



Centro Universitário de Brasília - UniCEUB
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas - FATECS
Departamento de Engenharia Civil

João Lucas Rufino de Lima

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ESTRUTURA METÁLICA E DE CONCRETO
ARMADO EM UMA EDIFICAÇÃO: ESTUDO DE CASO**

Brasília
2017

João Lucas Rufino de Lima

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ESTRUTURA METÁLICA E DE CONCRETO
ARMADO EM UMA EDIFICAÇÃO: ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada como requisito para conclusão do curso de Engenharia Civil pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do Centro Universitário de Brasília - UniCEUB

Orientador: Eng. Civil Jocinez Nogueira Lima, M. Sc.

**Brasília
2017**

João Lucas Rufino de Lima

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ESTRUTURA METÁLICA E DE CONCRETO ARMADO EM UMA EDIFICAÇÃO: ESTUDO DE CASO/ João Lucas Rufino de Lima. – Brasília, 2017-73 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Eng. Civil Jocinez Nogueira Lima, M. Sc.

– **Centro Universitário de Brasília - UniCEUB**
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas - FATECS
Departamento de Engenharia Civil
, 2017.

IMPORTANTE: ESSE É APENAS UM TEXTO DE EXEMPLO DE FICHA CATALOGRÁFICA. VOCÊ DEVERÁ SOLICITAR UMA FICHA CATALOGRÁFICA PARA SEU TRABALHO NA BIBLIOTECA DA SUA INSTITUIÇÃO (OU DEPARTAMENTO).

JOÃO LUCAS RUFINO DE LIMA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ESTRUTURA METÁLICA E DE
CONCRETO EM UMA EDIFICAÇÃO: ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada como requisito para conclusão do curso de Engenharia Civil pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do Centro Universitário de Brasília – UniCEUB.

Orientador: Eng. Civil Jocinez Nogueira Lima, M. Sc.

Brasília, 07 de julho de 2017.

Banca Examinadora

Eng. Civil: Jocinez Nogueira Lima, M. Sc.
Orientador

Eng. Civil: Jorge Antonio da Cunha
Oliveira, D. Sc.
Examinador Interno

Eng. Civil: Gabriel Giacometti Salomão
Examinador Externo

Este trabalho é dedicado aos meus familiares, em especial ao meus pais, pela compreensão e apoio durante esta etapa.

Agradecimentos

Agradeço a meus pais, Mércia e Fábio, e a toda minha família que me apoiaram para suportar todas as dificuldades e desafios nesta carreira acadêmica.

Ao professor Jocinez Nogueira Lima, como orientador deste projeto, pelo apoio e pela indispensável orientação que me deu para a realização deste trabalho.

Agradeço, finalmente, aos amigos que puderam contribuir de forma valiosa a confecção do mesmo.

Resumo

O presente trabalho tem o objetivo de verificar o custo do mercado atual para a viabilidade de uma construção projetada em estrutura metálica e em concreto armado através da elaboração do dimensionamento de uma residência real localizada em Sobradinho, na cidade de Brasília - DF. A estrutura metálica foi dimensionada por meio do software Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018, considerando sugestões da NBR 8800 e o dimensionamento da estrutura de concreto armado foi feito pelo software Eberick V8, o qual gera um resumo de materiais que possibilita determinar os custos da estrutura. Após a conclusão dos projetos, foi feito um comparativo de custo para as respectivas execuções de estrutura com base nos preços atuais do mercado e de tabelas de insumos governamentais, mostrando que a estrutura em concreto armado é 52,05% mais barata que a metálica.

Palavras-chave: Software. Dimensionamento. Concreto armado. Estrutura metálica. Custo.

Abstract

The present work has the objective of verifying the current market cost for the feasibility of a construction project in metallic structure and in reinforced concrete through the elaboration of the design of real a residence located in Sobradinho, in the city of Brasília - DF, Brazil. The metal structure was design by the software of Autodesk Robot Professional Structural Analysis 2018, considering suggestions of the NBR 8800 and the dimensioning of the reinforced concrete structure, as well as the software Eberick V8, which generates a material summary that makes it possible to determine the costs of the structure. After completion of the projects, a cost comparison was made for the respective structure executions based on current market prices and government input tables, showing that the reinforced concrete structure is 52,05% cheaper than the metallic one.

Keywords: Software. Dimensioning. Reinforced concrete. Metal structure. Cost.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Diagrama tensão-deformação do aço	23
Figura 2 – Diagrama tensão-deformação do concreto em compressão simples	27
Figura 3 – Perfis laminados padrão americano	29
Figura 4 – Perfis soldados	30
Figura 5 – Perfis formados a frio	30
Figura 6 – Tipos de soldas	31
Figura 7 – Conexão parafuso	32
Figura 8 – Solicitações	35
Figura 9 – Combinações normais	36
Figura 10 – Combinações de construção	36
Figura 11 – Combinações especiais	36
Figura 12 – Combinações excepcionais	37
Figura 13 – Combinações permanentes	37
Figura 14 – Combinações frequentes	37
Figura 15 – Combinações raras	38
Figura 16 – Janela de preferências de trabalho	43
Figura 17 – Estrutura metálica da churrasqueira	44
Figura 18 – Combinação de cargas	45
Figura 19 – Diagrama de esforço cortante	46
Figura 20 – Diagrama de momento fletor	46
Figura 21 – Base engastada	47
Figura 22 – Conexão viga pilar	47
Figura 23 – Detalhamento das conexões da viga coluna	48
Figura 24 – Pórtico 3D da casa em estrutura metálica	49
Figura 25 – Térreo da estrutura de concreto armado da churrasqueira	51
Figura 26 – Cobertura da estrutura de concreto armado da churrasqueira	52
Figura 27 – Pórtico 3D da churrasqueira em concreto armado	54
Figura 28 – Pórtico 3D da casa em concreto armado	55
Figura 29 – Planta baixa da churrasqueira	62
Figura 30 – Planta baixa do pavimento térreo da casa	63
Figura 31 – Planta baixa do pavimento superior da casa	64
Figura 32 – Corte AA	65
Figura 33 – Corte BB	66
Figura 34 – Página um do relatório da casa metálica	68
Figura 35 – Térreo da casa em concreto armado	69
Figura 36 – Pavimento superior da casa em concreto armado	70

Figura 37 – Cobertura da casa em concreto armado 72

Lista de quadros

Quadro 1 – Valores dos coeficientes de ponderação	39
Quadro 2 – Coeficientes de ponderação para combinações normais	39
Quadro 3 – Fatores de combinação para ações variáveis	40
Quadro 4 – Orçamento das estruturas em concreto armado	56
Quadro 5 – Orçamento das estruturas metálicas	57

Lista de tabelas

Tabela 1 – Algumas Normas Brasileiras para dimensionamento estrutural em aço e concreto armado	18
Tabela 2 – Classes de resistência do concreto	26
Tabela 3 – Características das barras e fios	28

Sumário

1	Introdução	15
2	Objetivos	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3	Revisão bibliográfica	17
3.1	Aço	18
3.1.1	Montagem e cuidado do aço	19
3.1.2	Propriedades gerais do aço	22
3.1.3	Propriedades mecânicas do aço	22
3.1.3.1	Limite de escoamento e Limite de resistência - ($f_y - f_u$)	22
3.1.3.2	Elasticidade	23
3.1.3.3	Ductilidade	24
3.1.3.4	Tenacidade	24
3.1.4	Elementos de liga do aço	24
3.1.5	Tipos de aço estrutural	24
3.1.5.1	Aço-carbono	24
3.1.5.2	Aço de baixa liga sem tratamento térmico	25
3.1.5.3	Aço de baixa liga com tratamento térmico	25
3.2	Concreto	25
3.2.1	Concreto em compressão simples	25
3.2.2	Concreto em tração simples	26
3.2.3	Módulo de deformação longitudinal do concreto	26
3.2.4	Propriedades do concreto ao longo do tempo	27
3.2.5	Retração do concreto	27
3.2.6	Aço para concreto armado	28
3.3	Perfis metálicos	29
3.4	Ligações metálicas	30
3.4.1	Ligações soldadas	31
3.4.2	Ligação parafusada	31
3.5	Sistemas estruturais	32
3.5.1	Pilares	32
3.5.1.1	Flambagem	32
3.5.2	Vigas	33
3.5.3	Conceito de estabilidade	33

3.6	Estados limites	33
3.6.1	Estado limite último (ELU)	34
3.6.2	Estado limite de serviço (ELS)	34
3.6.3	Método dos estados limites	35
3.7	Combinações de ações	36
3.8	Combinações de serviço	37
3.9	Forças devido ao vento	40
4	Apresentação do edifício residencial	41
5	Metodologia de trabalho	42
5.1	Projeto em aço	42
5.2	Configuração do Robot	43
5.3	Lançamento da estrutura metálica da churrasqueira	43
5.3.1	Combinações de cargas e apoios da estrutura	44
5.3.2	Análise dos dados gerados	45
5.3.3	Detalhamento das ligações	46
5.4	Lançamento da estrutura metálica da casa	48
5.4.1	Análise dos dados gerados	49
5.4.2	Correção da estrutura e novo lançamento	49
5.5	Projeto de concreto armado	49
5.5.1	Configurações básicas antes do lançamento	50
5.6	Lançamento da estrutura de concreto armado da churrasqueira	50
5.6.1	Análise dos dados gerados	53
5.7	Lançamento da estrutura de concreto armado da casa	54
5.7.1	Análise dos dados gerados	54
6	Orçamento	56
7	Conclusão	58
8	Trabalhos futuros	60
9	Anexos	61
	Referências	73

1 Introdução

O concreto armado é um tipo de estrutura que possui em seu interior armações feitas com barras de aço. Essas ferragens são necessárias a fim de se contrapor a baixa capacidade de resistência aos esforços de tração do concreto, material este que possui alta resistência à compressão.

O uso de aço em vigas e pilares de concreto, portanto, torna-se indispensável e seu dimensionamento precisa seguir as normas vigentes dos órgãos reguladores, bem como as estruturas em aço.

A falta de cuidado na execução com esse tipo de estrutura pode gerar manifestações patológicas que podem vir a acarretar soluções que levam tempo e dinheiro. Com o uso do aço como estrutura da edificação, tais manifestações do concreto obviamente não estarão presentes, entretanto, cada ligação entre os elementos estruturais, cada interface entre os materiais deve ser pensado para se evitar eventuais problemas. O detalhamento adequado do projeto diminui as chances de erros, levando qualidade e maior velocidade na execução, o que representaria lucro aos investidores do setor.

Deve-se considerar todas as variáveis possíveis e não só os preços unitários do aço e do concreto. Ao se utilizar uma resistência maior no concreto, por exemplo, pode-se reduzir o tamanho das peças, diminuindo o volume final de concreto, o tamanho das formas, o tempo de desforma, a quantidade de mão de obra e a velocidade da obra. Já para o aço como material estrutural apresentam-se vantagens sobre outras estruturas ganhos de vãos, diminuição da seção transversal do elemento estrutural, alta resistência em relação ao peso próprio, alto módulo de elasticidade, resistência à tração, diminuição do peso da estrutura aliviando as cargas da fundação, eficiência em obra, devido a precisão de execução, entre outros.

Em suma, o custo pela escolha do tipo de estrutura pode não ser tão representativo considerando que há outros fatores relevantes como: custo de material, mão de obra, tempo de execução e prazo, dependendo da finalidade da obra. Embora avaliar e comparar alguns fatores no momento da escolha do tipo de estrutura que será usada é importante para a adaptação técnica para cada projeto.

Portanto, esse trabalho tem por finalidade mostrar uma edificação dimensionada em estruturas diferentes - metálica e em concreto armado - e comparar o custo de cada uma.

2 Objetivos

Os objetivos do trabalho estão classificados em geral e específicos e são descritos a seguir.

2.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo do dimensionamento de estrutura em concreto armado e em aço de uma residência em Sobradinho – DF, de acordo com as normas técnicas da ABNT, assim como verificar os custos de cada construção e compará-los.

2.2 Objetivos Específicos

- Dimensionar a estrutura residencial em aço no software Robot Structural 2018 e comparar com a de concreto armado;
- Dimensionar a estrutura residencial em concreto armado através do software Eberick V8 e comparar com a metálica;
- Buscar soluções adequadas visando menores custos e comparar economicamente e tecnicamente as estruturas.

3 Revisão bibliográfica

Segundo a (CONCRETA.COM,) a montagem de estruturas metálicas é um serviço especializado que exige cuidados essenciais. Não é por acaso que existem empresas especializadas somente na montagem das estruturas.

Além de exigir mão de obra qualificada este tipo de montagem exige a utilização de diversos equipamentos de montagem, como guias e guindastes.

Diferentemente do concreto armado que não exige processo de montagem, deve existir uma avaliação criteriosa da estabilidade das peças estruturais durante a montagem da estrutura metálica. Ou seja, esta montagem é planejada. Cada peça tem o momento correto de ser instalada.

Apesar de ser um serviço especializado, o processo de montagem pode ser rápido e prático. O que irá interferir muito na velocidade de montagem é a complexidade da estrutura, a característica das ligações e o acesso de equipamentos e profissionais aos postos de trabalho.

Como todo serviço da construção civil a montagem deve ser feita observando todas as normas vigentes e a boa prática da engenharia. Além disso, todos os cuidados possíveis quanto à segurança dos profissionais envolvidos devem ser tomados.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é uma entidade privada sem fins lucrativos que estabelece normas visando a padronização dos processos produtivos para o desenvolvimento tecnológico do país. É a representante oficial da *International Organization for Standardization* (ISO) no Brasil.

As normas as quais passam pela sua aprovação são chamadas de Norma Brasileira (NBR), que são normas técnicas estabelecidas de acordo com um consenso entre pesquisadores e profissionais da área.

A principal norma referente ao concreto armado é a NBR 6118/2014 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, e para o aço tem-se a NBR 8800/2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Entretanto, várias outras normas são utilizadas no momento da concepção do projeto para atender as peculiaridades de cada obra. Algumas delas estão listadas na tabela 1.

Tabela 1 – Algumas Normas Brasileiras para dimensionamento estrutural em aço e concreto armado

NBR 6118	Projeto de Estruturas de Concreto Armado - Procedimento
NBR 14323	Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios em Situação de Incêndio - Procedimento
NBR 8800	Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios
NBR 14762	Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas por Perfis Formados a Frio - Procedimento
NBR 7480	Barras e Fios de Aço Destinados a Armaduras para Concreto Armado
NBR 8681	Ações e Segurança nas Estruturas
NBR 6123	Forças Devido ao Vento em Edificações
NBR 6120	Cargas para Cálculo de Estruturas de Edificações

Fonte: O autor (2017)

Há ainda uma vasta gama de literaturas que tratam do assunto de estruturas metálicas e, principalmente, de concreto armado. Para o aço, por exemplo, o Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA) disponibiliza informações bastante interessantes para o dimensionamento em aço através de manuais em parceria com o Instituto Aço Brasil.

A subseção seguinte tem como objetivo apresentar informações relevantes que são tratadas em normas e em literaturas da área, no que diz respeito aos materiais utilizados e ao dimensionamento das estruturas projetadas neste trabalho.

3.1 Aço

O aço pode ser definido como uma liga metálica composta de ferro com pequenas quantidades de carbono que possui propriedades de resistência e ductilidade, as quais são bastante requeridas na construção civil.

3.1.1 Montagem e cuidado do aço

Os cuidados que serão listados a seguir são para a montagem estruturas metálicas em geral, entretanto cada tipo de empreendimento possui cuidados próprios que também devem ser observados.

1) **Cuidados com o transporte:**

Boa parte das estruturas metálicas são fabricadas e montadas em lugares diferentes, o que faz necessário o transporte das peças metálicas, que na maioria dos casos é feita por meio rodoviário.

A fabricação das peças deve observar também a disponibilidade dos meios de transporte.

O primeiro cuidado é quanto à escolha do meio de transporte e do tipo de veículo mais adequado. O veículo deve ter as dimensões necessárias para comportar a peça e ter capacidade de carga condizente com o peso das peças a serem transportadas.

Deve-se tomar precauções também quanto ao trajeto, pois diversas rodovias possuem limitação de altura, largura e peso máximo dos veículos. Um ponto de destaque são as pontes, em caso do transporte de estruturas metálicas especiais é importante que seja feita uma avaliação das condições da ponte.

A ordem de embarque das peças também deve ser avaliada conforme o processo de montagem. Além disso, as peças mais pesadas devem ser embarcadas primeiro e em seguida as peças mais leves. É indicado utilizar caibros de madeira entre as peças transportadas.

