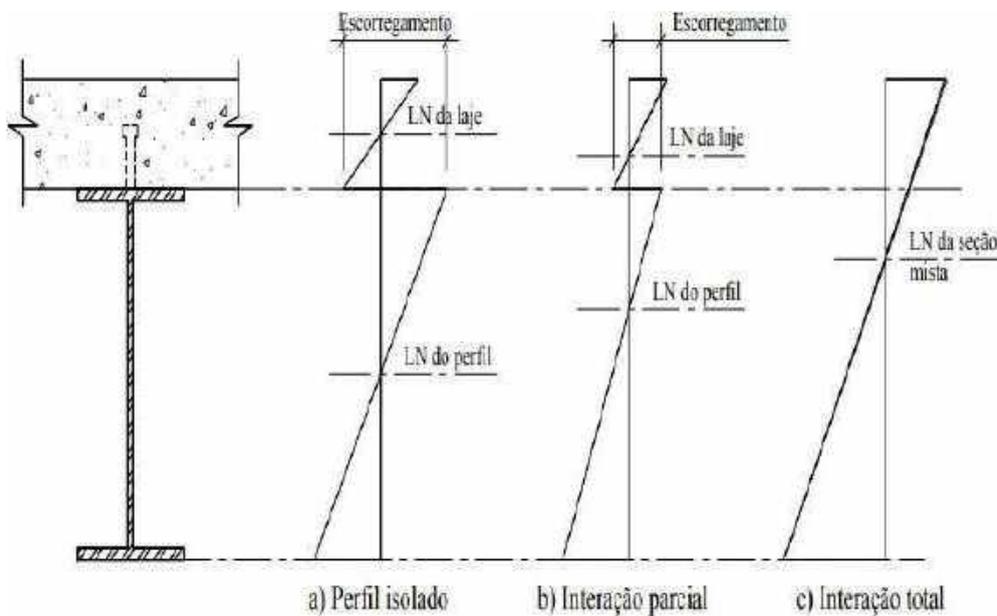
4.3 VIGAS MISTAS

As vigas de aço e laje de concreto são caracterizadas como vigas mistas, muito utilizadas em pontes viadutos, como tabuleiros e pisos, quando comparadas a uma viga de aço isoladas que tem uma flambagem local da mesa e da alma, e flambagem lateral com torção possui muita vantagem na região do momento positivo. Vigas de aço o perfil I é o mais utilizado devido a facilidade de ser moldadas *in-loco*.

Essas vigas mistas podem ser apoiadas, o que torna o sistema misto mais eficiente, pois tem o aço trabalhando a parte da tração enquanto o concreto a compressão, as vigas contínuas devido aos momentos fletores negativos trabalham de forma diferente, pois além de diminuir a resistência à flexão provocada pela fissuração do concreto tracionado, sujeitam a zona comprimida à flambagem local ou à instabilidade por distorção da viga de aço, embora possua vantagens que reduza esforços e deslocamentos que garantem a estabilidade global da estrutura conforme Alva & Malite (2005) e Lemes (2018).

Referente ao dimensionamento das vigas mistas, o comportamento depende do nível de ligação aço-concreto composta, quando submetidas a flexão, podem ter três tipos de situação: interação nula, interação completa e a interação parcial conforme a Figura 4.

Figura 4 - Distribuição de tensões; perfil isolado, interação total e interação parcial.



Fonte: (FABRIZZI, 2007)

Explorando a Figura 4 a primeira situação, interação nula é que os materiais se comportam de forma isoladas, ou seja, não existe uma transmissão de esforços na interface. Logo pode concluir que não existe a presença de conectores de cisalhamento, já na segunda, dada como interação completa, temos uma ligação a qual admitimos que as seções planas continuam planas, dessa forma não existe o escorregamento nem deslocamentos verticais, temos por tanto uma linha neutra. Na terceira devemos levar em consideração a existência da deformação dos conectores de cisalhamento, logo existe um escorregamento na interface dos elementos, que vai contra a hipótese Bernoulli, isso explica a descontinuidade do diagrama .

“O efeito do escorregamento afeta a distribuição de tensões na seção, a distribuição do fluxo de cisalhamento longitudinal na conexão e, conseqüentemente, a deformabilidade das vigas. Esta última é relevante em verificações no regime de utilização da estrutura. O acréscimo de deslocamentos, provocado pelo efeito de escorregamento na interação parcial, é considerado pelas normas em geral.” (Alva G. , 2000, p. 34)

O tipo de viga a ser escolhido deve levar em consideração o tamanho do vão, pois a medida que aumenta, exige mais desse elemento estrutural, deve utilizar como solução vigas de aço, vigas mistas ou treliças metálicas contendo ou não a presença de lajes, outro fator importante, são os projetos elétricos, hidráulicos, entre outros. ou seja, deve prever esse caminho para que não ocorra tanta abertura na alma da viga, ou utilizar como solução vigas *vierandeel*⁵ (FABRIZZI, 2007)

4.4 PILARES MISTOS AÇO E CONCRETO

No que se refere a pilares mistos Figueiredo (1998) afirma que na transferência de cargas na interface entre o aço e o concreto é feita por aderência química e quando quebradas se dá apenas por atrito, portanto essa pressão na interface do aço e concreto é de suma importância no efeito de tensão. Os pilares são elementos feitos para serem comprimidos e sofrem menos o esforço cortante, quando se define a tensão limite de aderência como sendo a máxima tensão que ocorre entre os dois materiais, até o deslocamento do concreto, a dispensa dos conectores é possível quando, a tensão de cisalhamento é menor que esta resistência

⁵ *Vierandeel*: Sistema estrutural formado por barras que se encontram em pontos chamados nós.

Segundo Campos (2006) ao dimensionar um pilar existe algumas considerações quanto materiais, em relação ao aço, o escoamento e a flambagem são fatores que limitam a capacidade de resistir aos esforços, já o concreto, patologias como fissuras e esmagamento são os principais motivos. Pilares mistos são elementos estruturais em que o perfil de aço e o concreto atuam em conjunto por meio da adesão, atrito e ligação mecânica entre os seus componentes e podem ter uma instabilidade caso, na interface do aço e concreto, ocorra falha dos conectores de cisalhamento, falta de aderência ou vazio entre eles. Na Figura 5 estar representado um pilar misto, totalmente revestido com concreto.

Figura 5 - Aplicação dos sistemas mistos em estruturas verticais



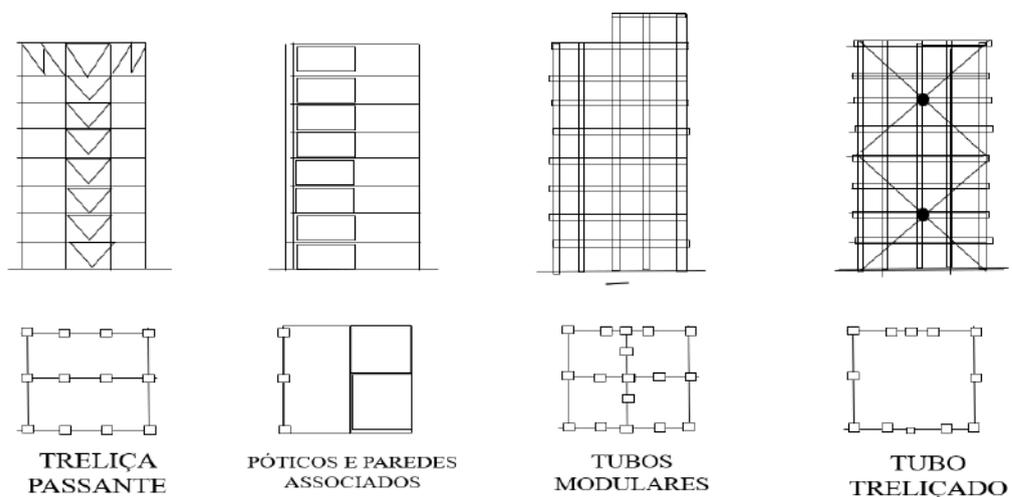
Fonte: <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/estruturas-mistas-concreto-aco/>

Para Fabrizzi (2007) os sistema de pórticos conforme a Figura 5, são indicados para edifícios de até 5 pavimentos, pela facilidade de análise com formação de pórticos planos, menor e a relação viga por vão.

Para edifícios com 10 andares já se torna interessante a solução do núcleo resistente devido a necessidade de escadas e elevadores. O núcleo é formado por pilares e vigas que formam pórticos nas duas direções com ligações rígidas ou semirrígidas, se for flexível deve existir elementos de contraventamento, numa visão geral tem os esforços concentrados no núcleo, o que pode tornar as outras partes do sistema mais esbelto.

Os núcleos formados por concreto, consiste na menor utilização do aço o que pode baixar o custo da obra, mas pode haver a necessidade de adaptações de projeto visto que a precisão do mesmo se trabalha em centímetros, enquanto com o aço se trabalha em milímetros, pode ocasionar mais esforço na fundação devido ao peso próprio, além do tempo de execução. Esse modelo estrutural misto aço e concreto permite a ligação do aço- aço sem prejudicar o andamento da obra, Fabrizzi (2007). A Figura 6 expressa alguns modelos dos sistemas mistos em estruturas verticais.

Figura 6 - Aplicação dos sistemas mistos em estruturas verticais



Fonte: (Corrêa, 1991)

Segundo Alva (2000) O sistema de pórticos e paredes associados por exemplo, dispensa a necessidade de contraventamentos, já o sistema de treliça representados, pode ser considerada uma solução econômica, com um pouco de peso podemos eliminar a necessidade de ligações rígidas entre as vigas e pilares, no entanto o uso de contraventamentos na diagonal, pode por questões estéticas atrapalhar o ambiente interno devido a fachada, exemplo disso são as escoras diagonais do Centro John Hancock em Chicago, IL, EUA, concebido pela SOM e concluído em 1969, exprime claramente o sistema de escoras laterais como parte da estética da fachada ambos desses sistemas estão representados respectivamente na Figura 7.

Figura 7 – Esquemas de a) Pilares de Paredes e b) Treliças/ Contravetamentos



Fonte: disponível em <https://pilaresedificios.files.wordpress.com/2011/10/contravetamento-de-estruturas.pdf>

4.5 ESTRUTURA DIAGRID

Na construção civil, o aço ganhou destaque como uma alternativa de material e uma solução construtiva, após ser considerado o tempo de execução em comparação com os métodos construtivos convencionais e se apresentar mais eficiente, principalmente quanto a quantidade de material empregado e os resíduos gerados no decorrer da construção.

Na década de 2000 uma nova interpretação estrutural, considerada inovadora e contemporânea surgiu, estruturas diagonalizadas representadas na Figura 8, a) como a Câmara Municipal de Lodres em 2002, b) Re Tower em 2004 e c) Hearst Magazine Tower em 2006, foram bastante desafiadoras para engenharia devido aos aspectos de concepção estrutural.

Figura 8– a) como a Câmara Municipal de Lodres, b) Re Tower e c) Hearst Magazine Tower



Fonte: Boake (2011) pag, 20

Embora a explosão dos edifícios diagridizados tenham explodido nesse período, as referências para este modelo tem cerca de 100 anos, A "ideia da diagride" e a primeira estrutura de diagride construída foram creditado a Vladimir Shukhov, engenheiro e arquiteto russo, responsável pela construção de pontes e telhados com o uso da treliça. O desenho evoluiu como um desenho eficiente e fácil, uma torre construída para transportar uma grande carga gravitacional no topo, uma torre de água conforme a Figura 9.

Figura 9 – Duas vistas da Torre Shukhov



Fonte: Boake (2011) pag, 20

A "Torre Shukhov", atualmente localizada em Polibino, Rússia, e concebida em 1896, baseia-se na utilização de uma grelha diagonal de ângulos de aço, limitada lateralmente em intervalos específicos ao longo da altura da torre por anéis de aço.

Na década de 60 o edifício United Steelworkers Building (IBM Building), foi construído com uma grelha soldada de aço inoxidável e três resistências diferentes de aço, as quais ficam mais leves à medida que o edifício sobe e a carga diminui. Esta teia tem uma dupla finalidade, sendo tanto a estrutura, como um protector solar para o interior. Com as suas cargas no chão, parede e elevador, todas transportadas num núcleo central, o interior aberto com vãos de 16m, tem uma grande flexibilidade interna possível.

Apesar da estrutura dagrid exterior estar ligada ao núcleo através de uma estrutura de aço, ele já não tinha o mesmo reforço como os outros edifícios da época, uma vez que a carga lateral foi resistida pelo diagride do perímetro. Este sistema de diagride difere de um perímetro tradicional como sistema de tubos por exemplo, pela eliminação do sistema de pilares verticais para cargas por gravidade. O sistema de diagride resiste simultaneamente à gravidade e às cargas laterais, de modo a que a assistência do núcleo central já não é, em princípio, indispensável. o edifício United Steelworkers Building (IBM Building) estar representado na Figura 10

Figura 10 - Edifício United Steelworkers Building (IBM Building)



Fonte: Boake (2011) pag,25

Os módulos em forma de diamante devem ser escorados no mínimo no seu ponto mais largo, utilizando uma ligação nodo-a-nó para completar a sua estrutura básica da triangulação. Dependendo da geometria geral do edifício, a triangulação horizontal ou anéis podem ser necessários para actuar em tensão (onde as cargas gravitacionais causar o empurrão da diagride para fora) ou em compressão (onde o declive do diagrid empurraria para o interior do edifício). A cinta horizontal é frequentemente formada pela viga de borda da estrutura do chão, que se enquadra no nó a completar o triângulo, Boake (2011).

Outra solução para conter esse empuxo foi implementada no edifício Swiss Re em Londres, os arcos atuam como anéis de tensão para a secções central e inferior da torre. Os arcos transformam a diagonal numa concha triangulada muito rígida, que proporciona excelente estabilidade para a torre. representados na Figura 11. Os arcos também funcionam para resistir a qualquer assimetria ou condições de carregamento horizontal.

Figura 11 - Edifício St Mary Axe situado em Londres



Fonte: Boake (2011).

Para (Mota, et al., 2018), visando à minimização de emprego do aço estrutural foram desenvolvidas nos últimos anos, o sistema Diagrid, que é considerada a mais promissora solução para altos prédios, ditos arranha-céus.

No recente trabalho de (Mota, et al., 2018) no qual realizou um estudo de caso sobre

a estrutura Diagrid do edifício St Mary Axe situado em Londres como representado na Figura 12, levou em consideração os tipos de ligações, materiais empregados e influência da angulação em 50° , 60° e 70° .

Após análise numérica realizada, teve como o melhor resultado a maior ângulo, a comparação entre os materiais foi entre o aço inoxidável e o tradicional aço de carbono, e constatou também que com o aço inoxidável apesar do preço mais elevado diminuiu a carga do peso próprio e conseqüentemente necessita de menos material na fundação e a longo prazo se mostra mais vantajoso quando considerou o aspecto de manutenção, ou seja, o sistema diagrid consegue ser ainda mais eficiente.

Figura 12 - Sistema Diagrid do Edifício 30 St Mary Axe – Londres



Fonte: (Mota, et al., 2018)

Apesar de suas conclusões se mostrar bastante positivas, ele cita também o fato de que como usou um modelo simplificado, as peças podem ter apresentado diferenças para as cargas reais atuantes no edifício modelo.

Estruturas *diagrid* além da beleza arquitetônica é tendência nos países desenvolvidos, devido a sua eficiência no comportamento estrutural, segundo Herrera (2018), a triangulação dos elementos na diagonal, faz com que o fluxo de cargas axiais sigam através de diferentes

rotas que evitam falhas globais, tenha mais estabilidade do que os pilares usados na vertical convencionais.

Para (Mota, et al., 2018) o sistema diagrid é como vigas em balanço vertical no solo e subdividida longitudinalmente em módulos de acordo com acordo com cada projeto. Afirma também que quando comparado aos sistemas ortogonais existentes, se torna mais eficaz na diminuição da solicitação do esforço cortante, pois transforma a o cisalhamento em forças axiais atuantes em elementos reticulados, enquanto nas estruturas tubulares convencionais fomam flexão nos pilares verticais.

Outra curiosidade sobre este edifício o contrário de um edifício alto retilíneo padrão, esta primeira torre de diagride destinada a expressar a estrutura teve como decisão final da análise de risco de incêndio, que exigiu um período de 90 minutos, uma protecção sobre o aço estrutural. Foi decidido revestir o aço como parte do processo de protecção contra incêndios. O Swiss Re foi importante no estabelecimento do atual sistema bastante normalizado, a utilização de nós em combinação com membros retos formam o diagrid. Esta disposição simplificou grandemente o fabrico e a montagem de estruturas diagridísticas que se conhece hoje.

Um dos processos de motagem do diagrid dessa estrutura foi subconjunto de diagride, os nós podem levar de um lugar até o local, para minimizar trabalho no local . O nó e dois membros foram levantados como uma unidade como demonstrado para manter a estrutura estável durante a montagem, representada na Figura 13.

Figura 13-Imagem do subconjunto nó Swiss Re.

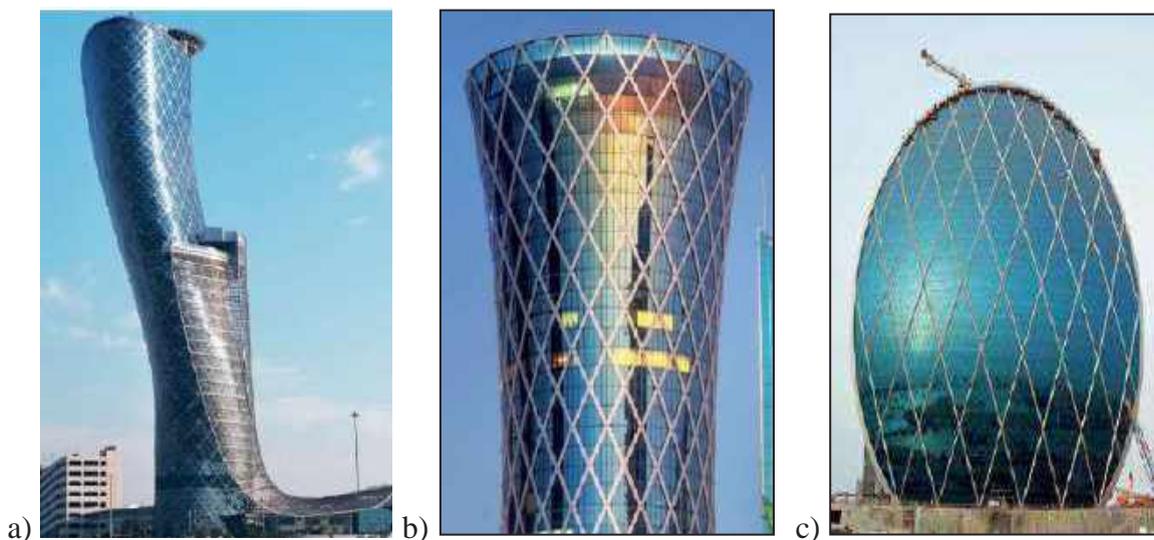


Fonte: Boake (2011).