2) **Armazenamento da estrutura metálica:**

O primeiro cuidado quanto ao armazenamento das peças é o espaço. Ele deve ter tamanho suficiente para acomodar as peças com segurança, também deve ser planejado para não interferir no andamento da obra.

As peças devem ser armazenadas separadas por pontaletes de madeira, afim de facilitar a utilização das cintas para içamento das vigas e pilares. Algumas peças metálicas possuem limites de peso para armazenamento, como as lajes steel deck, para este tipo de elemento deve ser respeitado o número máximo de placas empilhadas indicado pelo fabricante.

Durante o armazenamento devem ser tomados cuidados importantes no combate à corrosão. As peças não devem ficar semienterradas ou submersas, além disso é importante evitar o acúmulo de água e resíduos entre as peças e o contato de outros metais com o aço para inibir a ocorrência de corrosão galvânica.

3) **Escolha dos equipamentos necessários:**

A montagem de estruturas metálicas exige a utilização de equipamentos e máquinas pesadas. Os equipamentos mais utilizados são os guindastes e as gruas, que são responsáveis pelo içamento vertical das peças metálicas.

Para escolher o equipamento ideal para a obra devem ser observadas as características de cada empreendimento e a disponibilidade do equipamento na região da montagem da obra.

4) **Utilização de técnicas de içamento adequadas:**

O içamento é uma das atividades que devem ser realizadas com muito cuidado, pois podem provocar acidentes graves, caso seja feito de forma incorreta ou imprudente.

Para um içamento seguro é importante a determinação de dois pontos importantes: a carga útil da peça e o centro de gravidade da peça.

A definição da carga útil da peça pode ser feita de duas formas. A forma mais simples é consultar o projeto e a lista de materiais e averiguando lá qual o peso total da peça com acessórios. Outra forma é calcular o peso da peça in loco a partir de cada elemento constituinte. A forma ideal é utilizar as duas paralelamente, afim de evitar erros e aferir o peso das peças.

A definição do centro de gravidade da peça será essencial para um içamento estável. Para peças simétricas o centro de gravidade estará no meio da peça.

Içar uma peça sem o correto posicionamento do gancho no centro de gravidade pode provocar movimentos indesejados na peça. O risco de acidentes neste caso é muito grande, podendo atingir o próprio equipamento ou as pessoas envolvidas na operação.

Além disso para um içamento seguro são necessários diversos acessórios e equipamentos de apoio. Em alguns casos são montadas verdadeiras estruturas auxiliares para içamento de peças mais pesadas e complexas.

5) **Cuidados com as ligações soldadas:**

A utilização das ligações soldadas na montagem de estruturas metálicas deve ser inspecionada conforme as normas vigentes. É de responsabilidade do montador da estrutura metálica a qualidade e segurança das soldagens realizadas.

6) **Cuidados com as ligações parafusadas:**

O primeiro cuidado quanto a ligação parafusada é na separação e classificação dos parafusos conforme indicação de projeto. Em uma obra podem existir

parafusos de tipos, diâmetros e comprimentos diferentes. É importante ter cuidado para não ocorrer confusão na utilização adequada dos parafusos.

Outro ponto importante é no preparo da superfície para realizar a ligação das peças. As superfícies devem estar isentas de tinta, óleo, graxa, sujeira, ferrugem, rebarbas ou qualquer outro elemento que impeça o contato perfeito dos elementos de fixação com a peça.

Um cuidado importante é quanto ao torque aplicado sobre o parafuso. Este torque não deve exceder o indicado para cada tipo de parafuso e o limite imposto pela ligação das placas. Caso o torque extrapole este limite pode gerar tensões de tração e alongar o parafuso.

7) **Observar os limites de tolerância da estrutura:**

Todas as peças possuem um limite de tolerância especificados por norma ou pelo projeto de estrutura metálica.

Para uma montagem de estruturas metálicas adequada estes limites de tolerância devem ser observados.

O montador deve estar atento aos erros existentes e verificar com base nos limites de tolerância se estes erros não prejudicam o funcionamento da estrutural ou se chegam a inviabilizar a montagem.

Para cada tipo de peça e de estrutura metálica são indicados limites de tolerância a serem observados. Existem três tipos de tolerância distintas, a tolerância industrial, a tolerância de fabricação e a tolerância de montagem.

8) **Cuidado com a estabilidade estrutural durante a montagem:**

Outro ponto importante é o cuidado com a estabilidade de toda a estrutura durante a montagem.

Para isto é elaborado um plano de montagem que leva em consideração as cargas acrescidas progressivamente e o funcionamento das peças já instaladas durante este acréscimo de cargas.

É essencial obedecer ao plano de montagem, assim será garantido o funcionamento adequado da estrutura em cada fase da construção e não somente na fase final.

O plano de montagem é muitas vezes um fator determinante no custo da montagem de estruturas metálicas. Por isso, a determinação deste plano é usualmente realizada pela empresa já contratada para a montagem.

9) **Utilização de profissionais especializados:**

Outro cuidado importante é a utilização de profissionais especializados para este tipo de serviço. Devem ser profissionais devidamente treinados e capacitados para cada tipo de operação.

A montagem de estruturas metálicas envolve a utilização de diversos tipos de equipamentos específicos. Desde a utilização de equipamentos pesados como guias e guindastes a equipamentos mais leves como os instrumentos de solda. Somente com uma equipe devidamente qualificada a montagem ocorrerá com a qualidade necessária, custo adequado e segurança exigida.

Por isso, é essencial contratar equipes especializadas neste trabalho, ou passar este serviço ao próprio fabricante das peças metálicas.

10) **Utilização de equipamentos de segurança:**

O último cuidado indicado para a montagem de estruturas metálicas é a utilização de equipamentos de proteção individual e coletivos.

O grande risco na montagem de estruturas metálicas é o risco de quedas. Outros cuidados quanto a segurança é dar preferência as ligações parafusadas em campo e soldadas em fábrica. Outro ponto é eliminar dos elementos estruturais pontas ou cantos cortantes.

3.1.2 Propriedades gerais do aço

A massa linear do aço (kg/m) é obtida pelo produto da área da seção nominal (m²) pela massa específica do aço, igual a 7850 kg/m³.

Segundo (PFEIL; PFEIL, 2009) o coeficiente de poisson ν pode ser assumido como 0,3 e o coeficiente de dilatação térmica $\beta = 12.10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$.

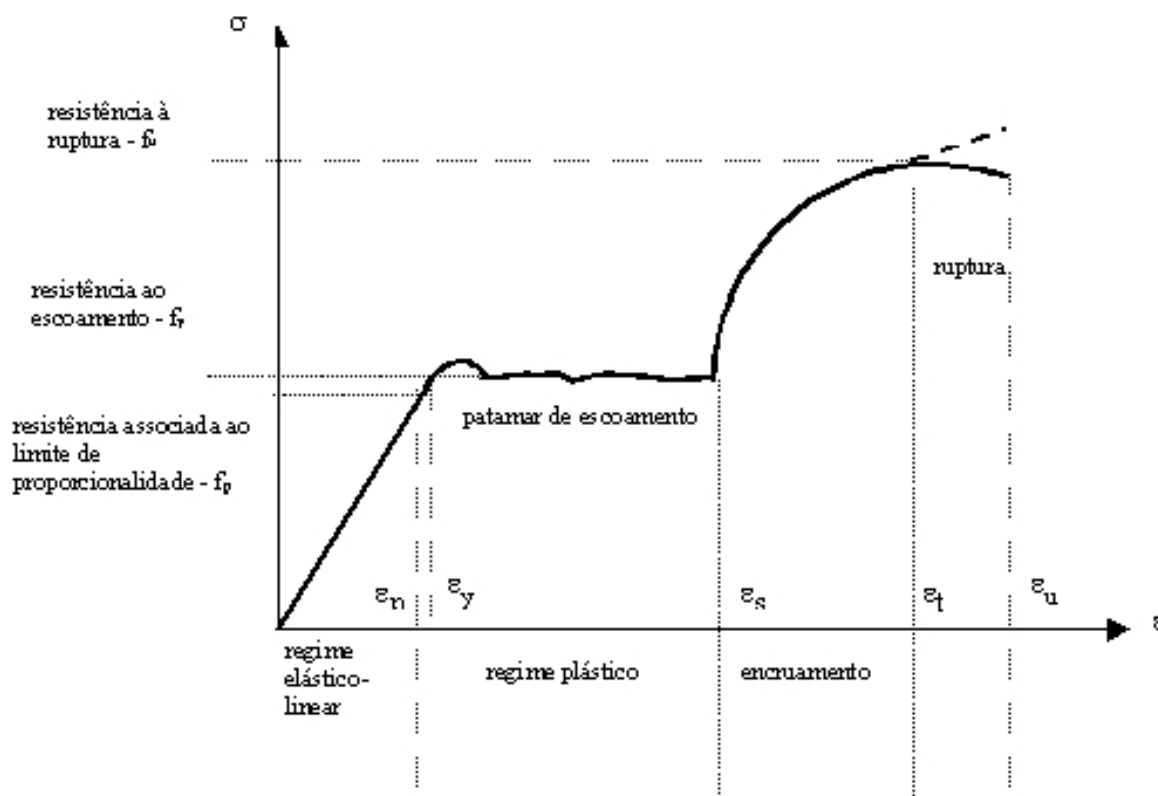
3.1.3 Propriedades mecânicas do aço

As propriedades mecânicas definem o comportamento do aço quando sujeito a esforços e determinam sua capacidade de resistir e transmitir estes esforços sem que se rompam e sofram deformações excessivas.

3.1.3.1 Limite de escoamento e Limite de resistência - ($f_y - f_u$)

A figura 1 representa o diagrama de tensão-deformação do aço quando submetido ao um ensaio de tração.

Figura 1 – Diagrama tensão-deformação do aço



Fonte: http://carroceria.blogspot.com.br/2013_05_19_archive.html

Como mostra o diagrama acima, a tensão solicitada e a deformação do material aumentam proporcionalmente representando a fase elástica, seguindo a lei de Hook, até quando o limite de proporcionalidade é ultrapassado e então ocorrem deformações crescentes sem variação da tensão caracterizando a fase plástica. Esse limite, onde a tensão é constante, é chamado de limite de escoamento e é calculado dividindo-se a carga máxima suportada, antes de escoar, pela área da seção transversal inicial. Para o aço A-36 esse valor é igual a 250 MPa.

Ainda na fase plástica, a estrutura interna do aço se rearranja causando o endurecimento do aço, ou seja, ocorre o enrijecimento e então há novamente variação de tensão e deformação, porém não linear, até o momento de rompimento do material. A tensão máxima atingida até esse momento é usada para o cálculo do limite de resistência a tração que é igual à carga de ruptura dividida pela área da seção transversal inicial.

3.1.3.2 Elasticidade

Normas internacionais adotam o valor do módulo de elasticidade longitudinal E_s como igual a 200 GPa para efeito de cálculo. Porém, a (NBR 6118, 2014), que é uma cópia mesclada das normas internacionais como a do *Fédération Internationale du*

Béton (FIB), da American Concrete Institute (ACI) e da norma da comunidade Europeia (Eurocode 2), adota o valor de 210 GPa para aço para concreto armado em razão da composição do minério utilizado no Brasil ser diferente de outros países. Vale ressaltar, entretanto, que em 28 de outubro de 2015 a norma brasileira 6118, após sua revisão de 2014, foi atestada pelo ISO/TC71/SC4 (Performance Requirements for Structural Concrete), em Seul, na Coreia do Sul como norma reconhecida internacionalmente, logo, pode ser usada em qualquer lugar do mundo para projetos de concreto armado.

De qualquer forma a diferença de E_s para as normas é de 5% e não representa diferença nos cálculos.

3.1.3.3 Ductilidade

É a capacidade do material em se deformar plasticamente sem que haja ruptura. Quanto mais dúctil o aço maior é a redução da área da seção transversal ou o alongamento antes da ruptura. Essa característica serve como um aviso da presença de elevadas tensões.

3.1.3.4 Tenacidade

É a capacidade que o aço possui em absorver tanto a energia elástica quanto a plástica por unidade de volume até a sua ruptura. Representa a área total do diagrama tensão-deformação.

3.1.4 Elementos de liga do aço

Assim como existem meios que mudam as propriedades do concreto para atender algumas necessidades de projeto, para o aço existem os elementos de liga que fazem parte da composição química e que podem modificar as propriedades, como o carbono (C), que aumenta o limite de resistência; o cobre (Cu), que aumenta a resistência à corrosão atmosférica; o cromo (Cr), que aumenta a resistência mecânica, à abrasão e à resistência atmosférica, mas diminui soldabilidade; e o manganês (Mn), que melhora o limite de escoamento e a resistência à fadiga.

3.1.5 Tipos de aço estrutural

Os elementos de liga mencionados na subseção anterior classificam os aços estruturais de acordo com a liga com que é atribuída.

3.1.5.1 Aço-carbono

Não possui elementos de liga e pode ter alto, médio ou baixo teor de carbono ($C \leq 0,3\%$), sendo este o mais adequado a construção civil.

O aço equivalente ao ASTM A-36 pela NBR 7007/2016 é o MR-250.

3.1.5.2 Aço de baixa liga sem tratamento térmico

Recebe elementos de liga com teor inferior a 2% para aumentar a resistência mecânica e/ou à corrosão. É adequado para a construção civil, mas é necessária uma análise econômica.

3.1.5.3 Aço de baixa liga com tratamento térmico

Também recebe elementos de liga com teor inferior a 2%, mas recebem um tratamento térmico especial após a laminação para adquirir alta resistência mecânica ($f_y \geq 300MPa$).

Usado em tanques, vasos de pressão, dutos forçados, ou onde os elevados esforços justifiquem economicamente sua utilização.

3.2 Concreto

(ARAÚJO, 2014) concreto é a resultante da mistura de materiais naturais ou britados com cimento e água. A fim de se atender a certas necessidades, ao concreto podem ser acrescentados aditivos químicos como retardadores ou aceleradores de pega, e adições minerais como microssílica, que melhoram as características do concreto fresco ou endurecido.

Quando utilizado como material estrutural recebe a denominação de concreto estrutural que pode variar de três tipos diferentes: concreto simples, aquele sem qualquer tipo de armadura; concreto armado, quando há uma armadura não pré-tracionada (protendida); e concreto protendido, quando existe uma armadura ativa pré-tracionada (protendida).

3.2.1 Concreto em compressão simples

No Brasil adota-se a resistência obtida em corpos de prova cilíndricos provenientes de ensaios de carregamento rápido. Tais ensaios podem ser feitos no 28º dia de cura do concreto.

Se os corpos de prova forem ensaiados aos 28 dias, devem permanecer na obra nas condições indicadas em 8.3.3 pelo menos durante 21 dias. No caso de outras idades, devem permanecer na obra pelo menos durante três quartas partes da idade de ensaio. (NBR 5738, 2015, pag.: 5 item 8.3.4.)

De acordo com a expressão a seguir, é possível definir a resistência média a compressão do concreto, f_{cm} , e a resistência característica à compressão, f_{ck} .

$$fck = fcm - 1,64S$$

Onde S é o desvio padrão das resistências.

A massa específica normal do concreto é compreendida entre 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³. Geralmente, para efeito de cálculo, adota-se 2400 kg/m³ para concreto simples e 2500 kg/m³ para armado (ARAÚJO, 2014).

Na tabela 2 a seguir, é indicado os grupos e as classes de resistência padronizados pela (NBR 6118, 2014).

Tabela 2 – Classes de resistência do concreto

Grupo 1	C10	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
Grupo 2	C55	C60	C70	C80	C90				

Fonte: O autor (2017)

Segundo a (NBR 6118, 2014), a classe C15 somente pode ser usada em obras provisórias e concretos sem fins estruturais. Os de classe C20 ou superior devem ser usado para concreto armado e o de C25 ou superior, para concreto protendido.