Foram também necessárias tolerâncias apertadas, pois nem todo o aço foi fabricada na mesma loja e não se juntariam até serem montadas em site. Tipicamente, foi escolhida uma ligação aparafusada para facilitar a montagem rápida de as diagonais de entrada, enquanto os elementos internos dos nós eram soldados em loja. A equipa também precisava de conceber uma estratégia para acomodar a propagação horizontal natural da diagonais durante o processo de montagem, ao mesmo tempo que fazia uma ligação ao chão, Boake (2011, pag 41)

O diagrid no mundo já é bastante presente, entre os mais famosos mundo estão representados Figura 14- a)Capital Gate Tower em Abu Dhabi, b) Tornado Tower Doha, Qatara c) Aldar Head QUARTERS Abu Dhabi, UAE.

Figura 14-Estruturas em Diagrid mais famosas do mundo



Fonte: livro pag 156

O edifício Capital Gate Tower em Abu Dhabi, conforme o Boake (2011), complexidade de cada aspecto da concepção, fabrico e montagem deste projecto não teria sido possível sem a utilização da modelação digital. A capacidade para traduzir as complexas geometrias estabelecidas no modelo de desenho até os modelos de engenharia e fabrico foram explorados a um nível muito elevado neste projeto.

Os ficheiros exportados pela *Tekla Structures* facilitaram uma maior rapidez e precisão fabricação. Para a fabricação de membros diagrid, o ajuste das partes individuais dos nós foi feito com as coordenadas 3D retirado do modelo. A localização do centro de gravidade e o peso de cada montagem individual foi retirada dos relatórios gerados pelo software.

4 METODOLOGIA

O presente trabalho refere-se a um estudo de caso, este tipo de pesquisa envolve o estudo profundo de um ou poucos objetos buscando profundo detalhamento, no qual o objeto de pesquisa é o edifício CREMEC - Conselho Regional de Medicina do Estado do Ceará onde será analisado os elementos estruturais dentre eles lajes Steel deck, e o sistema Diagrid que compoem o sistema misto aço e concreto, bem como comparado as condicionantes das normas vigentes no período de construção. A metodologia será realizada de acordo com a Figura 15.

Figura-15-Esquemática da metodologia de trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme mostrado na Figura 15, a primeira etapa é composta pela apresentação do projeto, em seguida serão definidos os elementos estruturais, i) Elementos: Lajes *Steel Deck*, Viga e sistema Diagrid.

A partir da definição estrutural será apresentado suas características construtivas e como critérios para dimensionamento preliminar de um sistema diagrid, e as principais dificuldades assim como desafios a longo da vida útil do edifício, assim como apresentação das normas utilizadas vigentes no período, sendo estas: ABNT NBR 8800 (2008) “Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas aço e concreto de edifícios ” e LRFD (AISC, 1994) “Manual of steel construction, load and resistance factor design”, e norma Européias.

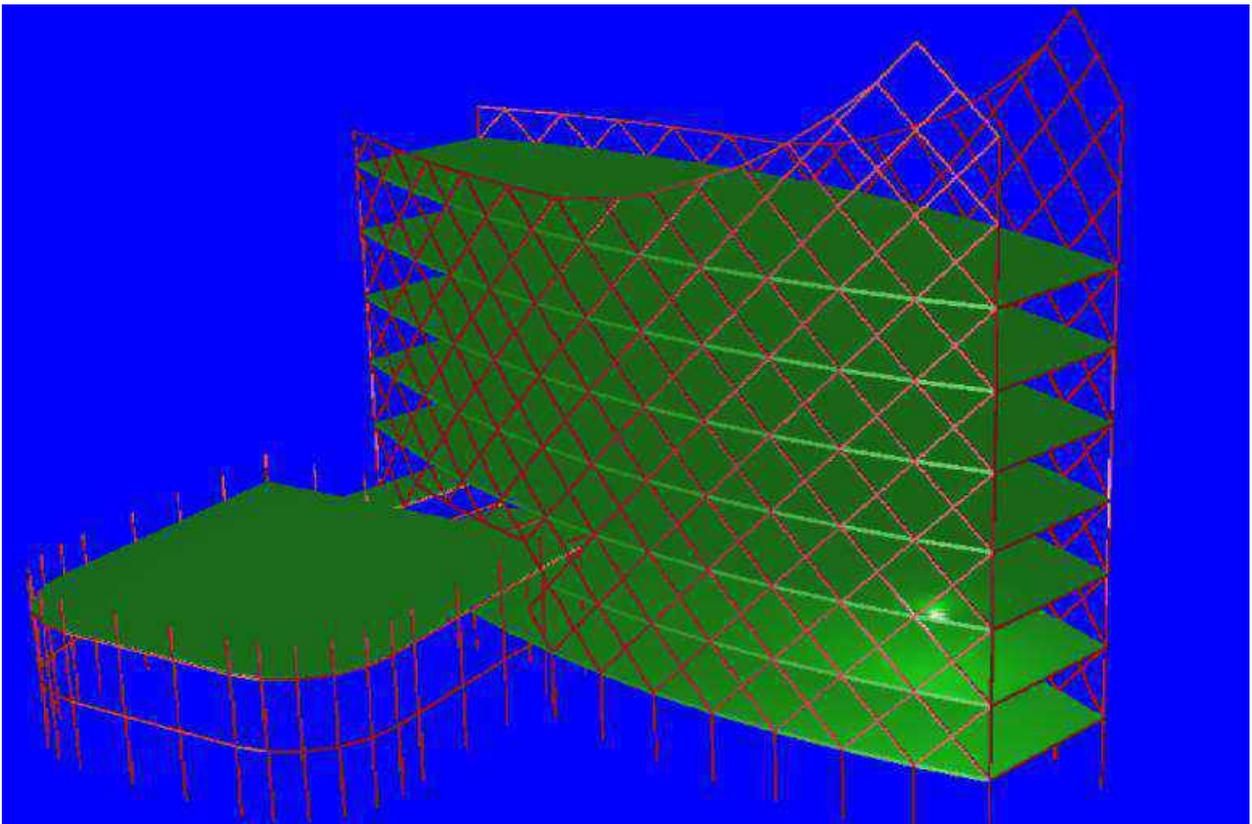
5 DESENVOLVIMENTO

6.1 APRESENTAÇÃO DO PROJETO

O edifício CREMEC- Conselho Regional de Medicina do Estado do Ceará está localizado na Av Antônio Sales no bairro Joaquim Távora, ele conta com 235,6 toneladas de aço em sua estrutura, de acordo com a revista Tramas de Aço. (2017, pag 49). A solução estrutural foi muito importante para o aproveitamento máximo da luz natural, agilidade na execução do edifício assim como o baixo custo de operação do mesmo.

A distribuição do projeto é composto por três volumes distintos: dois acima do nível do terreno como podem ser observados pelo o modelo estrutural na Figura 16 que é o prédio principal e o auditório. Existe um abaixo, que corresponde à garagem no subsolo. Em todos eles, as estruturas em aço estão presentes. “Na construção principal, temos um núcleo formado por um edifício central lenticular e dois blocos verticais em concreto nas extremidades, que abrigam os elevadores e as escadas. A fachada em aço se conecta ao prédio por meio de uma estrutura metálica reticulada, do tipo *diagrid*”,

Figura-16 Modelo estrutural



Fonte: (disponibilizada pelo autor)

O diagrid como apresentado nos capítulos anteriores estar visível nas fachadas do prédio, foi especificado não só por sua capacidade de conferir um visual leve e arrojado à fachada. Os “Perfis laminados tipo I com aço ASTM 572 GR50 foram adotados nas colunas, na estrutura reticulada da fachada e também nas vigas, que têm composição mista”.

O lado do edifício principal e com dois andares, destaca-se o prédio destinado ao auditório, com formato retangular e arestas arredondadas. A escolha de estruturas em aço para compor este edifício foi essencial em função do público esperado no local.

Para acomodar 200 pessoas e assegurar uma adequada visibilidade de palco, livre de interferências, um vão livre de 18 m foi projetado para a área que abriga a plateia. O auditório foi inteiramente estruturado em aço e recebeu laje steel deck na cobertura representado na Figura 17 “A leveza estrutural das vigas e pilares metálicos, associada à sua alta capacidade de carga, permitiu o alinhamento vertical do auditório com os andares do edifício principal, e, ainda, possibilitou a ocupação da cobertura do bloco como área de convivência para os visitantes do edifício”, As vigas principais contam com perfis de aço laminado W 610 x 110 e apresentam uma relação entre vão e a altura de $L/30$.

Figura-17 a) Construção da estrutura do auditório, b) vigas e pilares, e laje steel deck.



Fonte: (disponibilizada pelo autor)

No terceiro volume da edificação, que corresponde à área do subsolo, representada pela Figura 18, pilares em aço cumprem a função estrutural e sustentam as lajes em concreto. A descontinuidade entre os elementos verticais, acima e abaixo da laje do teto do subsolo, foi desenvolvida como uma estrutura de transição. “Os blocos que estão sobre a laje do teto do estacionamento têm linhas de grid curvas, definidas pela linha periférica da planta, que conflitam com a malha ortogonal do grid adotado na garagem”.

Figura-18 Duas vistas do interior do subsolo , garagem do edifício CREMEC

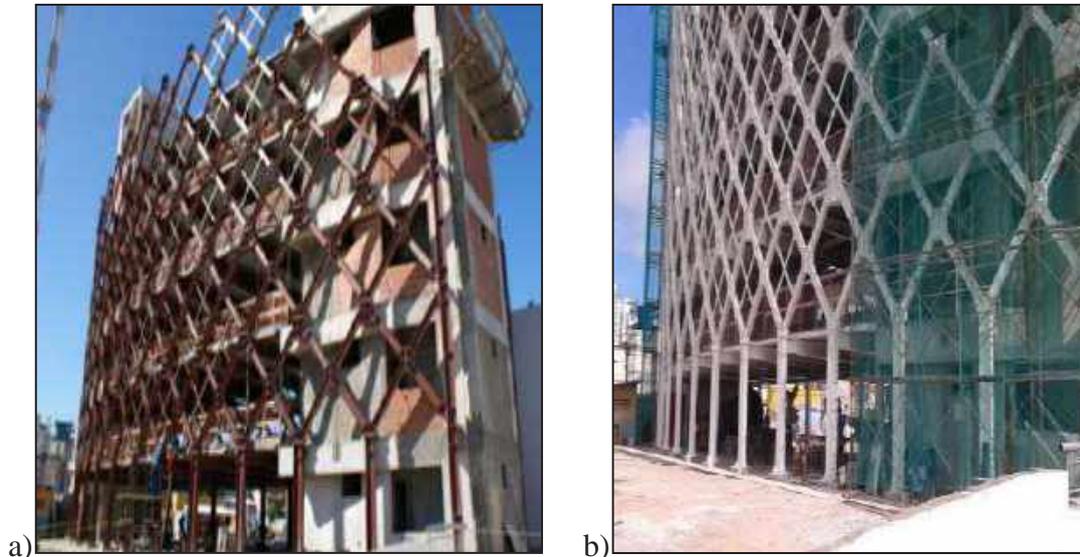


Fonte: (disponibilizada pelo autor)

A construção com a utilização de estrutura metálica permitiu que as perdas de materiais e o prazo no processo construtivo fossem reduzidos. O trabalho no canteiro foi limpo e mais eficiente em decorrência dos materiais pré-fabricados especificados, que foram apenas montados e soldados na obra, algumas etapas da construção do edifício estão representadas na Figura 19.

Figura 19-CREMEC no período de construção a) Estrutura com 40% da obra concluída

b) Imagem do canteiro com 60% da obra concluída



Fonte: <https://www.cremec.org.br/jornal/jornal105.pdf>

A construção da nova sede do Cremec rendeu ao MDB Arquitetura o Prêmio Abcem 2016, na categoria Edificações. Os critérios de julgamento dos vencedores foram concepção, aspecto estrutural, inovação, sustentabilidade, estética, adequação ao ambiente e valorização da utilização do aço na obra.

Quadro 1 – Dados do Edifício CREMEC

Projeto arquitetônico	MDB Arquitetura
Área construída	3.947,24 m ²
Dimensão em planta	38,45m x 14.00m
Aço empregado	chapas de ligação e perfis de alma cheia ASTM A572 GR50
Volume de aço	235,6 t
Projeto estrutural	Washington Luiz dos Santos Pinheiro e Audelis de Oliveira Marcelo Júnior
Fornecimento da estrutura de aço	Hispano Estruturas Metálicas Ltda

Fonte: elaborado pela autora

6.2 DEFINIÇÃO DO TIPO DE ESTRUTURA

A estrutura do edifício CREMEC assim como mencionado nos capítulos anteriores é composta por uma estrutura mista de aço e concreto. No quadro 2 contém informações levadas em consideração no projeto.

Quadro 2 – Carregamentos

O peso próprio das lajes do edifício	2,3 KN/M ² ,
pavimentação e revestimento	1,0 KN/M
Sobrecarga	2,KN/M ²
Carga do vento	30,00 ms conforme a NBR 6123.

Fonte: elaborado pela autora

6.2.1 Laje

As lajes do edifício CREMEC é predominante feitas de Steel deck como brevemente citado nos primeiros capítulos, de acordo com NBR 6118 conforme (ABNT, 2003)- “Projeto de Estruturas Concreto” é denominada como laje mista, e como a forma de aço incorporada, no anexo C da NBR 14.323 na (ABNT 1999) – “Dimensionamento de Estruturas de Aço de Edifícios em Situação de Incêndio”.

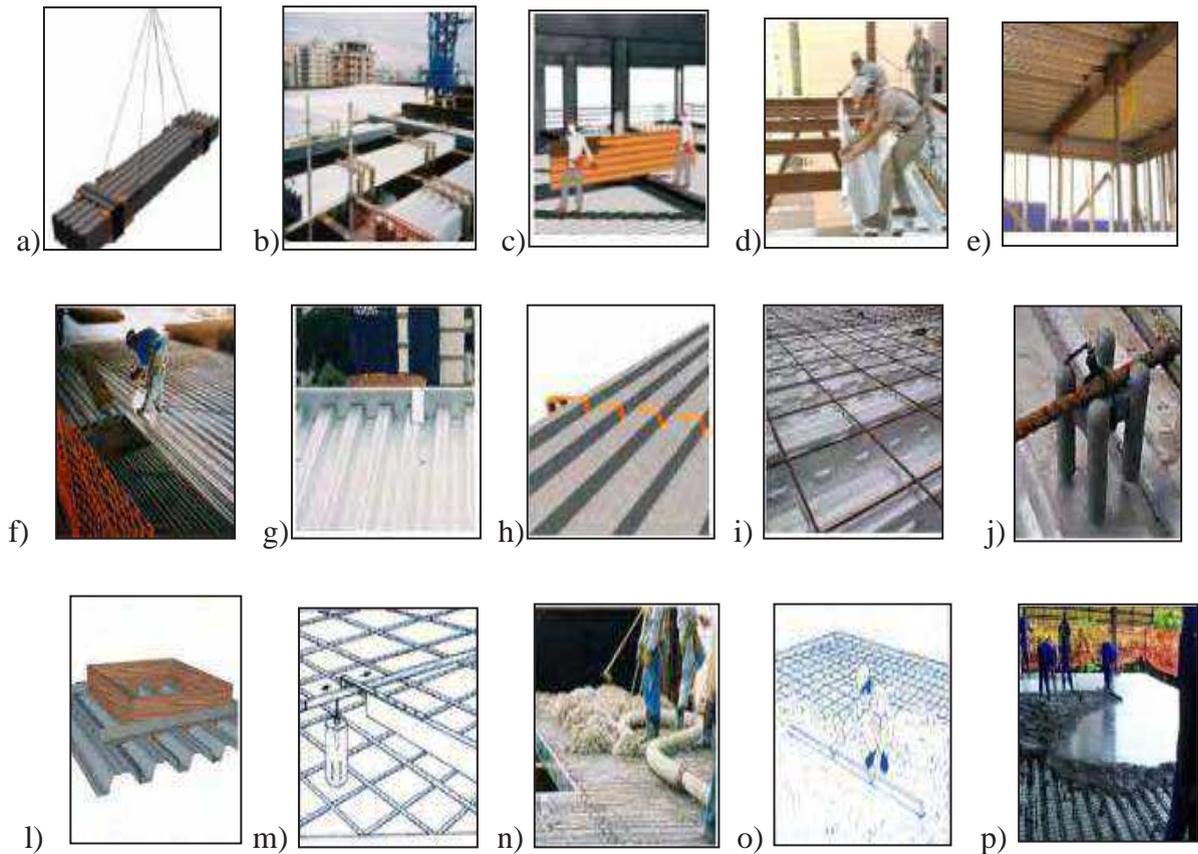
Seu dimensionamento e comportamento estrutural em sua composição existe uma chapa de aço perfilada que tem como função resistir seu peso próprio e o concreto antes do processo de cura, é necessário uma armadura superior afim de reduzir a tendência de fissuração do concreto.

Após o processo de pega do concreto o elemento passa atuar em conjunto, os momentos fletores positivos atuantes se dá através da chapa, a mesma possui nervuras que facilitam a o processo de adesão entre dois elementos. A boa ligação também se dá pelo mecanismo de conexão, a força axial é uma tensão longitudinal de cisalhamento que se dá na interface do aço e concreto. (Silva, 2010)

6.2.1.1 Processo de execução

Por ser uma laje pré fabricada deve ser ainda mais respeitado o processo de execução, uma logística de pessoas e transporte deve ser bem elaborada, para que a execução seja realizada de forma adequada. O processo de execução estar representado na Figura 21.

Figura 20 – Fluxo de produção resumido para lajes mistas steel deck., a) Içamento ;b)Distribuição; c)Espalhamento; d)Montagem; e)Escoramento; f)Fixação do Steel Dec; g)Fixação dos Areemates; h) Fxação da FitaAdesivanas Juntas; i) Malha Anti Fissuração j) Espaçadores; l) Proteção da Área de Recorte; m)Colocação de Maestras;n) Concretagem; o) Sarrafamento p) Epalhamento



Fonte: disponível em (PROJETO DE PRODUÇÃO PARA CONSTRUÇÃO METÁLICA APLICADO EM LAJES MISTAS STEEL DECK, 2010)

Aplicação do concreto por sua vez necessita também de um certo cuidado, aditivos a base de cloretos podem facilitar ainda mais a reação química de corrosão na chapa metálica. Outro fator bastante importante é a mudança de direção da laje, implica no sentido da concretagem, assim como o detalhamento da armadura. Escoramentos devem ser utilizados quando os espaçamentos entre as vigas são maiores que o permitido pelo fabricante da Laje steel deck, podendo também aderir novas armaduras como representados na Figura 20 afim de reforçar o comportamento mecânico da peça.