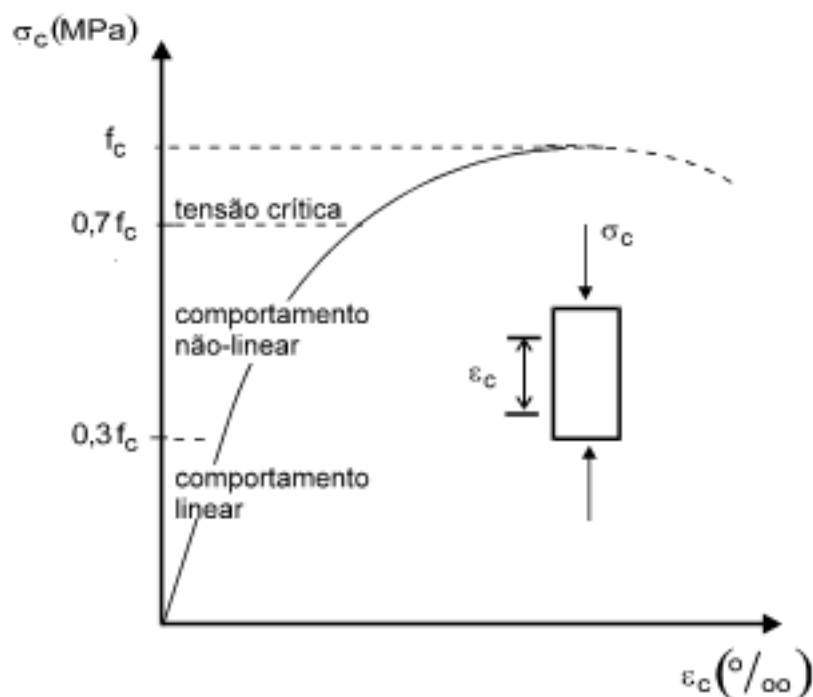
3.2.2 Concreto em tração simples

Os ensaios de tração axial, de compressão diametral ou de flexão, determinam a resistência à tração do concreto. Porém, a mesma é desprezada no dimensionamento dos elementos estruturais, devido a pouca importância que tem na capacidade de carga da estrutura. Ela só é levada em conta quando se quer verificar a deformação da estrutura sob cargas de serviço.

3.2.3 Módulo de deformação longitudinal do concreto

Na figura 2 verifica-se o diagrama de tensão-deformação onde a inclinação da reta tangente à curva na origem do diagrama representa o módulo de deformação longitudinal tangente E_c . E a inclinação da reta que passa pela origem e corta o diagrama no ponto correspondente a uma tensão da ordem de $0,3f_c$ é o módulo secante E_{cs} .

Figura 2 – Diagrama tensão-deformação do concreto em compressão simples



Fonte: <http://engenhariacivildauesc.blogspot.com.br/2012/05/concreto-armado-estrutura-interna-do.html>

A expressão para o módulo E_c é:

$$E_c = \alpha E_{cs}$$

$$\alpha = 0,8 + 0,2 \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0$$

3.2.4 Propriedades do concreto ao longo do tempo

As reações químicas decorrentes da hidratação do cimento, ao longo do tempo, fazem com que o módulo de deformação longitudinal e as resistências à tração e compressão se alterem.

No caso, conforme o envelhecimento do material em questão, sua resistência irá aumentar principalmente nos primeiros dias após a cura.

3.2.5 Retração do concreto

Existem dois tipos de retração, a autógena e a hidráulica. A retração nada mais é que a redução de volume do concreto durante seu endurecimento, em razão da diminuição do volume de água dos poros.

A retração autógena ocorre sem perda de água para o exterior e é consequência da remoção da água dos poros capilares pela hidratação

do cimento. A retração hidráulica é influenciada pelas condições ambientais (umidade relativa, temperatura, vento, etc.). Na prática, a retração hidráulica inclui, também, a variação autógena de volume. Araújo (2014, pag.: 49 cap.: 1.10).

3.2.6 Aço para concreto armado

Segundo a (ABNT NBR 7480, 2007), as armaduras para concreto armado podem ser classificadas em barras e fios. As barras tem diâmetro mínimo de 6,3 mm e os fios apresentam diâmetros máximos de 10 mm. Na nomenclatura usual, ambas são chamadas apenas de barras da armadura.

Na tabela 3 indicam-se as barras e fios padronizados pela (ABNT NBR 7480, 2007).

Tabela 3 – Características das barras e fios

Diâmetro nominal (mm)	Massa Linear (kg/m)
2,4	0,036
3,4	0,071
3,8	0,089
4,2	0,109
4,6	0,130
5,0	0,154
5,5	0,187
6,0	0,222
6,3	0,245
6,4	0,253
7,0	0,302

Diâmetro nominal (mm)	Massa Linear (kg/m)
8,0	0,395
9,5	0,558
10	0,617
12,5	0,963
16,0	1,578
20,0	2,466
22,0	2,984
25,0	3,853
32,0	6,313
40,0	9,865

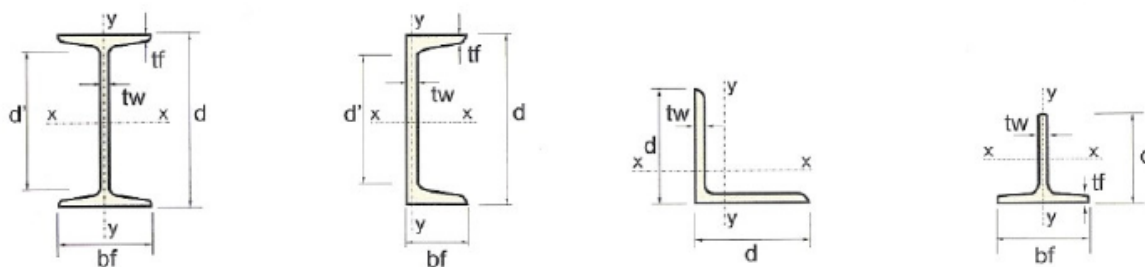
Fonte: NBR 7480

3.3 Perfis metálicos

Os perfis mais usados são aqueles de seção transversal em I, H, U, Z e as cantoneiras em L. Os perfis podem ser obtidos diretamente por laminação ou através de operações de conformação a frio ou, ainda, por soldagem.

Os perfis laminados são peças únicas, produzidos por meio da deformação a quente, tendo como características principais as abas paralelas e a uniformidade estrutural por não possuir soldas ou emendas, o que representa um baixo nível de tensões residuais localizadas. A figura 3 mostra tais perfis.

Figura 3 – Perfis laminados padrão americano

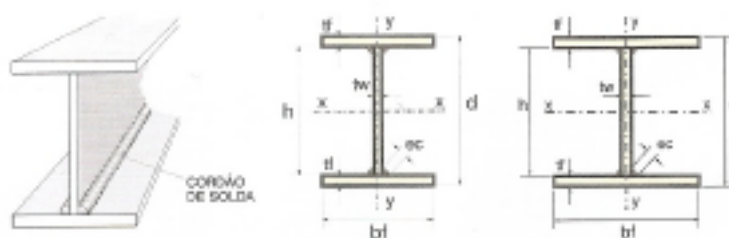


Fonte: Luiz Andrade de Matos Dias (2006)

Os perfis soldados, conforme figura 4, são obtidos pelo corte e soldagem de chapas planas de aço, o que permite variadas formas e dimensões das seções, podendo ser fabricados conforme a especificação, por exemplo, ASTM A36 ou ASTM A 572. São classificados em séries de acordo com sua utilização:

- Série VS - viga soldada: perfis soldados para vigas em que $1,5 < \frac{d}{bf} \leq 4$;
- Série CVS - coluna viga soldada: perfis soldados para vigas e pilares em que $1 < \frac{d}{bf} \leq 1,5$;
- Série CS - coluna soldada: perfis soldados para pilares em que $\frac{d}{bf} = 1$.

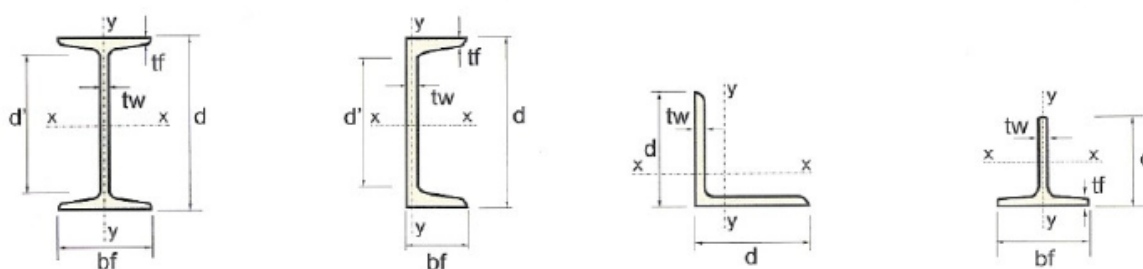
Figura 4 – Perfis soldados



Fonte: Luiz Andrade de Matos Dias (2006)

Os perfis conformados a frio, conferidos na figura 5, são obtidos pelo processo de dobramento a frio de chapas de aço e são recomendados para construções leves utilizados, por exemplo, em barras de treliças.

Figura 5 – Perfis formados a frio



Fonte: Técnica Edição 137 (2008)

3.4 Ligações metálicas

A definição do sistema de ligação a ser adotado entre os elementos que compõem a estrutura metálica é fundamental para que os elementos de ligação apresentem resistência mecânica compatível com o aço utilizado na estrutura.

3.4.1 Ligações soldadas

A soldagem é a técnica empregada na união de dois ou mais componentes de uma peça estrutural conservando as propriedades físicas, químicas e a continuidade do material.

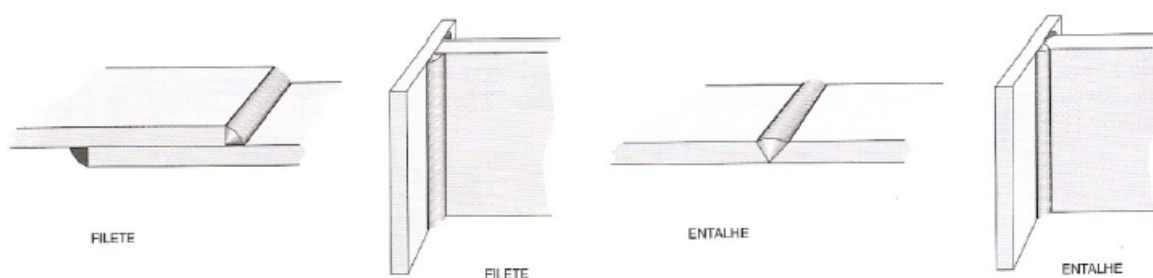
As ligações soldadas devem ser executadas sempre que possível na fábrica. É o tipo de ligação ideal para união de peças com geometria complicada.

Os processos de soldagem mais utilizados são a solda a arco elétrico, que pode ser manual ou com eletrodo revestido e automática, com arco submerso. Quando a obra empregar aços resistentes à corrosão atmosférica (família COS AR COR) deve-se empregar eletrodos apropriados. (ROBERTO INABA, , pag.: 1)

A citação direta fala de um tipo de solda em fábrica que podem ser verificados na figura 6, mas existem outras mais comuns, como:

- entalhe, onde o metal de solda é colocado entre os elementos a serem conectados;
- filete, onde o metal de solda é colocado externamente aos elementos.

Figura 6 – Tipos de soldas



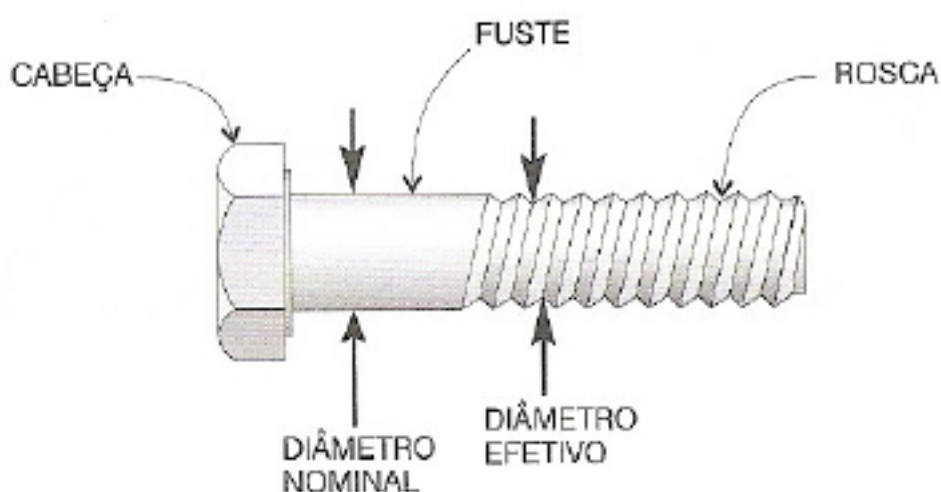
Fonte: Luiz Andrade de Matos Dias (2006)

3.4.2 Ligação parafusada

Os parafusos são formados pela cabeça, pelo fuste e pela rosca como indicado na figura 7. São identificados pelo diâmetro nominal, mas a resistência à tração é função do diâmetro efetivo.

As conexões parafusadas são classificadas pela forma de transmissão dos esforços aos parafusos, como ligação à tração, à força cortante e aos esforços combinados de ambas, chamadas então de comuns ou de alta resistência.

Figura 7 – Conexão parafuso



Fonte: Luiz Andrade de Matos Dias (2006)

3.5 Sistemas estruturais

Tornar as estruturas mais econômicas através da redução de seu peso e do consumo de materiais sem, contudo, diminuir a sua segurança e durabilidade tem sido o principal desafio da engenharia estrutural. Isto tem levado a estruturas cada vez mais leves e, conseqüentemente, a elementos estruturais mais esbeltos.

Nas subseções seguintes é apresentada a função de pilares, vigas, bem como as características desses elementos.

3.5.1 Pilares

Os pilares são estruturas que transmitem todas as cargas para as fundações estando sujeitos basicamente a esforços axiais de compressão. Os pilares são formados por peças esbeltas, podendo ocorrer o fenômeno da flambagem.

3.5.1.1 Flambagem

À medida que se aumenta a esbeltez de um dado elemento estrutural, o seu mecanismo de colapso pode sofrer mudanças significativas. Em uma coluna curta, por exemplo, o colapso pode ocorrer por se atingir o limite de resistência do material. Tem-se então um colapso por esmagamento, fissuração, plastificação e outros. O dimensionamento deste elemento estrutural é feito por meio de critério de resistência.

Entretanto, à medida que a coluna se torna mais esbelta, ela perde sua estabilidade por meio da flambagem.

A flambagem por flexão é associada à característica que as peças esbeltas possuem de se deslocar transversalmente à linha de ação da força solicitada, comum em pilares de concreto e metálico submetidos a uma força de compressão. A carga necessária para que ocorra a flambagem depende da dimensão da seção da barra, do tipo de vinculação e do comprimento livre.

Em pilares metálicos pode ocorrer a flambagem por torção com seção cruciforme quando as chapas flambam na mesma direção. A “flexotorção” (torção e flexão), ocorre em seções metálicas L e U.

É possível ocorrer flambagem lateral nas vigas metálicas de seção I e não travadas continuamente.

Os deslocamentos atribuídos à flambagem por flexão ou por flambagem lateral são incompatíveis com o uso normal da construção. Para solucionar o problema pode-se aumentar a seção da barra, alterar a vinculação ou reduzir seu comprimento de flambagem por meio de travamentos.

3.5.2 Vigas

As vigas são elementos estruturais sujeitos basicamente por esforços de flexão com objetivo de vencer vãos horizontais e transferir forças verticais para os apoios.

3.5.3 Conceito de estabilidade

Tal conceito está associado ao estado de equilíbrio da estrutura. Considerando uma estrutura em equilíbrio, e sobre esta estrutura é aplicada uma pequena força, e então retirada logo em seguida, tem-se então três possibilidades de resposta da estrutura, podendo assim, classificar seu equilíbrio. O equilíbrio é estável se a estrutura tende a retornar a sua posição original. Por outro lado, se a estrutura continuar a se afastar da sua posição original, o equilíbrio é conhecido por instável.

Finalmente, se a estrutura permanecer na sua posição perturbada, nem seguindo para ou se afastando da sua posição inicial, tem-se equilíbrio neutro.

Segundo a (CBCA, 2016) uma particularidade das estruturas de aço é a necessidade de contraventamento, solução estrutural que permite as edificações resistirem a esforços laterais de ventos em caso das mesmas serem muito altas ou então com elementos estruturais esbeltas.

3.6 Estados limites

Em projetos de estruturas de concreto-armado, os elementos são dimensionados no estado limite último (ELU), e depois verificados em cada um dos estados limites de

serviço (ELS).

O mesmo ocorre com as estruturas em aço segundo a (NBR 8800, 2008). Na norma é exigido que nenhum estado-limite seja excedido quando a estrutura é submetida a todas as combinações de ações estabelecidas em projeto. Caso ao menos um estado-limite seja excedido, a estrutura não antederá aos objetivos primários a que foi dimensionada.

3.6.1 Estado limite último (ELU)

É basicamente a máxima capacidade de resistência última da estrutura, ou seja, é a resistência limite antes da ruína da mesma. Com base nesse cenário, a (NBR 6118, 2014) estabelece o uso de fatores de segurança, os quais as resistências dos materiais são minoradas e os esforços solicitantes são majorados.

Lista-se alguns itens que devem ser verificados para o ELU:

- Solicitações dinâmicas;
- Exposição ao fogo;
- Esgotamento da capacidade resistente da estrutura devido aos efeitos de segunda ordem.

3.6.2 Estado limite de serviço (ELS)

Segundo (VARELA, 2016) são estados limites referentes ao uso e ocupação da edificação, como: deformações, vibrações e trincas, ou seja, a estrutura deve prever a possibilidade de um excesso de carga (solicitação).

Para estruturas em concreto armado tem-se ainda três tipos de ELS usuais, são eles:

- 1) Estado Limite de deformações excessivas (ELS-DEF);
- 2) Estado Limite de abertura de fissuras (ELS-W);
- 3) Estado Limite de vibrações excessivas (ELS-VE).

Para estruturas em concreto protendido são consideradas outros três tipos de ELS também:

- 1) Estado Limite de deformações excessivas (ELS-DEF);
- 2) Estado Limite de abertura e formação de fissuras (ELS-W e ELS-F);
- 3) Estado Limite de descompressão (ELS-D).

3.6.3 Método dos estados limites

A (NBR 8800, 2008) diz que a solicitação de projeto Sd deve ser menor que a esforços resistentes de projeto Rd . Essa condição deve ser sempre atendida para garantir a segurança do projeto.

Portanto, a condição de segurança é obtida com:

$$Rd \geq Sd$$

A solicitação de cálculo é dada por:

$$Sd = \gamma f . Sn$$

Onde, segundo a (NBR 8800, 2008), Sn é a solicitação nominal e γf é o coeficiente de segurança de valor igual a 1,4. Esse conjunto é chamado de majoração das ações.

Majorar as solicitações significa verificar quais ações atuam simultaneamente sobre a estrutura e que provoquem as mesmas solicitações. Acontece que cada ação tem sua inerente variabilidade natural e pode ser analisada separadamente, por exemplo na figura 8:

Figura 8 – Solicitações

$$\gamma_{pp} \times \left(\begin{array}{l} \text{solicitações -} \\ \text{peso próprio} \end{array} \right) + \gamma_{rev} \times \left(\begin{array}{l} \text{solicitações -} \\ \text{revestimento} \end{array} \right) + \gamma_{vento} \times \left(\begin{array}{l} \text{solic. -} \\ \text{vento} \end{array} \right) + \text{etc} \leq \frac{\left(\begin{array}{l} \text{Resistência real} \\ \text{do Material} \end{array} \right)}{\gamma_{Min}}$$

Fonte: Arquivo pessoal

Poderá então inferir individualmente cada uma das solicitações que atuam na estrutura acerca das suas variabilidades, probabilidades de ocorrências simultâneas, entre outros.

A resistência de cálculo é encontrada pela fórmula:

$$Rd = \frac{Rn}{\gamma m}$$

Onde Rn é a resistência nominal e γm é o coeficiente de segurança, com isso tem-se a minoração da resistência.

3.7 Combinações de ações

São combinações últimas de ações que determinam os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura e são classificadas em:

- Combinações últimas normais;

Figura 9 – Combinações normais

$$S_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} \cdot F_{Gi}) + \gamma_{q1} \cdot F_{Q1} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \cdot \psi_{0j} \cdot F_{Qj})$$

Fonte: Edifícios de pequeno porte estruturados em aço (2011)

- Combinações últimas de construção;

Figura 10 – Combinações de construção

$$S_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} \cdot F_{Gi}) + \gamma_{q1} \cdot F_{Q1} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \cdot \psi_{0j,cf} \cdot F_{Qj})$$

Fonte: Edifícios de pequeno porte estruturados em aço (2011)

- Combinações últimas especiais;

Figura 11 – Combinações especiais

$$S_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} \cdot F_{Gi}) + \gamma_{q1} \cdot F_{Q1} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \cdot \psi_{0j,ef} \cdot F_{Qj})$$

Fonte: Edifícios de pequeno porte estruturados em aço (2011)

- Combinações últimas excepcionais.

Figura 12 – Combinações excepcionais

$$S_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} \cdot F_{Gi}) + F_{Qexc} + \sum_{j=1}^n (\gamma_{qj} \psi_{0j,ef} \cdot F_{Qj})$$

Fonte: Edifícios de pequeno porte estruturados em aço (2011)

Onde, F_{Gi} são os valores das ações permanentes; F_{Q1} é o valor da ação variável quando principal para combinação, ação variável ou ação variável de construção; F_{Qj} são os valores das ações variáveis que podem ocorrer junto com a ação da variável principal; F_{Qexc} é o valor da ação transitória excepcional e ψ são os fatores das combinações normais.

3.8 Combinações de serviço

São caracterizadas conforme sua permanência na estrutura:

- Combinações quase permanentes;

Figura 13 – Combinações permanentes

$$S_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi} + \sum_{j=1}^n (\psi_{2j} \cdot F_{Qj})$$

Fonte: Edifícios de pequeno porte estruturados em aço (2011)

- Combinações frequentes;

Figura 14 – Combinações frequentes

$$S_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi} + \psi_1 \cdot F_{Q1} + \sum_{j=2}^n (\psi_{2j} \cdot F_{Qj})$$

Fonte: Edifícios de pequeno porte estruturados em aço (2011)

- Combinações raras.

Figura 15 – Combinações raras

$$S_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi} + F_{Q1} + \sum_{j=2}^n (\psi_{1j} \cdot F_{Qj})$$

Fonte: Edifícios de pequeno porte estruturados em aço (2011)

Pela (NBR 8800, 2008), as ações devem ser ponderadas pelo coeficiente γ_f dado por:

$$\gamma_f = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f2} \cdot \gamma_{f3}$$

Onde, γ_{f1} é a variabilidade das ações; γ_{f2} a simultaneidade das ações; e γ_{f3} os erros de avaliação das ações de valor igual ou superior a 1,10.

De uma forma geral o ELS tem coeficiente de ponderação $\gamma_f = 1,0$ além de se usar os fatores de redução ψ_1 e ψ_2 , podendo ser conferidos no quadro 3.

O valores bases para ações permanente são encontrados no quadro 1:

Quadro 1 – Valores dos coeficientes de ponderação

Combinações	Ações permanentes (γ_g) ^{a,c}					
	Diretas					Indiretas
	Peso próprio de estruturas metálicas	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	
Normais	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,35 (1,00)	1,40 (1,00)	1,50 (1,00)	1,20 (0)
Especiais ou de construção	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,40 (1,00)	1,20 (0)
Excepcionais	1,10 (1,00)	1,15 (1,00)	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,30 (1,00)	0 (0)
	Ações variáveis (γ_q) ^{a,d}					
	Efeito da temperatura ^b	Ação do vento	Ações truncadas ^e	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação		
Normais	1,20	1,40	1,20	1,50		
Especiais ou de construção	1,00	1,20	1,10	1,30		
Excepcionais	1,00	1,00	1,00	1,00		

Fonte: NBR 8800 (2008)

Para as combinações normais e as ações variáveis verifica-se, respectivamente os quadro 2 e 3:

Quadro 2 – Coeficientes de ponderação para combinações normais

Aço estrutural ¹⁾		Concreto γ_c	Aço das armaduras γ_s
γ_a			
Escoamento, flambagem e instabilidade γ_{a1}	Ruptura γ_{a2}		
1,10	1,35	1,40	1,15

Nota:
1) Inclui o aço de fôrma incorporada, usada nas lajes mistas de aço e concreto, de pinos e parafusos.
2) Para combinações especiais, de construção e excepcionais, ver ABNT NBR 8800.

Fonte: NBR 8800 (2008)

Quadro 3 – Fatores de combinação para ações variáveis

Ações		$\gamma\Omega^a$		
		ψ_0	ψ_1^d	ψ_2^e
Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ^{b)}	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas ^{c)}	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas (ver B.5.1)	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7	0,6	0,4
^a Ver alínea c) de 4.7.5.3. ^b Edificações residenciais de acesso restrito. ^c Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público. ^d Para estado-limite de fadiga (ver Anexo K), usar ψ_1 igual a 1,0. ^e Para combinações excepcionais onde a ação principal for sismo, admite-se adotar para ψ_2 o valor zero.				

Fonte: NBR 8800 (2008)

3.9 Forças devido ao vento

As aplicações e as considerações para ação dos ventos nas estruturas são encontradas na (NBR; 6123, 1988). - Forças devidas ao vento em edificações.

4 Apresentação do edifício residencial

A residência do presente estudo é formada por dois pavimentos, o primeiro com 346,76 m², e o segundo pavimento com 79,22 m², além de uma churrasqueira de 54,29 m², que foi também abordada no trabalho, totalizando assim 480,27 m² de área construída.

As imagens das plantas baixa e de corte da residência podem ser vistas no anexo A do trabalho.

5 Metodologia de trabalho

Esse trabalho foi baseado primeiramente no dimensionado estrutural metálico de uma edificação residencial e posteriormente em concreto armado, realizando um estudo comparativo direcionado aos custos destas estruturas.

Para a estrutura metálica foi utilizado o software Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018, programa este que confere todas as solicitações requeridas para que a estrutura metálica possa vir a ser executada de forma segura com base nas normas. Entretanto, vale ressaltar que tal programa não vem com as normas nacionais registrada em sua base de dados, portanto, antes de se efetuar qualquer cálculo, é preciso configurá-lo com os dados de norma de forma que o mesmo consiga analisar a estrutura e então gerar seus resultados com base nas novas informações fornecidas ao sistema.

Já a estrutura de concreto armado foi dimensionada através do software de cálculo Eberick V8, da empresa AutoQI. Nele é possível fazer o lançamento da estrutura e calculá-la com base nas normas adequadas sem a necessidade de se fazer qualquer alteração em suas configurações de análise original, garantindo assim agilidade em seu uso.

Terminado o processo de cálculo das estruturas, foi feito o levantamento dos materiais relevantes a execução de cada estrutura e então realizado o orçamento dos custos desses componentes. Para tanto, foram usadas tabelas e composições de custos de mercado obtidos pelo gerador de preços da CYPE Ingenieros, que é conhecida por seus softwares técnicos, e também do Orçafascio, programa online, o qual utiliza dados da tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) que tem gestão compartilhada pela Caixa Econômica Federal e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

5.1 Projeto em aço

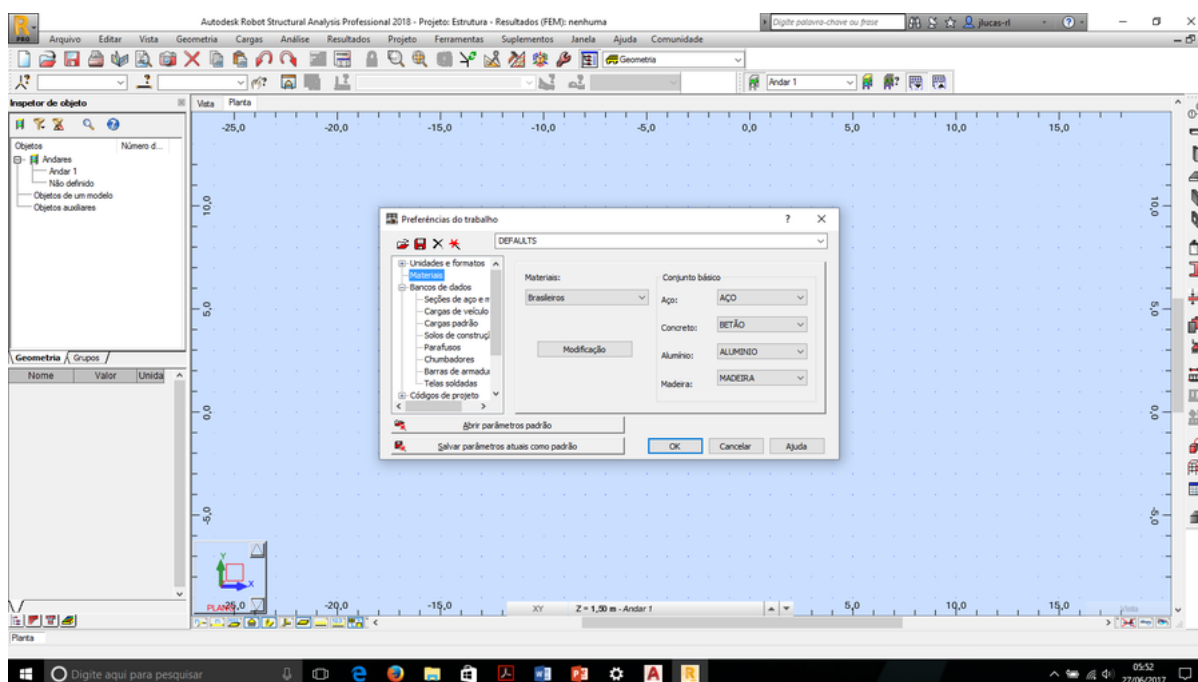
Nesta etapa a estrutura foi primeiramente pré dimensionada para que pudesse ser lançada no Robot. Logo, usou-se perfis I laminados aço ASTM A-36 escolhido por ser um aço de uso geral, com módulo de elasticidade $f_y = 250MPa$. A laje usada foi a treliçada unidirecional com bloco de EPS. Apenas na seção da escada foi usada a laje maciça de concreto armado de classe C25 e armadura de CA50. Na churrasqueira não há laje maciça.

5.2 Configuração do Robot

O Robot permite fazer alterações em suas bases de dados de normas cadastradas para que o mesmo possa calcular a estrutura de forma que seus resultados atendam as normas na região em que será utilizado, ou seja, se adaptando a qualquer norma de qualquer país, bastando apenas fazer a inserção correta de dados.

Este procedimento é feito acessando o item “ferramentas” e então “preferências de projeto”, como na figura 16:

Figura 16 – Janela de preferências de trabalho



Fonte: O autor (2017)

Um ponto interessante é que se pode fazer a modelagem da estrutura em templates diferentes, e se chegar a resultados específicos com maior eficiência. Como o de “projeto de ligações metálicas”, por exemplo.

5.3 Lançamento da estrutura metálica da churrasqueira

Após a conclusão da configuração para o início do trabalho, foram então cadastrados os elementos pré dimensionados anteriormente. Feito isso, iniciou-se o lançamento dos perfis de aço na malha do programa e suas respectivas lajes. Primeiramente foram lançados os pilares, seguidos das vigas baldrame, vigas superiores e por último, as lajes.

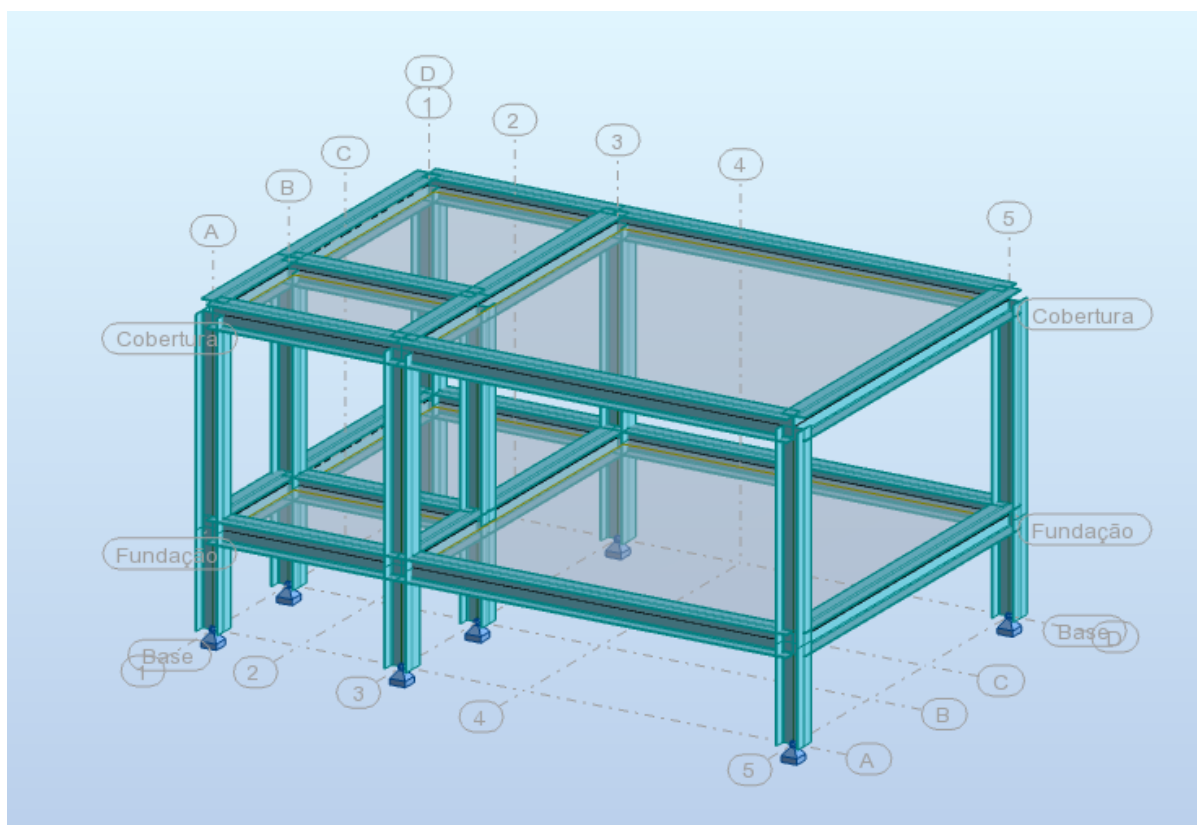
O lançamento realizado foi de nó a nó visando gerar uma perfeita conexão entre os elementos estruturais. Para realizar o lançamento, a melhor opção é fazê-lo na visão

tridimensional.