É muito importante a compatibilização entre os projetos elétricos, hidráulicos afim de reduzir possíveis interferências que afete o desempenho do laje. Assim como aberturas devem ser devidamente protegidas, para uma melhor retida da seção, estabelecida no projeto, alguns exemplos disso estão representados na Figura 21, a laje steel deck do aditório

do edifício CREMEC, expressa algumas aberturas na laje, mas é fácil perceber que não existe aberturas na alma da viga.

Figura 21– Laje Stel deck de Aditório do Edifício CREMEC



Fonte: disponibilizada pelo autor

7.2.2 Vigas mistas do Edifício CREMEC

A viga mista se dá pela aderência entre a interface do concreto e o aço , pois quando a viga mista está submetida a flexão, a mesma sofre tensões de cisalhamento longitudinais, e deve ser transferidas por meio dos conectores macânicos, no caso do edifício CREMEC, studs bolts ou conectores de pino com cabeça. Essa transferência deve ser total ou parcial, sendo esta sempre maior ou igual a 40%, a traferência desse cisalhamento, pois existe um deslizamento e nem toda tranferência acorrerá

Quanto aos tipos de vigas mistas podem ser classificadas:

- **Bi-Apoiada**- momentos negativos nulos.
- **Semi Contínua** (Anexo NBR 8800)- ligação mista flexível ou semi rígida.
- **Contínua** – continuidade total dos elementos.

A viga mista mais solicitada do edifício se localiza no auditório, ela vence um vão de 18m, estar representada na Figura 22, a mesma em fase de construção, levando em consideração o pré dimensionamento de uma viga de concreto armado por exemplo, teríamos que ter uma viga muito robusta. A combinação utilizada de aço e concreto permitiu um

maior espaço livre.

Figura 22: Viga do Auditório no período da construção



Fonte: disponibilizada pelo autor

6.2.3 Diagrid do edifício CREMEC

Características e a metodologia da concepção preliminar para o dimensionamento é baseada na rigidez das estruturas diagridísticas. A estrutura em diagride de cada altura de piso é concebida com diagonais colocadas em vários ângulos uniformes, bem como ângulos de mudança gradual ao longo da altura do edifício, a fim de determinar o ângulo uniforme ideal para cada estrutura com uma altura diferente.

No edifício CREMEC, a estrutura possui dois núcleos feitos de concreto armado nos quais se localizam os elevadores, mas os demais esforços da estrutura como cargas gravitacionais e cargas laterais no qual o prédio está sendo submetido é devidamente resistido pela força axial da diagonal no sistema de vigas inclinadas que formam essa triangulação periférica do edifício, bem mais eficiente em relação à flexão apresentada pelos pilares na vertical, (Khushbu Jani, 2013).

O sistema diagrid do edifício permitiu além do seu design moderno, eliminar pilares verticais em suas fachadas apresentando portanto menos obstrução à vista exterior, a Figura 23 representa o sistema diagrid presente na estrutura do prédio, pode notar que não existem

pilares nem no exterior nem no interior da edificação, apenas as vigas em balanço.

Figura 23 - Conselho Regional de Medicina do Estado do Ceará

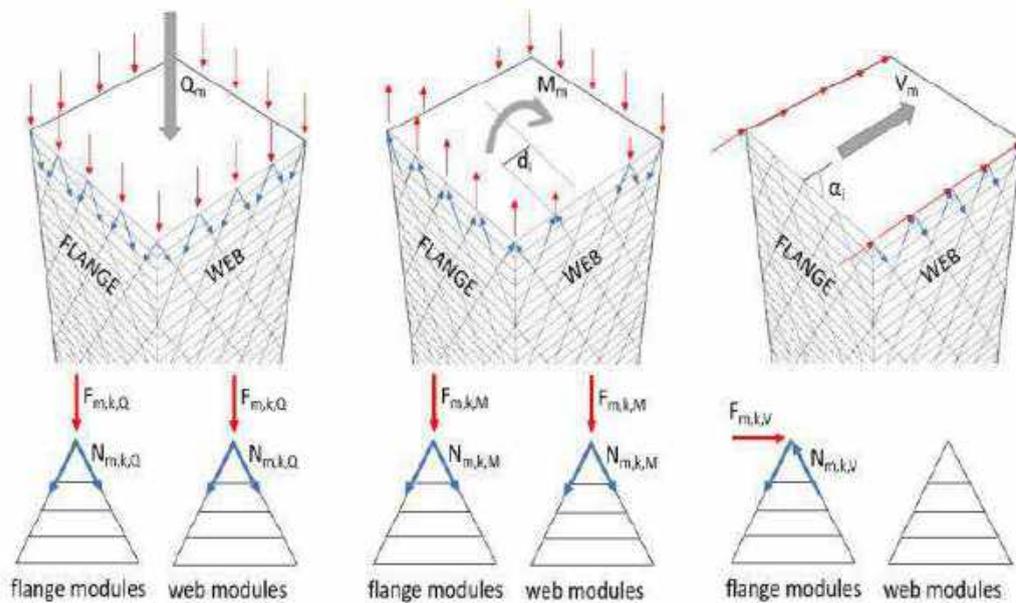


Fonte: Tramas de Aço (2017) Edifício CREMEC -

. Essa configuração é o resultado da eficiência do sistema de diagride, ou seja, redução dos elementos estruturais, que não só dispensa pilares em sua fachada como também pilares em seus interiores, algo no qual os arquitetos têm maior liberdade na hora de determinar os ambientes.

O conjunto também é eficiente quando analisamos o seu comportamento estrutural, que é derivada da sua triângulação. Essa geometria resiste tanto à gravidade como à carga lateral por tensões axiais dos seus membros. Isto simplifica a carga sobre o membro, onde cada membro atua simplesmente em tensão ou compressão representados na Figura 24. A interação de flexão e força axial em colunas não é tão bem entendido como o comportamento das vigas que só são carregadas axialmente. A deflexão de uma coluna com força axial e momento de flexão é calculado com menos precisão do que a uma viga que só é carregada axialmente, Leonard (2007).

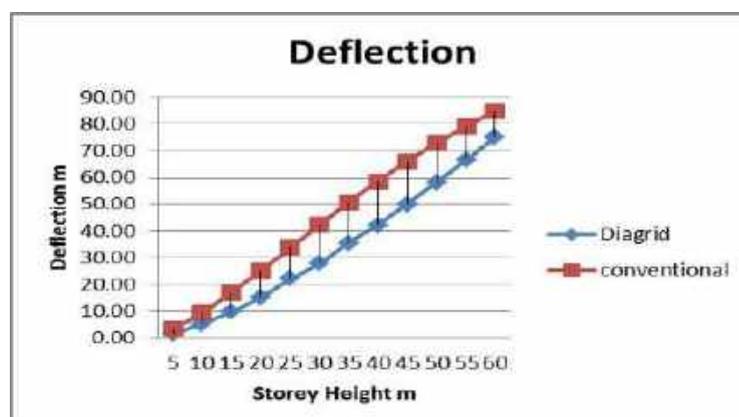
Figura-24 como atuam as forças no sistema Diagrid



Fonte: MELE (2019)

Um estudo recente de Raghunath. D. Deshpande (2015) realizou uma pesquisa no qual desenvolveu a comparação entre o sistema Diagrid, e a estrutura convencional de aço ortogonal, no qual seus resultados, obteve que a o sistema Diagrid teve maior área de abertura, menos deflexão, representados na Figura 20 e 28% a menos do uso de aço. Vale ressaltar que em seus calculos considerou as estruturas com altura e espaçamento de piso a piso semelhantes, e em sua memória de calculo fatores com coeficiente de risco e velocidade do vento. O angulos na diagonal utilizados foi de 72° 1-36 andares e de 56° de 36-60 andares.

Figura-25 Gráfico da deflexão de uma estrutura ortogonal de aço e o sistema Diagrid, a medida que altura do edificio vai aumentando.



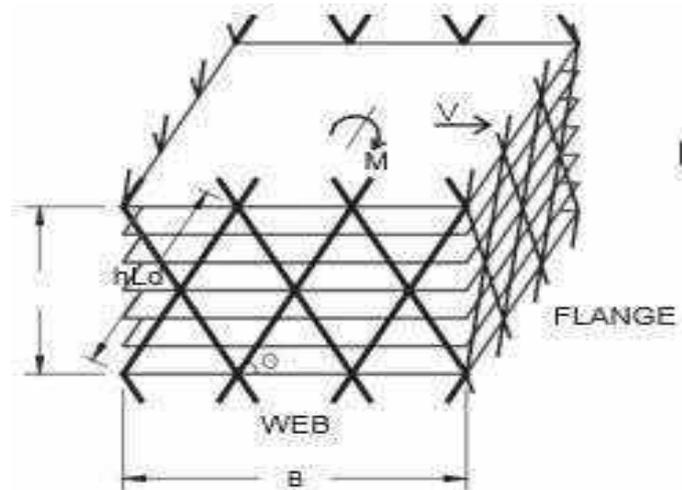
Fonte: Raghunath. D. Deshpande (2015)

6.2.3.1 Dimensionamento Preliminar

Para entendermos como foi dimensionada a estrutura do CREMEC, se faz necessário compreender não só como o degrid distribuí essas forças em cada um dos seus membros, mas também como se comporta o edifício analisando a estrutura como um todo. Como citado nos capítulos anteriores, essas vigas em balanço que estão subdivididas longitudinalmente em módulos de acordo com o padrão repetitivo de cada diagrid, devem atender a exigências de rigidez. Cada edifício tem um módulo ideal de deformação único, que vai variando de acordo com andares, um edifício alto por exemplo, a relação entre altura e largura e a combinação de deformação de flexão e cisalhamento. (MOONa, 2011).