Visando a facilitação do lançamento estrutural dos pilares, o Robot permite a visualização em diversas vistas.

O resultado pode ser visto na seguinte figura 17:

Figura 17 – Estrutura metálica da churrasqueira



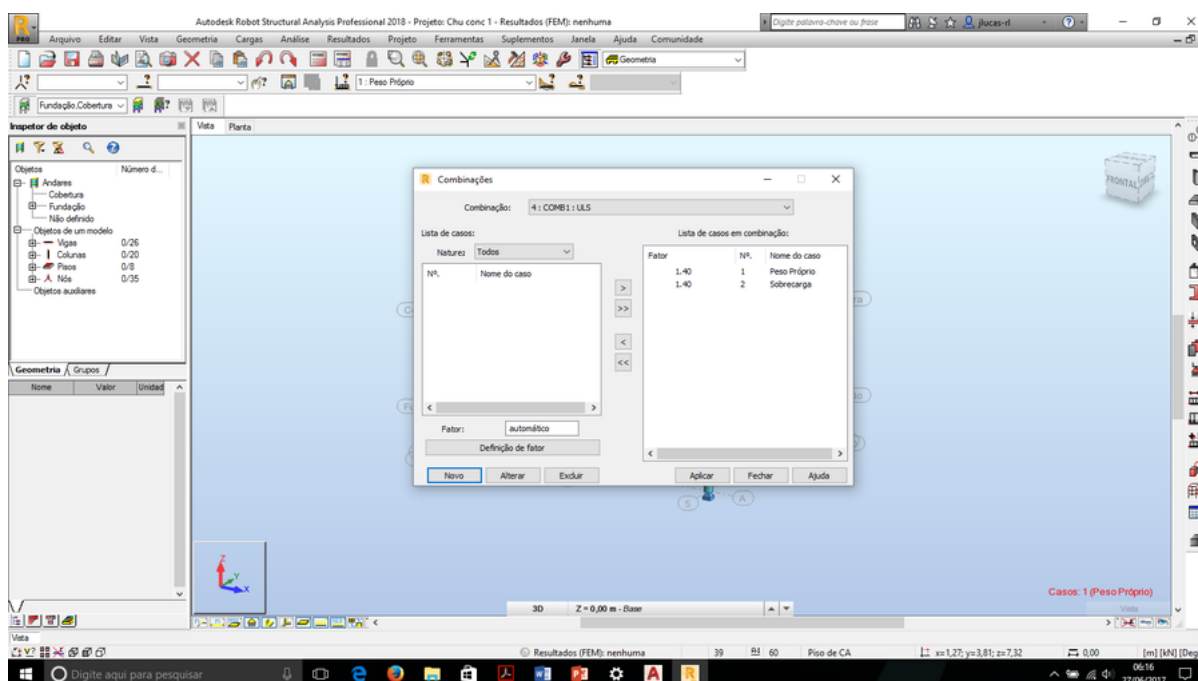
Fonte: O autor (2017)

5.3.1 Combinações de cargas e apoios da estrutura

Foi gerado uma combinação manual de cargas para que a estrutura pudesse ser calculada. Nessa combinação não foi inserida as ações do vento, em razão da estrutura da churrasqueira não possuir altura significativa para que sofra deslocamentos substanciais do vento. Na figura 18 pode-se ver as combinações utilizadas do peso próprio e da sobrecarga.

No Robot, ao criar as cargas, a carga de peso próprio já é configurada pelo programa a partir do material utilizado na estrutura, já a sobrecarga deve ser definida pelo usuário, e para a estrutura metálica foi definida como 12 KN/m para a estrutura e para laje foi definida como 2 Kpa.

Figura 18 – Combinação de cargas



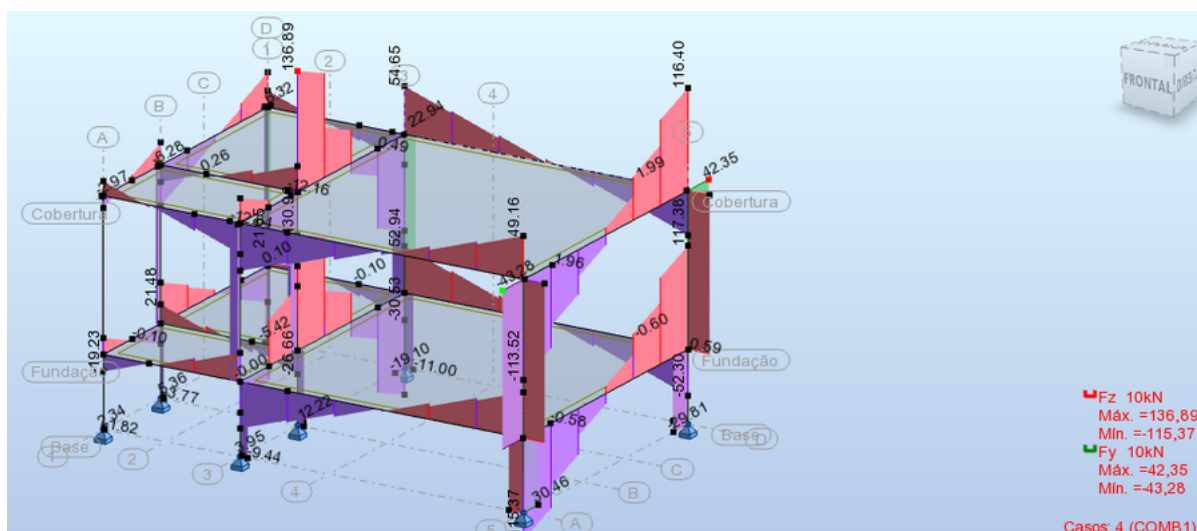
Fonte: O autor (2017)

5.3.2 Análise dos dados gerados

Por fim a estrutura foi calculada para avaliar se o pré dimensionamento atendia as solicitações da estrutura. O Robot gerou um relatório do sistema com elementos aprovados em sua análise. Os perfis usados foram os IPE 220, IPE 240, que por meio da tabela da (GERDAU, , pag.: 5) se equivalem aos perfis W 200x31,3 e W 310x23,8.

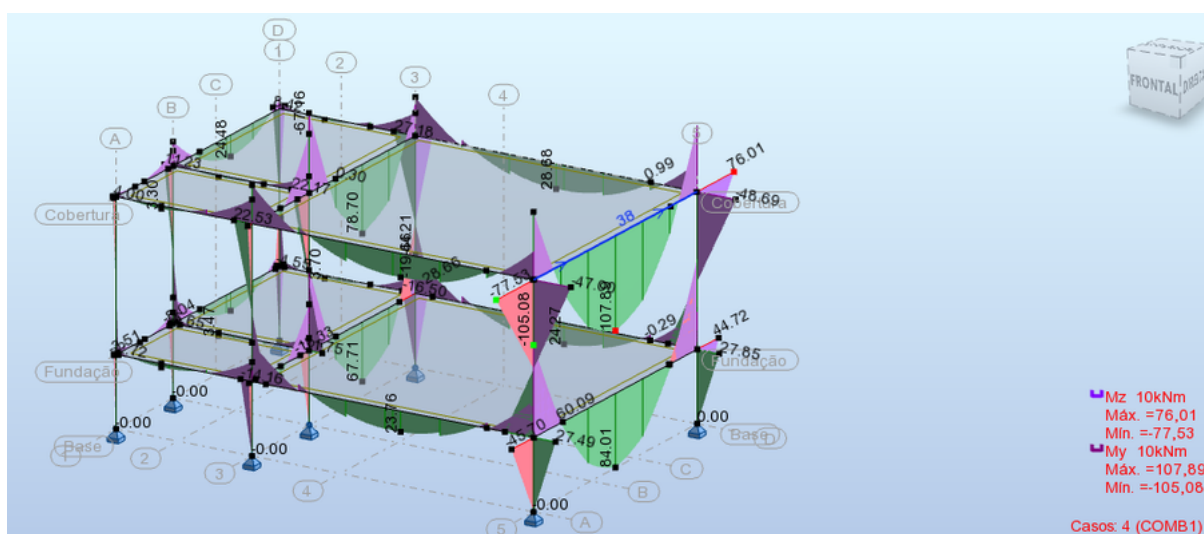
Além disso foram gerados os diagramas de cisalhamento e de momento fletor na estrutura, como pode-se conferir nas figuras 19 e 20:

Figura 19 – Diagrama de esforço cortante



Fonte: O autor (2017)

Figura 20 – Diagrama de momento fletor

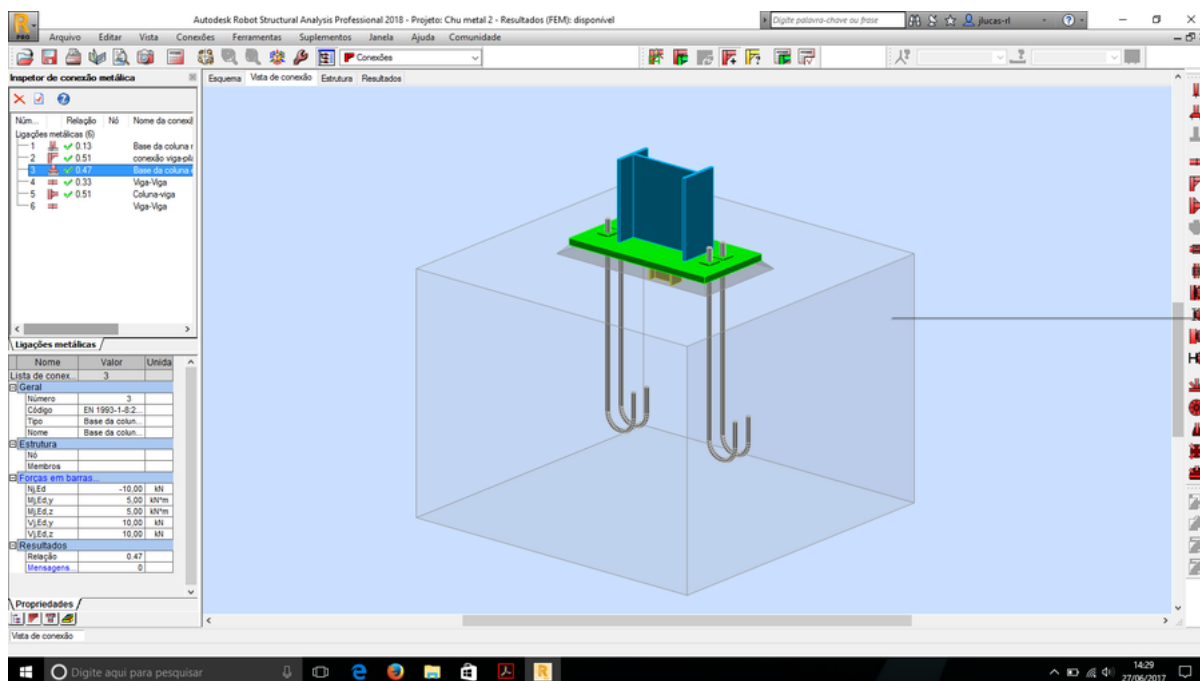


Fonte: O autor (2017)

5.3.3 Detalhamento das ligações

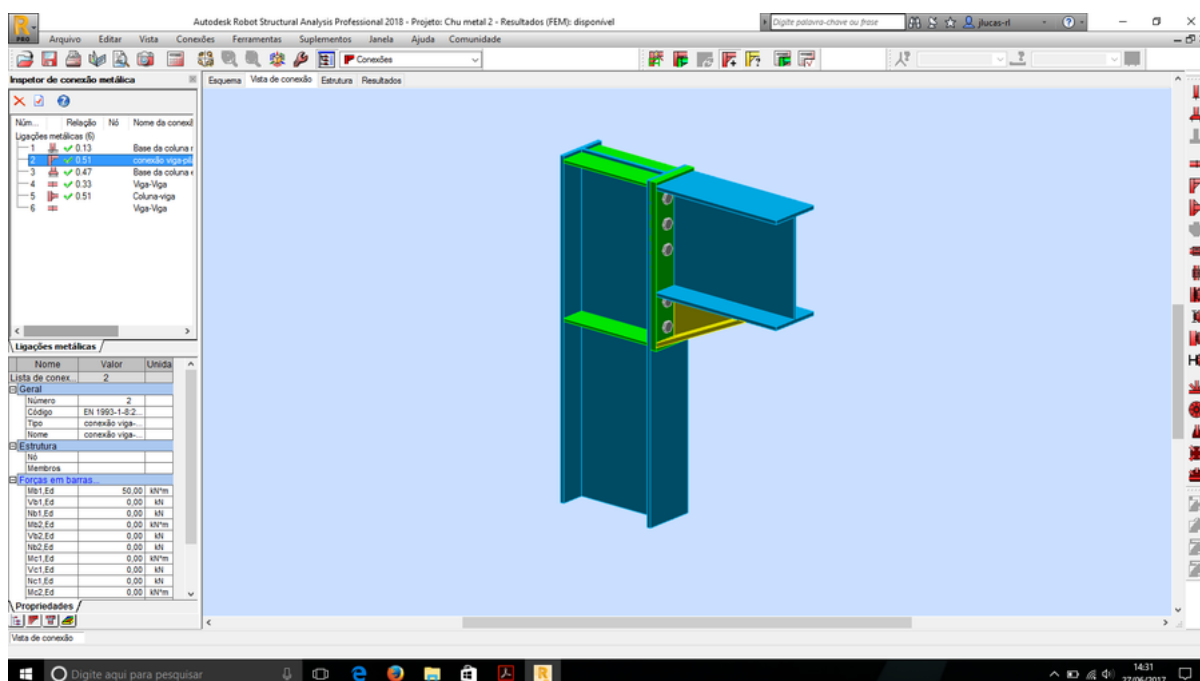
Efetuada os cálculos de verificação das peças, foi então dimensionado as ligações da estrutura. As figuras 21, 22 e 23 mostram o detalhamento das conexões:

Figura 21 – Base engastada



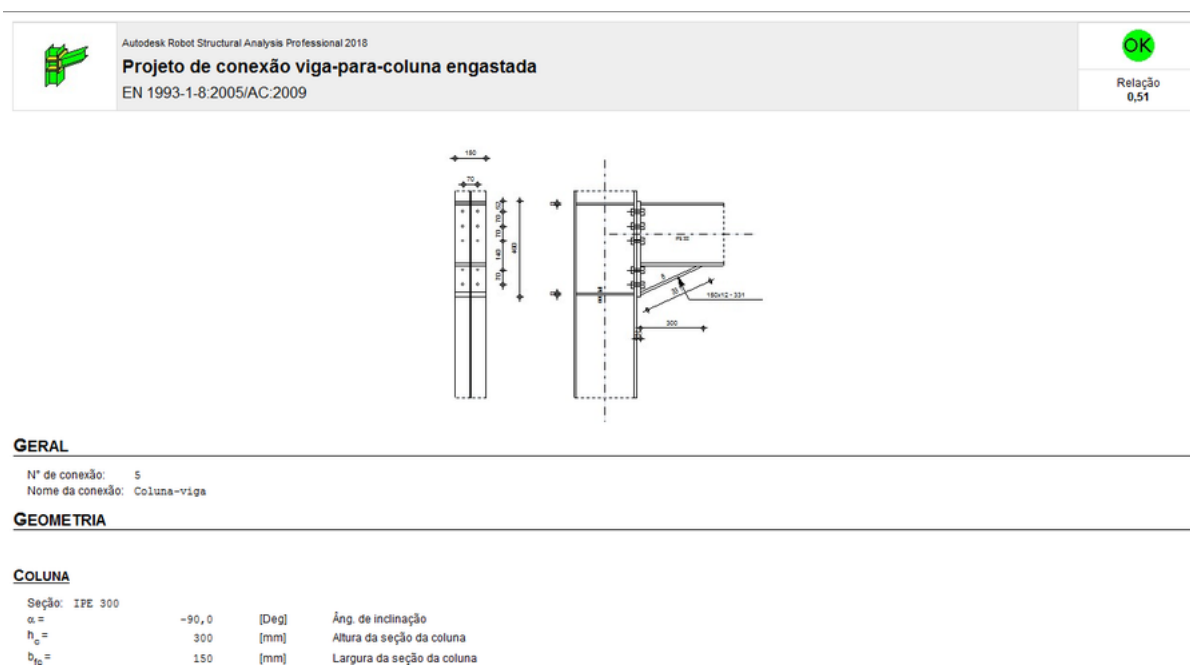
Fonte: O autor (2017)

Figura 22 – Conexão viga pilar



Fonte: O autor (2017)

Figura 23 – Detalhamento das conexões da viga coluna

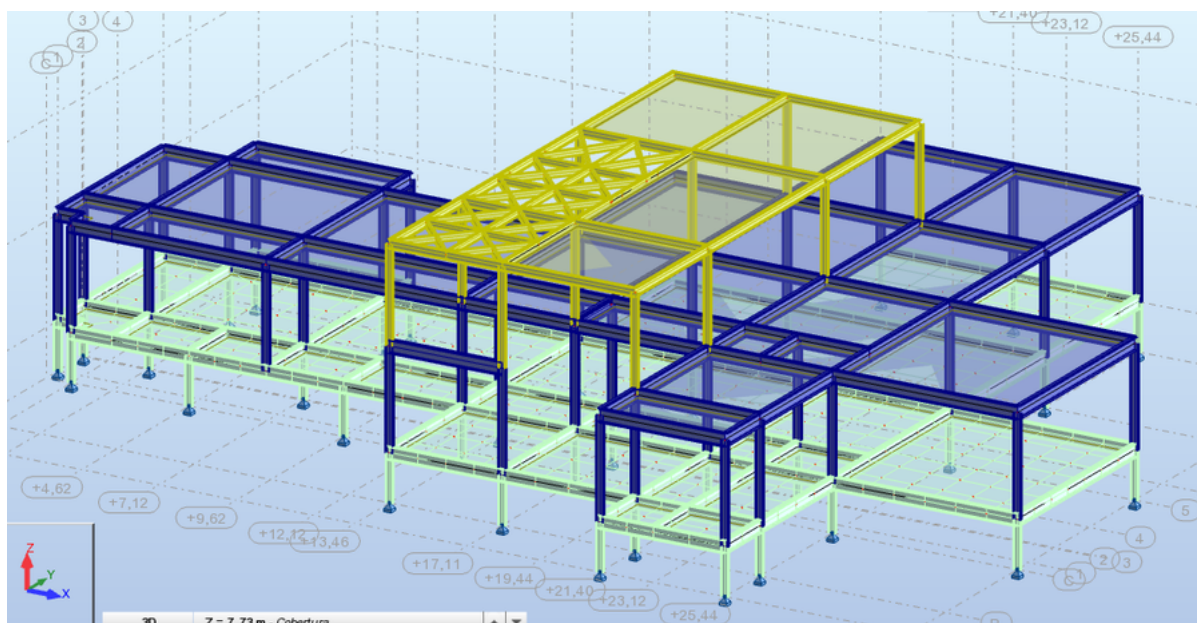


Fonte: O autor (2017)

5.4 Lançamento da estrutura metálica da casa

O lançamento desse projeto foi praticamente o mesmo da estrutura da churrasqueira com a diferença de que foram inseridas vigas contínuas que posteriormente foram seccionadas com a ferramenta “interseção” para que a instabilidade fosse evitada. A conclusão do lançamento pode ser visto na figura 24 a seguir:

Figura 24 – Pórtico 3D da casa em estrutura metálica



Fonte: O autor (2017)

5.4.1 Análise dos dados gerados

O resultado da análise feita do pré dimensionamento realizado inicialmente, não foi positivo. A concepção inicial do projeto da estrutura não conseguiu atender as solicitações fazendo com que todos os perfis fossem trocados, ou seja, houve um redimensionamento de toda a estrutura para que se conseguisse chegar ao resultado aprovado pelos cálculos feitos pelo software.

5.4.2 Correção da estrutura e novo lançamento

Sucessivos lançamentos foram feitos até que fosse obtida a estrutura com elementos corretos às cargas. Os perfis usados nessa estrutura foram o IPE 220, IPE 240, IPE 270 e IPE 400, que, pela tabela da (GERDAU, , pag.: 5), são, respectivamente W 200x31,3; W 310x23,8 ; W 310x38,7 e W 460x60.

Após verificação o Robot gerou um relatório da análise da estrutura que pode ser visto no anexo B deste trabalho.

5.5 Projeto de concreto armado

A primeira etapa consiste em realizar a edificação proposta em concreto armado. O software utilizado para a realização do projeto estrutural foi o AltoQI Eberick, versão V8. Este é um software que trabalha somente com concreto armado, porém é muito eficiente. Possui um ambiente de modelagem amigável e bem intuitivo. O Eberick além de realizar a modelagem, análise dos esforços e dimensionamento, também gera as

pranchas executivas que serão enviadas para campo. Ele já vem configurado com todos os padrões da NBR 6118:2014, e não há necessidade de alterar tais parâmetros, a não ser em caso de necessidade do projetista.

Seguindo a Norma NBR 6118:2014, as primeiras etapas para confecção do projeto é definir quais são os parâmetros e critérios da edificação. Primeiro verifica-se aonde será inserida a edificação para se obter a Classe de Agressividade Ambiental, e com isso definir parâmetros do concreto. A edificação encontra-se em Brasília, Distrito Federal, o que a enquadra na Classe de Agressividade Ambiental igual a II, o que nos direciona para o tipo de concreto e os cobrimentos, que são: concreto classe C25 e os cobrimentos de acordo com as peças.

5.5.1 Configurações básicas antes do lançamento

Para a introdução dos cobrimentos no Eberick, deve-se ir para a aba Configurações, e acessar o item Materiais e durabilidade.

Resumindo, o projeto ficou com as seguintes propriedades:

- Classe C25 (fck 25 Mpa);
- Classe de Agressividade II (Moderada);
- Cobrimento de 3cm para Vigas e Pilares internos e externos;
- Cobrimento de 2,5cm para Lajes Internas.

5.6 Lançamento da estrutura de concreto armado da churrasqueira

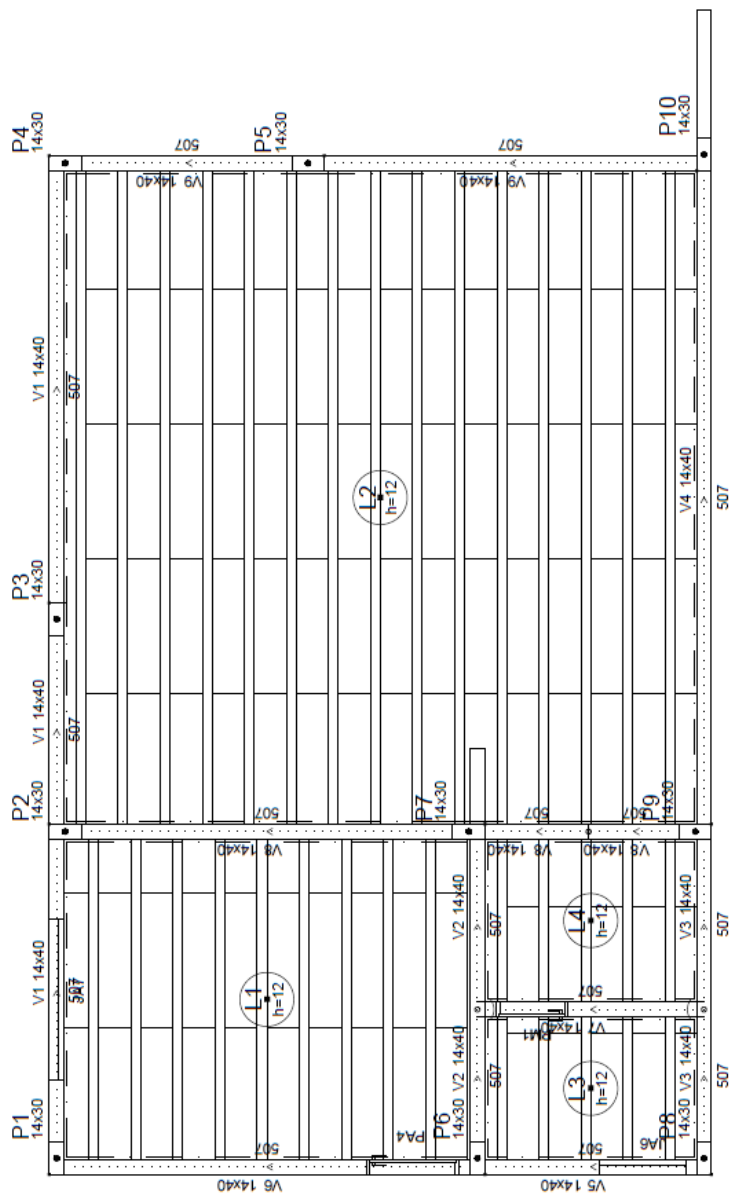
O lançamento estrutural consiste em dispor as peças estruturais em um projeto arquitetônico a fim de garantir a melhor precisão possível. Para o lançamento estrutural, a melhor opção é realizar a impressão dos projetos em tamanho adequado, afim de realizar a marcação dos pilares, evitando assim interferências e a necessidade de vigas de transição e outros pontos que encarecem as estruturas.

O Eberick traz uma opção interessante na questão da visualização das interferências dos pavimentos, é o comando “visualização personalizada”. Neste projeto não houve interferências que trouxessem algum impedimento ou abrir mão de algum artifício mais detalhado de cálculo para a estrutura.

Os pilares foram lançados de forma a trabalharem com maior rigidez possível e afastados em média de 4 a 6 m no máximo, afim de não gerar vãos muito grandes, o que influenciaria muito na altura das vigas.

Confere-se pelas figuras 25 e 26 as formas da churrasqueira:

Figura 26 – Cobertura da estrutura de concreto armado de churrasqueira



Fonte: O autor (2017)

Foram usadas vigas com mais ou menos 1/10 (Um décimo) do vão teórico entre pilares, que foram padronizadas em 14 x 40. Foram usados 14 centímetros de largura, pois assim as vigas ficariam embutidas nas alvenarias.

Todas as vigas foram calculadas com carga extra de parede, opção essa que o Eberick traz no momento do lançamento das vigas.

Os pilares, foram pré dimensionados de acordo com a NBR 6118, contendo uma área mínima de 360 cm², como traz o item 13.2.3. No caso, foram usadas duas dimensões de pilares, são eles os de 14x30 e o de 20x20.

A seção transversal de pilares e pilares parede maciços, qualquer que seja a sua forma, não pode apresentar dimensão menor que 19 cm. (NBR 6118, 2014, item 13.2.3)

5.6.1 Análise dos dados gerados

Após todo o lançamento da estrutura, deve-se então processá-la. Primeiro com a opção “Análise Estática Linear”, pois a partir dela irão se obter os esforços que irão orientar o usuário.

Este processamento irá gerar os esforços de carregamento, momentos fletores e esforços cortantes que estarão atuando sobre a estrutura. O pórtico 3D (figura 27) e o pórtico de análise de momentos fletores também estarão disponíveis após esta primeira verificação.

Após esta verificação inicial, deve-se verificar peça a peça os momentos fletores, e como estão as formas de apoio das vigas, principalmente nas vigas apoiando em vigas.

A análise linear inicial foi correta e posteriormente pode-se verificar o dimensionamento da estrutura pelo programa.

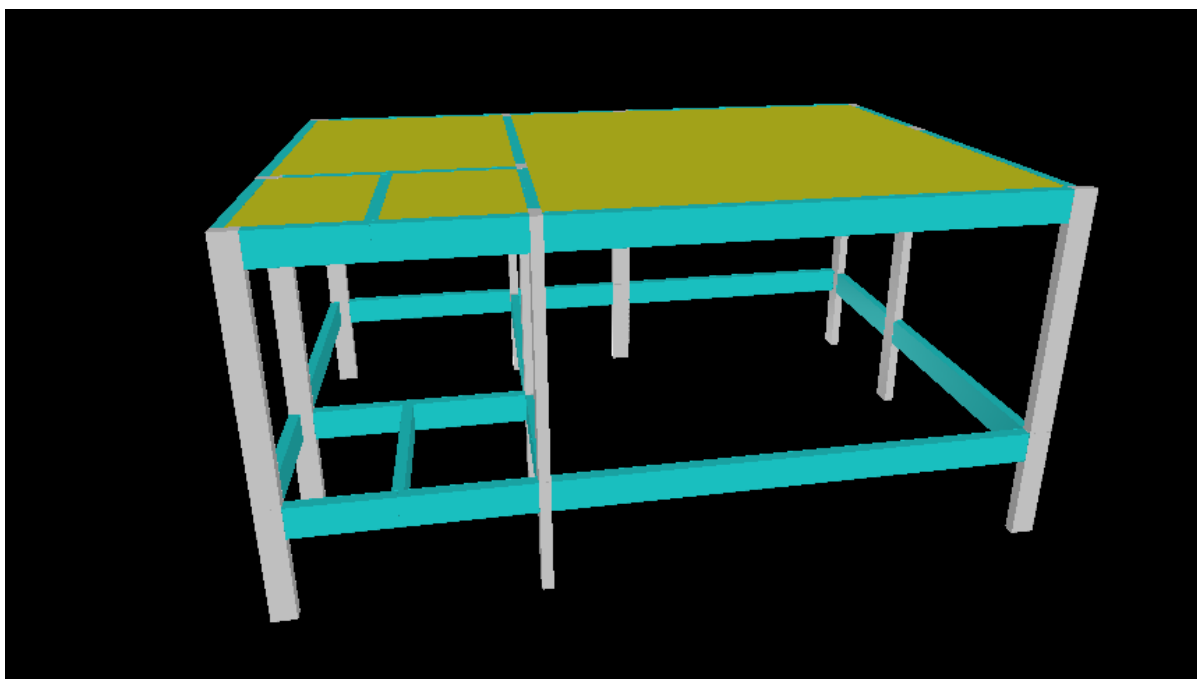
É importante ressaltar que nesse momento já é possível comparar as estruturas, visto que ambas já foram lançadas e analisadas até esta etapa. Com isso, é perceptível a mudança quanto a quantidade de pilares, pois a estrutura metálica consegue vencer vãos maiores, e, portanto, foi possível se usar dois pilares a menos do que a estrutura de concreto armado. Ainda sobre esse ponto, na geração do resultado dessa estrutura em concreto armado, os pilares P3 e P5, que não estão presentes na estrutura metálica e estão presentes nessa, mostraram problemas quanto a seu travamento. Quanto a isso, pode-se solucionar esse problema com alguns pontos destacados a seguir:

- 1) Modificando a posição do pilar;
- 2) Girando/rotacionando o pilar;

- 3) Criar uma ligação semi rígida;
- 4) Travar com viga.

Para o trabalho, foi escolhida a solução de número três, pois não geraria problemas quanto a arquitetura do projeto e nem se usaria mais material para confeccionar uma viga de travamento.

Figura 27 – Pórtico 3D da churrasqueira em concreto armado



Fonte: O autor (2017)

5.7 Lançamento da estrutura de concreto armado da casa

O procedimento para o dimensionamento da casa foi o mesmo da churrasqueira, com os mesmos parâmetros, com diferença apenas da presença da laje maciça para a escada.