Os módulos em forma de diamante são tipicamente vãos de 6 a 8 andares, ponta a ponta. As vigas de borda de chão enquadram-se no módulo para criar a triangulação. As principais intersecções estruturais ocorrem nos nós, embora as vigas de chão também possam ser enquadradas em os membros diagonais, representados na Figura 26.

Figura-26 modelo diagrid de 6 pavimentos.



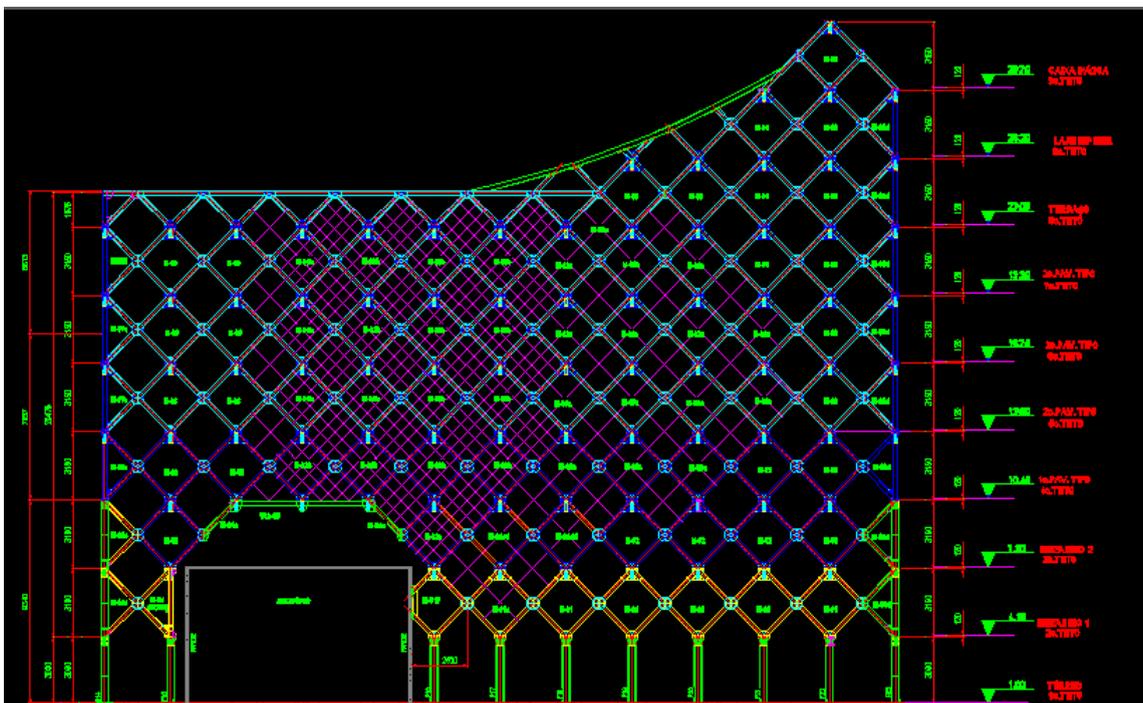
Fonte: MOONa (2011)

Os elementos na diagonal tem suas ligações feitas com pinos, resistem ao cisalhamento transversal e ao momento somente pelas forças axiais, para Como com qualquer desvio das técnicas de enquadramento padrão, a construtibilidade é uma questão importante em estruturas diagrid. Tanto a engenharia como a fabricação das juntas são mais complexas do que para uma estrutura ortogonal, e isto acarreta custos adicionais.

A precisão da geometria dos nós de ligação são críticos, por isso é vantajoso maximizar a fabricação da loja para reduzir as dificuldades associadas à montagem e ao trabalho no local. Alguns nós são muitas toneladas e é desejável ser capaz de levantar e virar os elementos com uma grua para dar acesso ao fabrico, soldadura e acabamento.

O engenheiro estrutural Audelis afirma que “a maior dificuldade do projeto foi a confecção das peças, pois cada uma apresentava alguma diferença na prática” pois além dos ângulos a fachada apresenta uma forma curvada, e eram parafuzadas e soldadas in loco .

Figura 27- Fachada nordeste do edifício CREMEC

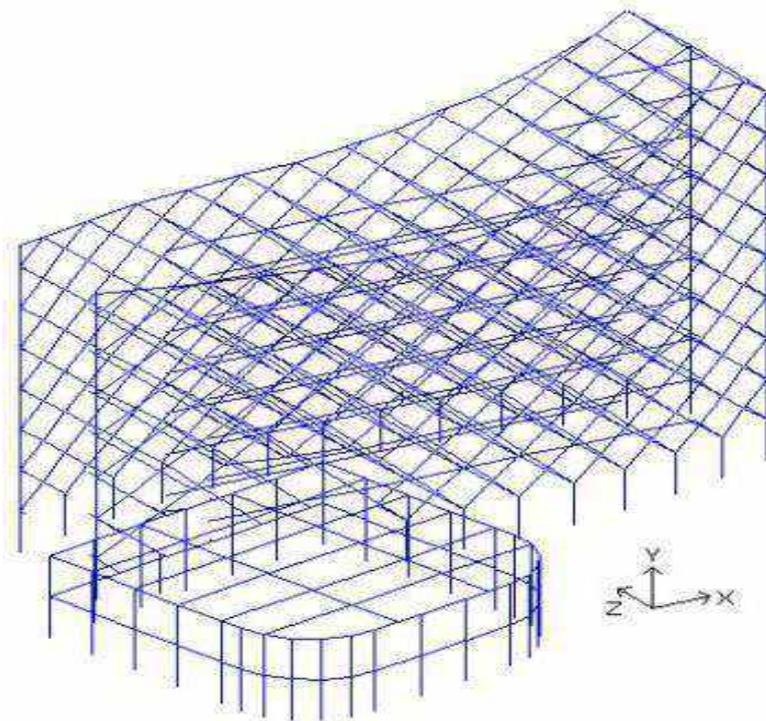


Fonte: disponibilizada pelo memorial HISPANO

Pensando no conceito quanto a rigidez da construção desses nós Amorim (2016), em seu estudo sobre o edifício Cremec falou sobre suas respectivas ligações, como também o roprimeto dos parafusos e constatou que ambos estão bem dimensionadas através do método dos elementos finitos

Quando se compara com outros tipos de estruturas metálicas Amorim (2016) afirma que com o modelo em Diagrid, 20% do aço pode ser reduzido, ressalta também sobre a importância da ligação metálica desse sistema do edifício CREMEC, com a utilização dos métodos dos elementos finitos, comparando os dados fornecidos pelo engenheiro estrutural, modelo representado na Figura , e o discreto avaliando as tensões e deformações.

Figura28 - Modelo desenvolvido no STRAP 2008 pelo calculista estrutural



Fonte: Amorim (2016)

Os resultados obtidos, notou-se que pelo método dos elementos finitos a estrutura resiste bem as tensões de compressão axialmente, aplicadas e de forma tridimensional e o discreto devido não levar em consideração a não linearidade do material é bem mais simples, no qual apresenta apenas duas dimensões X-Y. Porém nenhum dos casos o efeito global, a não linearidade geométrica foi considerada, algo de suma importância em estrutura Diagrid.

Outros nós do edifício CREMEC estão representados na Figura 29

Figura 29 - Modelo do nó utilizado para o estudo de Amorim (2016) CREMEC.



Fonte: Amorim (2016)

O conector é um meio de união que trabalha através de furos feitos nas chapas. Em estruturas usuais, encontram-se os seguintes tipos de conectares: rebites, parafusos comuns e parafusos de alta resistência. Em estruturas fabricadas a partir de 1950, as ligações rebitadas foram substituídas por ligações parafusadas ou soldadas. Os parafusos comuns são, comumente, forjados com aço-carbono de baixo teor de carbono, em geral segundo a especificação ASTM A307. Eles têm numa extremidade uma cabeça quadrada ou sextavada e na outra uma rosca com porca.

No Brasil, utiliza-se com mais frequência a rosca do tipo americano, embora o tipo padronizado seja a rosca métrica. Os parafusos comuns são instalados com aperto, que mobiliza atrito entre as chapas. Entretanto, o aperto nas chapas é muito variável, então são calculados de modo análogo ao dos rebites, através das tensões de apoio e de corte. Outros modelos de nós estão presentes no edifício CREMEC, estão representados na Figura 30 essas ligações foram parafusadas e ajustadas in loco.

Figura 30 - Modelo desenvolvido dos nós que formam o diagrid do CREMEC.