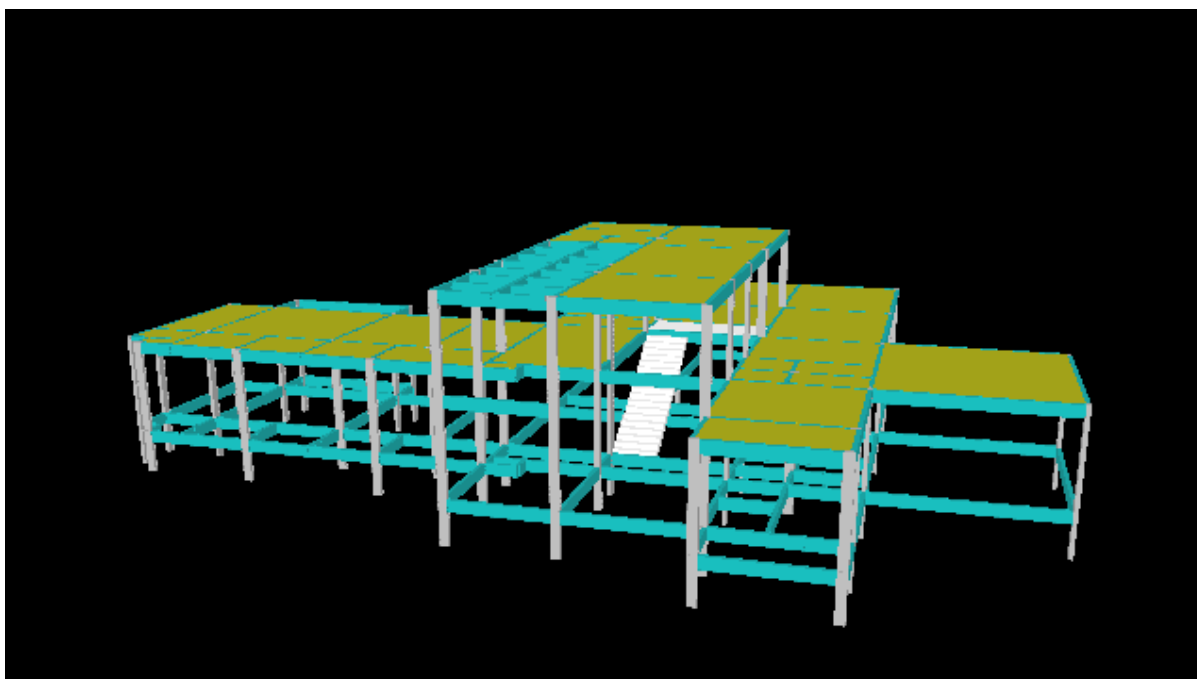
No anexo C pode-se verificar o dimensionamento realizado.

5.7.1 Análise dos dados gerados

A estrutura fora então lançada e analisada. Em um primeiro momento foram anunciados erros em duas vigas do térreo, que estavam sem carga, mas que prontamente foram corrigidas.

A seguir é tem-se o pórtico (figura 28) gerado da casa em concreto armado.

Figura 28 – Pórtico 3D da casa em concreto armado



Fonte: O autor (2017)

6 Orçamento

Após o levantamento de todo o material usado nas duas estruturas, foi gerado portanto o orçamento de ambas de forma separada para melhor análise e visualização.

O orçamento foi gerado pelo Orçafascio, software online gratuito, que possui como base de insumos a tabela SINAPI e pelo gerador de preços da (CYPE, 2017).

A seguir mostram-se os orçamentos das estruturas nos quadros 4 e 5:

Quadro 4 – Orçamento das estruturas em concreto armado

Descrição do Orçamento				Bancos Utilizados				
Concreto armado				SINAPI - 04/2017 - DF				
Planilha Orçamentária Sintética								
Item	Código	Banco	Descrição	Tipo	Und	Quant.	Valor Unit	Total
1	Orçamento Churrasqueira em Estrutura de Concreto							11.993,74
1.1	00034449	SINAPI	ACO CA-50, 6,3 MM, DOBRADO E CORTADO	Material	KG	1,70	4,50	7,65
1.2	00000033	SINAPI	ACO CA-50, 8,0 MM, VERGALHAO	Material	KG	138,30	4,51	623,73
1.3	00034439	SINAPI	ACO CA-50, 10,0 MM, DOBRADO E CORTADO	Material	KG	252,40	4,31	1.087,84
1.4	00034441	SINAPI	ACO CA-50, 12,5 MM, DOBRADO E CORTADO	Material	KG	31,40	4,09	128,43
1.5	00034443	SINAPI	ACO CA-50, 16 MM, DOBRADO E CORTADO	Material	KG	52,20	4,09	213,50
1.6	00034456	SINAPI	ACO CA-60, 5,0 MM, DOBRADO E CORTADO134,1	Material	KG	119,60	3,99	477,20
1.7	00034493	SINAPI	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C25, COM BRITA O E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, EXCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	Material	m³	28,10	223,24	6.273,04
1.8	00001358	SINAPI	CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA PARA FORMA DE CONCRETO, DE *2,2 X 1,1* M, E = 17 MM	Material	m²	44,50	22,75	1.012,38
1.9	00003738	SINAPI	LAJE PRE-MOLDADA CONVENCIONAL (LAJOTAS + VIGOTAS) PARA PISO, UNIDIRECIONAL, SOBRECARGA DE 350 KG/M2, VAO ATE 5,00 M (SEM COLOCACAO)	Material	m²	54,29	39,97	2.169,97
2	Orçamento Casa em Estrutura de Concreto							68.911,64
2.1	00034449	SINAPI	ACO CA-50, 6,3 MM, DOBRADO E CORTADO	Material	KG	6,60	4,50	29,70
2.2	00000033	SINAPI	ACO CA-50, 8,0 MM, VERGALHAO	Material	KG	1.028,50	4,51	4.638,54
2.3	00034439	SINAPI	ACO CA-50, 10,0 MM, DOBRADO E CORTADO	Material	KG	834,00	4,31	3.594,54
2.4	00034441	SINAPI	ACO CA-50, 12,5 MM, DOBRADO E CORTADO	Material	KG	209,50	4,09	856,86
2.5	00034443	SINAPI	ACO CA-50, 16 MM, DOBRADO E CORTADO	Material	KG	279,30	4,09	1.142,34
2.6	00034456	SINAPI	ACO CA-60, 5,0 MM, DOBRADO E CORTADO	Material	KG	664,30	3,99	2.650,56
2.7	00001524	SINAPI	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20, COM BRITA O E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, INCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	Material	m³	38,50	250,00	9.625,00
2.8	00001527	SINAPI	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C25, COM BRITA O E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, INCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	Material	m³	52,70	260,52	13.729,40
2.9	00001358	SINAPI	CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA PARA FORMA DE CONCRETO, DE *2,2 X 1,1* M, E = 17 MM	Material	m²	686,50	22,75	15.617,88
2.10	00003738	SINAPI	LAJE PRE-MOLDADA CONVENCIONAL (LAJOTAS + VIGOTAS) PARA PISO, UNIDIRECIONAL, SOBRECARGA DE 350 KG/M2, VAO ATE 5,00 M (SEM COLOCACAO)	Material	m²	425,99	39,97	17.026,82
Total Geral							R\$ 80.905,38	

Fonte: O autor (2017)

Quadro 5 – Orçamento das estruturas metálicas

Descrição do Orçamento				Bancos Utilizados				
Metálicas				SINAPI - 04/2017 - DF				
				CYPE				
Planilha Orçamentária Sintética								
Item	Código	Banco	Descrição	Tipo	Und	Quant.	Valor Unit	Total
1			Churrasqueira Estrutura Metálica					5.661,32
1.1	00011174	SINAPI	PRIMER UNIVERSAL, FUNDO ANTICORROSIVO TIPO ZARCAO	Material	18L	5,00	384,80	1.924,00
1.2	00003738	SINAPI	LAJE PRE-MOLDADA CONVENCIONAL (LAJOTAS + VIGOTAS) PARA PISO, UNIDIRECIONAL, SOBRECARGA DE 350 KG/M2, VAO ATE 5,00 M (SEM COLOCACAO)	Material	m²	54,29	39,97	2.169,97
1.3		CYPE	PERFIL CVS 250X30 - W 200x31,3 - IPE 220 O	Material	KG	480,00	2,35	1.128,00
1.4		CYPE	PERFIL CVS 300X23 - W 310x23,8 - IPE 240	Material	KG	437,00	2,35	439,35
2			Casa Estrutura Metálica					117.357,34
2.1	00011174	SINAPI	PRIMER UNIVERSAL, FUNDO ANTICORROSIVO TIPO ZARCAO	Material	18L	15,00	384,80	5.772,00
2.2		CYPE	PERFIL CVS 250X30 - W 200x31,3 - IPE 220 O	Material	KG	4.031,10	2,35	9.473,09
2.3		CYPE	PERFIL CVS 300X23 - W 310x23,8 - IPE 240	Material	KG	2.521,26	2,35	5.924,96
2.4		CYPE	PERFIL VS 300X37 - W 310x38,7 - IPE 270 O	Material	KG	3.627,11	2,35	8.523,71
2.5		CYPE	PERFIL VS 450X60 - W 460x60 - IPE 400	Material	KG	30.058,20	2,35	70.636,77
2.6	00003738	SINAPI	LAJE PRE-MOLDADA CONVENCIONAL (LAJOTAS + VIGOTAS) PARA PISO, UNIDIRECIONAL, SOBRECARGA DE 350 KG/M2, VAO ATE 5,00 M (SEM COLOCACAO)	Material	m²	425,99	39,97	17.026,82
Total Geral								R\$ 123.018,66

Fonte: O autor (2017)

Deve-se salientar que tentou-se realizar também um orçamento que contempla-se os serviços das respectivas estruturas e então comparar, de forma mais específica, cada um. Entretanto, o Orçafascio não disponibiliza a montagem do orçamento quando o mesmo ultrapassa o valor de R\$ 100.000,00, a não ser que se pague um plano dentro do programa.

Por isso, para os orçamentos, não foi considerado os valores dos Benefícios e Despesas Indiretas (BDI), que nada mais é que o percentual que deve ser aplicado sobre o custo direto dos itens do mapa de trabalho da obra, para se chegar ao preço de venda, em outras palavras, o BDI é a majoração percentual que o preço de venda representa sobre o custo direto.

7 Conclusão

Quanto ao uso dos softwares, ambos são competentes nas funções em que são atribuídas, porém há limitações ou dificuldades no uso dos mesmos. Com o Eberick não é possível fazer a modelagem da estrutura em 3D, apenas em 2D (planta baixa) e ele não trabalha com estruturas metálicas, diferente do Robot que faz a análise do projeto tanto em concreto armado quanto em aço, além de projetar em 3D/2D.

Pode-se gerar a dúvida do porquê o trabalho não foi feito com apenas um programa, no caso, o Robot, devido a sua ampla aplicabilidade. Entra-se então novamente no detalhe de que tal programa não possui a configuração requerida para correta análise e aceitação legal de seus resultados, já que os cálculos de origem partem de normas internacionais, sendo assim um limitador de tempo, pois isso não impede seu uso, por que, como dito, é possível fazer alterações em seus parâmetros de projeto para estruturas locais. É um software pouco difundido no mercado brasileiro justamente por essa ressalva, e com isso não se tem tantas informações de seu uso levando então tempo para se aprender a usá-lo.

A escolha portanto do uso de dois programas se deu simplesmente pelo tempo que iria ser gasto no aprendizado total de apenas um programa para o cálculo de duas estruturas distintas, considerando ainda que se é conhecido o funcionamento do Eberick para o dimensionamento da estrutura em concreto armado.

Quanto aos valores dos orçamentos, foi observado que não ter considerado os valores de serviços para a execução de cada uma das estruturas, deixa um espaço para uma análise mais detalhada e geral sobre qual obra seria mais econômica. Para este ponto, leva-se em conta o tempo que se levou para realizar o dimensionamento das estruturas em diferentes programas como fator principal, pois caso não precisasse de um estudo mais a fundo de um dos softwares de estruturas para o lançamento dos projetos, sobraria tempo hábil para que fosse feito então um orçamento com os serviços das obras de cada projeto. De qualquer forma, verificou-se que o valor da diferença apenas entre os materiais utilizados em cada estrutura é de R\$ 42.113,30, ou seja, a estrutura de concreto armado é 52,05% mais econômica que a metálica. Não foi considerado as perdas de material, embora seja evidente que a estrutura em aço possui menor perda, considerando que a quantidade de material usado em relação a de concreto armado é menor.

Quanto ao que diz respeito a execução, a estrutura metálica, apesar de ter apresentado maior custo, leva menor tempo para ser feita, o que é benéfico dependendo da finalidade e objetivo de quem está investindo na obra.

Como se pode deduzir, não é possível cravar qual o melhor material para estruturas. Para cada caso, é possível se ter uma uma resposta diferente, pois leva-se em conta variáveis como custo, prazo, estética e partido arquitetônico.

Focando em residências de alto padrão, ambos os materiais apresentam bom resultado. Inclusive, eles não tem necessariamente que ser utilizados isoladamente. Pode-se fazer combinações e composições com esses materiais, aproveitando as vantagens de cada um e minimizando as desvantagens.

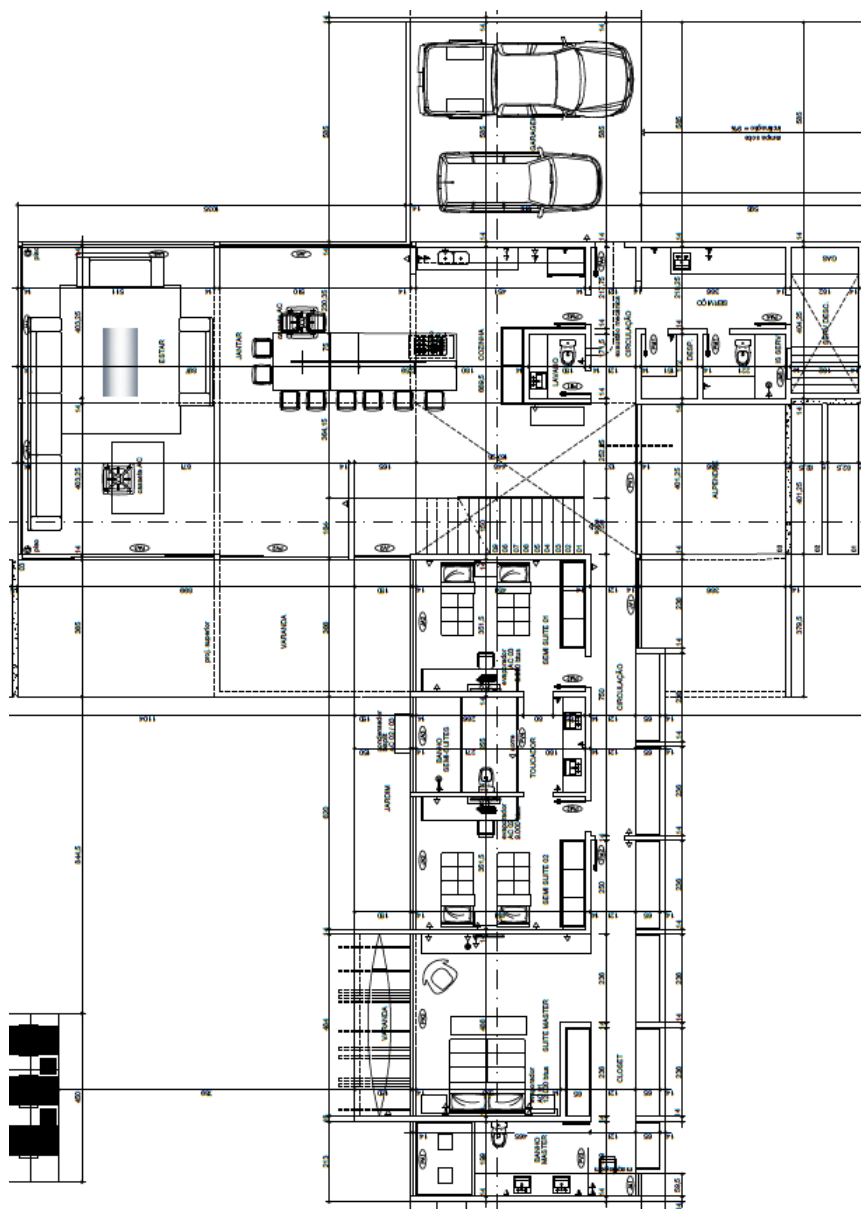
8 Trabalhos futuros

Lembrando que além dos dois materiais que aqui foram tratados, ainda se tem várias outras opções materiais estruturais, como concreto protendido, alvenaria estrutural, steel frame, concreto pré moldado, bambu, etc. Por serem muitas opções, o trabalho foi desenvolvido nas mais comuns e mais utilizadas, mas fica sugerido o estudo comparativo desses outros materiais com aplicabilidade estrutural.