Fonte: (disponibilizada pelo o autor)

6.3 NORMAS TÉCNICAS PARA DIMENSIONAMENTO DO CREMEC.

Por ser responsável pela realização do projeto, o engenheiro é obrigado a validar tanto os dados de entrada quanto os resultados obtidos, usando todos os recursos à sua disposição, antigamente, a norma brasileira era considerada como uma diretriz a ser seguida, não obrigatória. Com a entrada em vigor do Código de Defesa do Consumidor (CDC), as normas passaram a valer como um “padrão mínimo” de referência, tornando-se obrigatórias, por isso

estar dentro da norma é imprescindível para projetistas estruturais

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

- NBR 8800 – Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios-
É baseada no método dos estados limites, fixa as condições exigíveis que devem ser obedecidas no projeto, na execução e na inspeção de estruturas de aço para edifícios, executadas com perfis laminados ou soldados não híbridos e com ligações feitas por parafusos ou soldas
- NBR 6120– Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações
Esta Norma fixa as condições exigíveis para determinação dos valores das cargas que devem ser consideradas no projeto de estrutura de edificações, qualquer que seja sua classe e destino, salvo os casos previstos em normas especiais.
- NBR 6123) – Forças Devido ao Ventos em Edificações
Norma brasileira que define parâmetros de cálculo para o projeto de equipamentos e estrutura que estão sujeitos as forças do vento. Uma das partes mais importantes na fase de projeto de qualquer equipamento é a consideração das cargas. A aplicação de cargas que não condizem com a realidade gera perdas muito grandes, sejam elas de dinheiro (pelo superdimensionamento) ou devido a falha do equipamento (devido a cargas não previstas em projeto), além disso o mal dimensionamento traz riscos diretamente na vida das pessoas que trabalham em regiões próximas ao equipamento.
- NBR 14432 – Exigências de Resistência ao Fogo de Elementos Construtivos de Edificações
Esta Norma estabelece as condições a serem atendidas pelos elementos estruturais e de compartimentação que integram os edifícios para que, em situação de incêndio, seja evitado o colapso estrutural. Para os elementos de compartimentação, devem ser atendidos requisitos de estanqueidade e isolamento por um tempo suficiente para possibilitar: fuga dos ocupantes da edificação em condições de segurança; segurança das operações de combat e ao incêndio; minimização de danos a edificações

adjacentes e à infra-estrutura pública.

- NBR 6118- Projeto de estruturas de concreto – Procedimento
Essa Norma fixa os requisitos básicos exigíveis para projeto de estruturas de concreto simples, armado e protendido, excluídas aquelas em que se empregam concreto leve, pesado ou outros especiais
- NBR 6122/1994 Projeto e execução de fundações
Esta Norma fixa as condições básicas a serem observadas no projeto e execução de fundações de edifícios, pontes e demais estrutura

Parafusos, pinos e barras rosqueadas

Esta norma é baseada no método dos estados limites, fixa as condições exigíveis que devem ser obedecidas no projeto, na execução e na inspeção de estruturas de aço para edifícios, executadas com perfis laminados ou soldados não híbridos e com ligações feitas por parafusos ou soldas.

- ASTM A307 Conectores de aço de baixo teor de carbono rosqueados externa e internamente.
- ASTM A325 Parafusos de alta resistência para ligações em estruturas de aço, incluindo porcas adequadas e arruelas planas endurecidas
- ASTM A490 Parafusos de alta resistência de aço-liga temperado e revenido, para ligações em estruturas de aço

6.4 PROGRAMAS UTILIZADOS PARA ELABORAÇÃO DO PROJETO ESTRUTURAL DO CREMEC

1. TQS

O TQS é um software destinado à elaboração de projetos estruturais de edificações de concreto armado. É composto por um conjunto de sistemas que, de forma totalmente integrada e automatizada, fornecem recursos necessários para a concepção estrutural, análise estrutural, dimensionamento e detalhamento de armaduras, geração de desenhos

até a emissão de plantas.

O TQS torna a elaboração de projetos estruturais um processo altamente produtivo e tem impacto direto na qualidade dos mesmos. Permite o pleno atendimento aos requisitos das normas técnicas ABNT e a compatibilização do modelo estrutural dentro de um processo BIM.

2. STRAPP 2008

Um programa de análise estrutural por elementos finitos (barras, parede, planos e sólidos), prático e intuitivo, que dispõe de avançados recursos para a elaboração de diversos tipos de modelos estruturais totalmente gráfico e possui uma grande variedade de recursos que facilitam e agilizam a modelagem e análise de estruturas simples ou complexas. O programa dispõe de uma biblioteca de estruturas típicas, que com apenas alguns parâmetros, permitem gerar modelos estruturais tais como: pórticos planos, galpões, treliças (Howe, Pratt, Espaciais e outras), Vierendeel, grelhas, reservatórios e caixas d'água.

O usuário pode ainda definir: cabos, efeito de protensão em barras, variação de temperatura em barras e elementos finitos, molas (por área, em linha, unidirecionais), geração de superfícies abertas ou fechadas com equações paramétricas (cilindros, elipsóides, hipérbolóides), liberação de esforços em barras (momentos, forças cortantes e axiais), ligações semi-rígidas, dicisão da tela em até quatro janelas, cópia de partes do modelo e de cargas (por translação, rotação ou espelhada), incorporação de submodelos, deformações e modos de vibração com animação, etc

3. AUTOCAD

O software para projetos em 2D e 3D, inclui conjuntos de ferramentas, auxilia nos projetos de engenharia e arquitetura, além dos desenhos técnicos, o software vem disponibilizando, em suas versões mais recentes, vários recursos para visualização em diversos formatos. É amplamente utilizado em arquitetura, design de interiores, engenharia civil, engenharia química, engenharia mecânica, engenharia geográfica, engenharia elétrica e em vários outros ramos da indústria.

6.5 CORROSÃO

Existe uma ação natural do ferro contido no aço voltar ao primitivo de minério, ou seja, a reação química (O_2 , H_2O) formando óxido de ferro. Esse processo começa na superfície do metal e acaba levando à sua total degradação caso não sejam tomadas medidas preventivas.

No caso da corrosão atmosférica, o eletrólito é a umidade do ar, com sua condutividade aumentada pela presença da poluição industrial ou presença de águas marítimas, (Campello, 2012) fala que áreas cobertas por detritos ou água, pequenas alterações na composição do metal ou variações de temperatura podem facilitar essa ação química.

Os ambientes altamente corrosivos, as diagrides exteriores também podem exigir manutenção devido à oxidação e à intempérie do acabamento. No entanto, têm sido utilizadas diagrides fora do envelope em vários casos para satisfazer diferentes requisitos programáticos. Isto é mais frequente em climas quentes ou temperados onde as questões térmicas são menos frequentes, Boake (2011)

Talvez a estrutura exterior mais notável até à data seja a da One Shelley Street em Sydney, Austrália. O clima temperado permite que a diagride exista fora da cortina fachada mural, maximizando efectivamente a área interior representada na Figura 31.

Figura 31- Fachada nordeste do edifício One Shelley Street in Sydney, Australia



Fonte: Disponível em <https://www.australiandesignreview.com/architecture/one-shelley-street/>

Embora os projectistas estivessem originalmente a planear construir os membros a partir de aço exposto arquitectonicamente, foi decidido para razões económicas para, em vez disso, utilizar secções convencionais de colunas universais e revesti-las. Como a resistência à corrosão é uma grande preocupação na Austrália, esta foi provavelmente uma decisão prudente (fonte)

6.5.1 Cuidados Contra a Corrosão no Edifício CREMEC

Com base nisso as estruturas metálicas devem possuir uma protecção atmosférica, mas devem ser reforçadas com algum outro tipo de protecção dependendo do ambiente. Fortaleza é uma cidade litorânea, uma extensão de 34 quilómetros de costa marítima, com um total de 15 praias, todas estas, produtoras de íons cloro que ficam disseminados no ar atmosférico.

Recentemente a universidade federal do Ceará colheram-se pontos para coleta de dados conforme os parâmetros para concluir a agressividade do ar, o CREMEC está numa região considerada forte e algumas peças foram apresentadas essas patologias, como representado na Figura 32.

Figura 32: Efeitos da maresia no edifício Cremec



Fonte: Disponibilizada pelo autor

De acordo com a engenharia calculista foi solicitada uma proteção catódica, essa técnica é uma técnica usada para controlar a corrosão de uma superfície metálica, tornando-a o cátodo de uma célula eletroquímica. Um método simples de proteção conecta o metal a ser protegido a um "metal de sacrifício" mais facilmente corrosível para atuar como o ânodo. O metal de sacrifício então é corroído no lugar do metal a ser protegido.

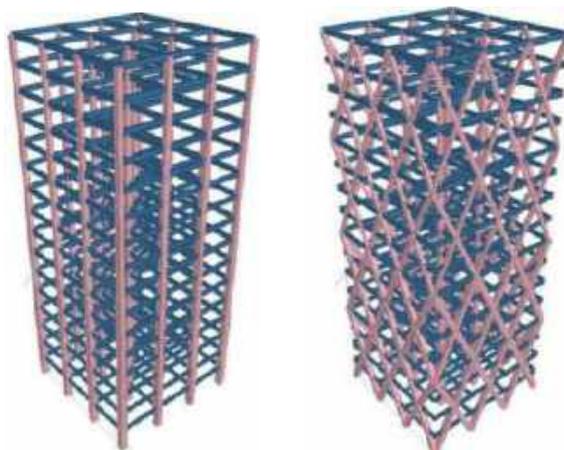
Os sistemas de proteção catódica protegem uma ampla gama de estruturas metálicas em vários ambientes. As aplicações comuns são: tubulações de aço para água ou combustível e tanques de aço, como aquecedores de água domésticos; pilares de cais de aço; cascos de navios e barcos; plataformas de petróleo offshore e camisas metálicas de poços de petróleo terrestre; fundações eólicas offshore e barras de reforço metálico em edifícios e estruturas de concreto. Outra aplicação comum é em aço galvanizado, em que um revestimento sacrificial de zinco em peças de aço protege-os da ferrugem. A proteção catódica pode, em alguns casos, evitar a fadiga de corrosão por esforço.

O edifício CREMEC foi implementada como medida de proteção uma tinta antioxidante e retardante do chama. Baseado nisso mesmo com a proteção necessária, é de suma importância a constante manutenção.

6 RESULTADOS

A Figura 33 é possível entender a diferença do modelo estrutural diagrid e ortogonal convencional.

Figura 33:projeto estrutural diagrid x convencional ortogonal



Fonte:<https://www.semanticscholar.org/paper/Literature-Review-on-the-Seismic-Performance-of-of-Sharma-Bhandari/3337d1621db58d08a05bf59f141a4ec7470f25f5>

BENEFÍCIOS DO SISTEMA DIAGRID X O SISTEMA ESTRUTURAL CONVENCIONAL

1. As estruturas Diagrid elimina a necessidade de pilares tanto no interno quanto no externo do edifício, portanto são possíveis plantas de piso livres e claras, únicas.
2. As fachadas de vidro garantem um maior aproveitamento da luz natural.
3. O uso de Diagrids de acordo com o trabalho através dos estudos por profissionais da área resulta em aproximadamente 1/5 de redução em aço .
4. As técnicas de construção envolvidas são simples, exigem menos tempo de execução, mas precisam ser perfeitas.
5. O sistema diagrid aproveita todo material estrutural, *diagrid* tem melhor capacidade de redistribuir a carga, com caminhos de carga são contínuos e ininterruptos.

LIMITAÇÕES DO SISTEMA DIAGRID

1. Falta de mão de obra qualificada.
2. O diagrid é muito presente na fachada então é importante a finalidade de alguns projetos.
3. Assim como o diamante, modularidade angulos e nós que compoem o diagrid é necessário projetar as janelas e devem ser regular de piso a piso.
- 4 O cálculo para o dimensionamento do diagrid deve ser validado para que seja leve.

7 CONCLUSÃO

O trabalho mostrou as principais características dos elementos estruturais mistos aço e concreto presentes no edifício CREMEC, dentre eles fatos importantes sobre o seu dimensionamento, trazendo assim um maior entendimento dessa tecnologia, e sobre seu emprego na construção civil. As dificuldades tanto na elaboração do projeto quanto na execução nos dar uma breve parecer de como devemos pensar na logística, ainda na fase de planejamento como será realizada a montagem dessas peças, com o auxílio da ferramenta Bim tanto para validar os cálculos do projeto quanto prever interferências que possam dificultar na fase da construção. É necessário o cuidado, de forma a reduzir problemas como patologias causados ainda no período de construção.

O sistema Diagrid adotado no edifício CREMEC, sem dúvidas apresenta além do design futurista, a eficiência do sistema estrutural do prédio. A pesquisa sobre o seu desempenho estrutural nos leva a pensar na construtibilidade desse sistema aderido de formas ainda mais complexas e de como esse sistema influencia sobre impactos ambientais causados pela construção civil atualmente.

A construtibilidade é uma questão importante em estruturas de diagride porque o sistema é relativamente novo e os nós ou as juntas de diagride são mais complicados e tendem a ser mais caros do que os das estruturas ortogonais convencionais, isso ajudar a explicar o porque esse tipo de estrutura não é comum no Brasil. O diagrid é uma nova linguagem estrutural, esse conceito deixa ainda mais claro a relação entre o engenheiro e arquiteto, ambos devem possuir um conhecimento para tamanho desafio, como o empreendimento CREMEC.

A forma de projetar vai além de saber operar o softwares, pois durante o estudo notou-se que o sistema Diagrid não se trata de regras e sim aplicação de um conceito, de acordo com a normas técnicas . Com base nisso a estrutura do edifício Cremec se apresenta estável, visto que além dos dois núcleos localizados nas laterais, o sistema Diagrid atende as solicitações estabelecidas no restante da estrutura.

Para uma análise comparativa e verificação da validação do projeto a utilização de softwares ferramenta com com o BIM se faz necessário para uma melhor detalhamento e conclusão sobre o comportamento estrutural.

8 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

1. Pesquisa sobre comportamento da estrutura em situação de incêndio.
2. Importância da manutenção afim de reduzir patologias inerentes a estrutura mista aço e concreto presente no edifício CREMEC.
3. Estudo da viabilidade econômica da estrutura Diagrid do edifício CREMEC, realizado com o aço inoxidável.
4. Impacto no dimensionamento do elemento de fundação pela estrutura Diagrid do edifício Cremec.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, A. B. (2008). *Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios*.
- ABNT, A. B. (2013). *Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio*.
- AISC, A. I. (1994). *Manual of steel construction, load and resistance factor design*. Chicago.
- Alva, G. (2000). *SOBRE O PROJETO DE EDIFÍCIOS EM ESTRUTURA MISTA AÇO-CONCRETO*. Dissertação de Mestrado, (Dissertação em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Alva, G. M., & Malite, M. (2005). COMPORTAMENTO ESTRUTURAL E DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS MISTOS AÇO-CONCRETO. *Cadernos de Engenharia de Estruturas São Carlos*, 7, 51-84.
- Amorim, B. R. (2016). ANÁLISE ESTRUTURAL DE UMA LIGAÇÃO METÁLICA DO DIAGRID DE UMA ESTRUTURA MISTA. *Sobral*.
- Campos, A. d. (2006). ESTUDO SOBRE OS CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DE PILARES MISTOS DE AÇO E CONCRETO .
- Corrêa, M. R. (1991). Aperfeiçoamentos de Modelos Usualmente Empregados no Projeto de Sistemas Estruturais de Edifícios. *Tese (Doutorado) -Escola de Engenharia São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo*.
- FABRIZZI, M. D. (2007). *Contribuição para o projeto e dimensionamento de edifícios de múltiplos andares com elementos estruturais mistos aço - concreto*. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia , Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Figueiredo, L. M. (1998). *PROJETO E CONSTRUÇÃO DE PILARES MISTOS AÇO-CONCRETO*. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, São Carlos.
- Herrera, B. J. (2018). “ANÁLISIS COMPARATIVO DE EDIFICIOS CON SISTEMAS ESTRUCTURALES DE CONCRETO ARMADO: DUALES VERSUS DIAGRID”. TESE DE MESTRADO, UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA, TACNA - PERÚ.
- Lemes, I. J. (2018). ESTUDO NUMÉRICO AVANÇADO DE ESTRUTURAS DE AÇO,

CONCRETO E MISTAS. TESE (Doutorado) Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto-MG.

Tramas de Aço. (Junho de 2017). *Arquitetura & Aço* (49), 52.

ABNT, NBR 6118. 2003. Projeto de estruturas de concreto- Procedimento. 2003, p. 221.

Boake, Terri Meyer. 2011. *DIAGRIDS, THE NEW STABILITY SYSTEM: COMBINING ARCHITECTURE WITH ENGINEERING*. Canada : s.n., 2011.

Campello, Eduardo de Morais Barreto. 2012. *DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE AÇO*. São Paulo : s.n., 2012. p. 150.

khushbu Jani, Paresh V Patel. 2013. Analysis and Design of Diagrid Structural System for High Rise Steel Buildings. *ELSEVIER*. 2013, Vol. 51, pp. 92 - 100.

Leonard, Johan. 2007. Investigation of Shear Lag Effect in High-rise Buildings. Illinois Institute of Technology. Massachusetts : s.n., 2007. p. 62, Master of Engineering in Civil and Environmental Engineering.

MELE, ELENA. 2019. The Effect of Slenderness on the Design of Diagrid Structures. [ed.] *International Journal of High-Rise Buildings*. June de 2019, Vol. 8, pp. 83-94.

MOONa, KYOUNG SUN. 2011. Diagrid Structures for Complex-Shaped Tall Buildings. *The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*. 2011, pp. 1343-1350.

Mota, Daniel Wills Gonçalves, Rodrigues, Monique Cordeiro e Lima, Luciano Rodrigues Ornelas de. 2018. *ANÁLISE NUMÉRICA DE ESTRUTURAS DIAGRID EM AÇO CARBONO E AÇO INOXIDÁVEL POR MEIO DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS*. Doutor em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil : s.n., 2018. p. 29.

Pfeil, Walter Pfeil. Michelle. 2008. *Estruturas de Aço: dimensionamento prático*. 8°. Rio de Janeiro : LTC -Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2008. p. 627.

PROJETO DE PRODUÇÃO PARA CONSTRUÇÃO METÁLICA APLICADO EM LAJES MISTAS STEEL DECK. Silva, Tecn Raphael da. 2010. São Paulo-Brasil : *CONSTRUMETAL – CONGRESSO LATINO-AMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA*, 2010. p. 13.

Raghunath .D. Deshpande, Sadanand M. Patil e Subramanya Ratan. 2015. *ANALYSIS AND COMPARISON OF DIAGRID AND CONVENTIONAL*. 2015, Vol. 2, 3, pp. 2395-0056 e 2395-0075.

disponível em :<https://www.semanticscholar.org/paper/Literature-Review-on-the-Seismic-Performance-of-o-Sharma-Bhandari/3337d1621db58d08a05bf59f141a4ec7470f25f5>

disponível em: (PROJETO DE PRODUÇÃO PARA CONSTRUÇÃO METÁLICA APLICADO EM LAJES MISTAS STEEL DECK, 2010)

disponível em <https://pilaresedificios.files.wordpress.com/2011/10/contraventamento-de-estruturas.pdf>

disponível em: http://www.ibracon.org.br/eventos/56cbc/Djaniro_Alvaro.pdf