9 Anexos

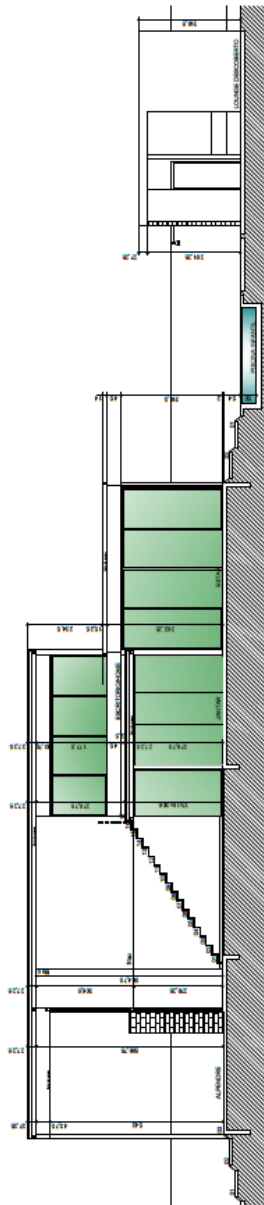
- **Anexo A - Plantas baixa e de corte**

Figura 30 – Planta baixa do pavimento térreo da casa



Fonte: O Autor (2017)

Figura 32 – Corte AA



Fonte: O Autor (2017)

- **Anexo B - Relatório casa em estrutura metálica**

Figura 34 – Página um do relatório da casa metálica

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018							Ficheiro: Casa 5.rtd
Autor:							Projecto: Casa 5
Morada:							
Membro	Seção	Material	Lay	Laz	Relação	Caso	
1	☑ IPE 400	STEEL A36	15.11	63.29	0.00	1 Peso Próprio	
2	☑ IPE 400	STEEL A36	15.11	63.29	0.00	1 Peso Próprio	
3	☑ IPE 400	STEEL A36	15.11	63.29	0.00	1 Peso Próprio	
4	☑ IPE 400	STEEL A36	7.92	33.16	0.00	1 Peso Próprio	
5 Coluna_5	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
6 Coluna_6	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
7 Coluna_7	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
8 Coluna_8	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
9	☑ IPE 400	STEEL A36	15.11	63.29	0.00	1 Peso Próprio	
10 Coluna_10	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
11	☑ IPE 400	STEEL A36	15.11	63.29	0.00	1 Peso Próprio	
12	☑ IPE 400	STEEL A36	15.11	63.29	0.00	1 Peso Próprio	
13 Coluna_13	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
14 Coluna_14	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
15	☑ IPE 400	STEEL A36	23.21	97.22	0.00	1 Peso Próprio	
16 Coluna_16	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
17	☑ IPE 400	STEEL A36	10.39	43.54	0.00	1 Peso Próprio	
18	☑ IPE 400	STEEL A36	25.93	108.61	0.00	1 Peso Próprio	
19	☑ IPE 400	STEEL A36	10.39	43.54	0.00	1 Peso Próprio	
20	☑ IPE 400	STEEL A36	14.02	58.73	0.00	1 Peso Próprio	
21 Coluna_21	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
22 Coluna_22	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
23 Coluna_23	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
24 Coluna_24	☑ IPE 240	STEEL A36	15.04	55.70	0.00	1 Peso Próprio	
25 Coluna_25	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
26	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
27 Coluna_27	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
28	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
29 Coluna_29	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
30 Coluna_30	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
31 Coluna_31	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
32 Coluna_32	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
33 Coluna_33	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
34 Coluna_34	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
35	☑ IPE 400	STEEL A36	14.02	58.73	0.00	1 Peso Próprio	
36	☑ IPE 400	STEEL A36	10.39	43.54	0.00	1 Peso Próprio	
37 Coluna_37	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
38 Coluna_38	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
39 Coluna_39	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
40 Coluna_40	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
41 Coluna_41	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
42 Coluna_42	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
43 Coluna_43	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
44 Coluna_44	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
45 Coluna_45	☑ IPE 220	STEEL A36	16.46	60.54	0.00	1 Peso Próprio	
46	☑ IPE 400	STEEL A36	12.57	52.66	0.00	1 Peso Próprio	
47	☑ IPE 400	STEEL A36	27.13	113.67	0.00	1 Peso Próprio	

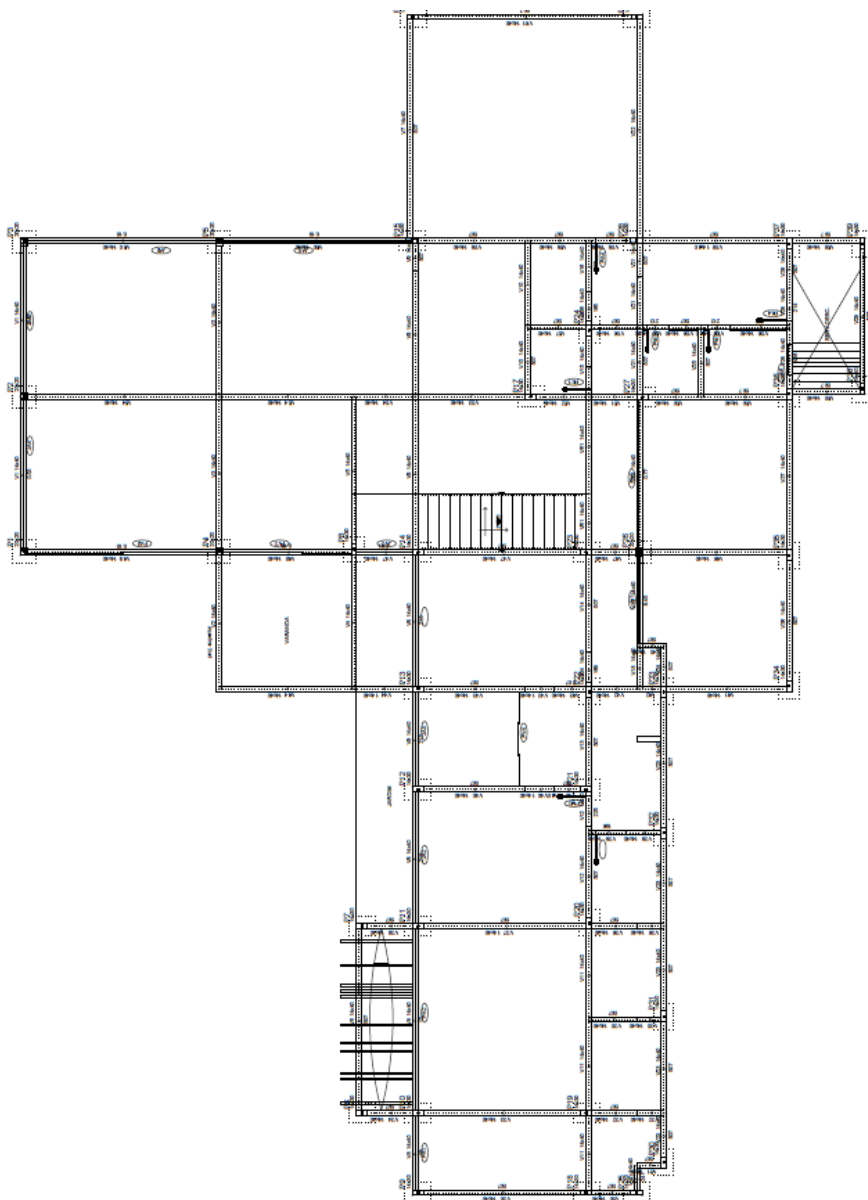
Data : 01/07/17

Página : 1

Fonte: O Autor (2017)

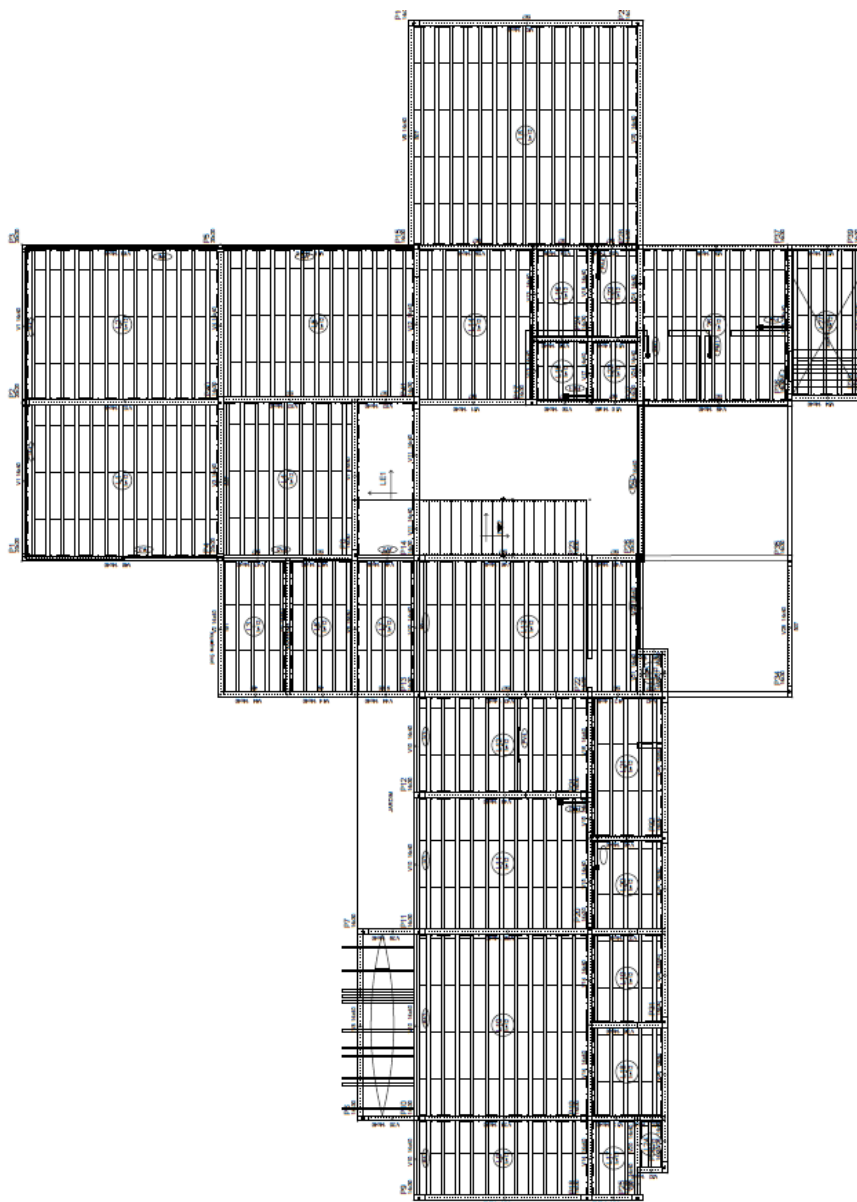
- Anexo C - Dimensionamento em concreto armado da casa

Figura 35 – Térreo da casa em concreto armado



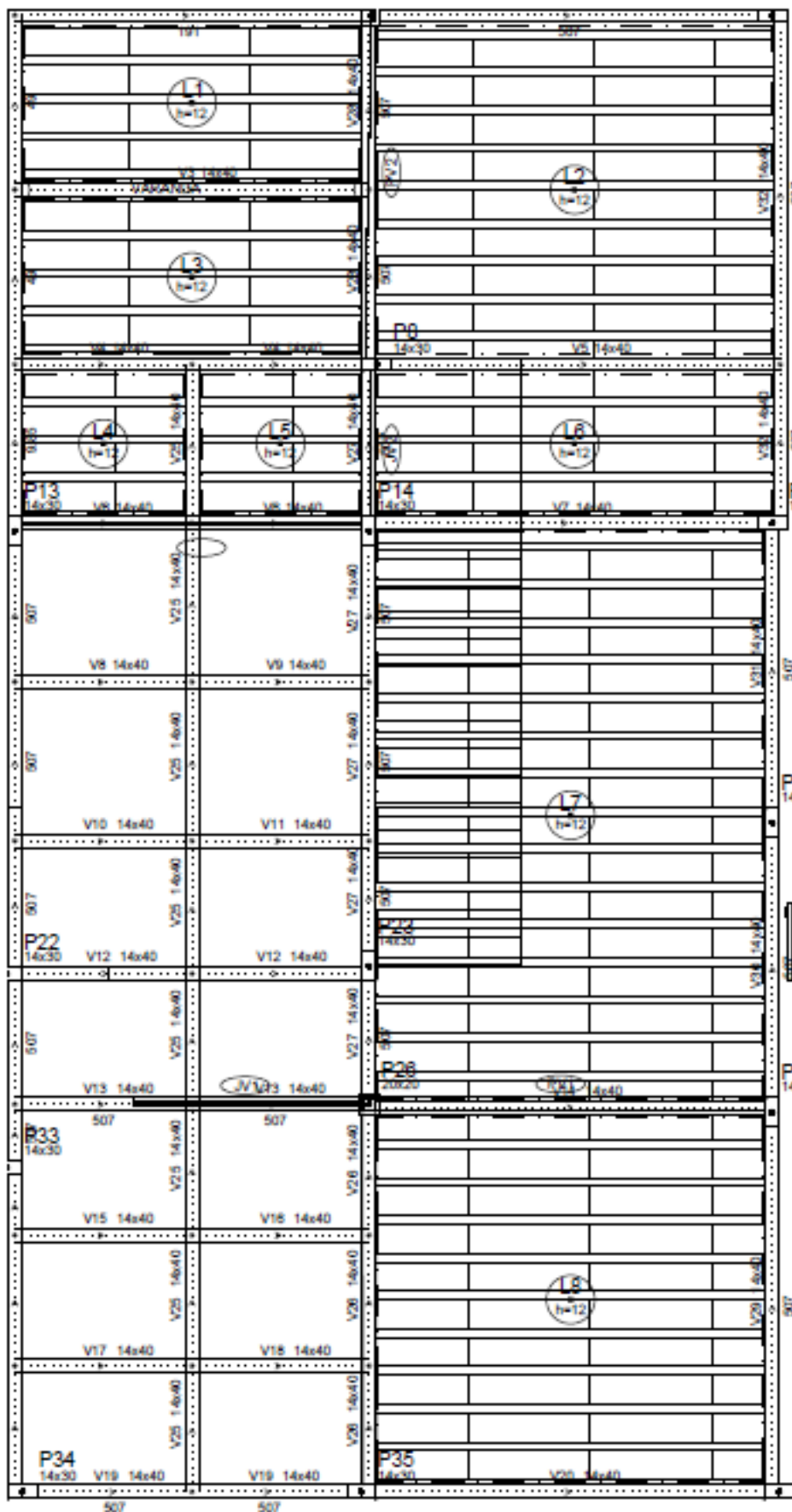
Fonte: O Autor (2017)

Figura 36 – Pavimento superior da casa em concreto armado



Fonte: O Autor (2017)

Figura 37 – Cobertura da casa em concreto armado



Referências

ABNT NBR 7480. *Aço para concreto armado*. [S.l.], 2007.

ARAÚJO, J. M. de. *Curso de Concreto Armado*. 4. ed. Cidade Nova - RS: Editora DUNAS, 2014.

CBCA. *Estabilidade Estrutural de Edifícios em Aço*. 2016. Disponível em: <<http://wwwo.metallica.com.br/estabilidade-estrutural-de-edificios-em-aco>>. Acesso em: 29/06/2017.

CONCRETA.COM, E. *Montagem de Estruturas Metálicas*. Disponível em: <<http://engenhariaconcreta.com/montagem-de-estruturas-metalicas-10-cuidados-essenciais/>>. Acesso em: 01/07/2017.

CYPE. *Gerador de preços*. 2017. Disponível em: <http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra_nova/Estruturas/Aco/Pilares/Aco_em_pilares.html>. Acesso em: 01/07/2017.

GERDAU. *Tabelas de comparações entre perfis*. Disponível em: <<http://www.soufer.com.br/arquivos/laminados/3.pdf>>. Acesso em: 01/07/2017.

NBR; 6123. *NBR 6123 - Forças devidas ao vento em edificações*. Rio de Janeiro, 1988.

NBR 5738. *Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. [S.l.], 2015.

NBR 6118. *NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento*. 3. ed. [S.l.], 2014.

NBR 8800. *NBR 8800 - Projeto em estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios*. 2. ed. [S.l.], 2008.

PFEIL, W.; PFEIL, M. *Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800:2008*. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2009. ISBN 9788521616115.

ROBERTO INABA. *Construções Metálicas: O uso do Aço na Construção Civil*. Disponível em: <<http://wwwo.metallica.com.br/construcoes-metalicas-o-uso-do-aco-na-construcao-civil>>. Acesso em: 27/06/2017.

VARELA, M. *Curso de Estruturas Metálicas*. IF - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, 2016. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/marciovarela/disciplinas/estruturas-metalica-e-madeira/estrutura-metalica/modulo-tracao-apresentacao-apostila>>. Acesso em: 29/06/2017.