

INSTITUTO FEDERAL
Goiano
Campus Rio Verde

ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO ENTRE A LAJE
NERVURADA E MACIÇA EM RIO VERDE - GO**

BALDUINO NETO PEREIRA FALCÃO

Rio Verde, GO

2020

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPOS RIO VERDE
ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO ENTRE A LAJE
NERVURADA E MACIÇA EM RIO VERDE - GO**

BALDUINO NETO PEREIRA FALCÃO

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Campos Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Bruna Vilela Buiatte Silva.

Rio Verde, GO
Fevereiro, 2020

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

Pf185a Pereira Falcão, Balduino Neto
 ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO ENTRE A LAJE
 NERVURADA E MACIÇA EM RIO VERDE - GO / Balduino Neto
 Pereira Falcão;orientadora Bruna Vilela Buiatte
 Silva. -- Rio Verde, 2020.
 52 p.

 Monografia (em Engenharia Civil) -- Instituto
 Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2020.

 1. Aço. 2. Concreto. 3. Economia. 4. Cotação. I.
 Vilela Buiatte Silva, Bruna , orient. II. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- Tese Artigo Científico
 Dissertação Capítulo de Livro
 Monografia – Especialização Livro
 TCC - Graduação Trabalho Apresentado em Evento
 Produto Técnico e Educacional - Tipo:

Nome Completo do Autor: Balduino Neto Pereira Falcão

Matrícula: 2016102200840121

Título do Trabalho: Análise comparativa de custo entre a laje nervurada e maciça em Rio Verde – Go

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 14 /02/2020

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde - Go, 14 / 02 / 2020.
Local Data

Balduino Neto P. Falcão

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Beuna Cibela Buarite Vieira

Assinatura do(a) orientador(a)

ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO ENTRE A LAJE NERVURADA E MACIÇA EM RIO VERDE - GO

Trabalho de Curso DEFENDIDO e APROVADO em 11 de fevereiro de 2020, pela Banca
Examinadora constituída pelos membros:

Bruna V. Buiatti Silva
Professora - Bruna Vilela Buiatte Silva

Gilmar Fernando de Melo Júnior
Engenheiro - Gilmar Fernando de Melo Júnior

Karla Patrícia Pereira Martins
Engenheira - Karla Patrícia Pereira Martins

Rio Verde, GO
Fevereiro, 2020

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por iluminar e guiar sempre meu caminho.

Aos meus pais, Mauruvando e Cláudia, aos meus avós Irene e Antônio, as minhas irmãs e aos meus tios.

A minha namorada Natielly Marques que foi essencial para o começo e o término desse trabalho e que me deu apoio, carinho e suporte.

Agradeço a minha professora orientadora, Bruna Buiatte pela disponibilidade por me orientar e ter transmitido todo conhecimento no decorrer da orientação.

A todos os amigos que fiz durante a graduação e ao nosso bonde do vemcopai e todos por um e familiares que participaram de alguma forma do meu desenvolvimento profissional e pessoal. A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

FALCÃO, Balduino Neto Pereira. **Análise comparativa de custo entre a laje nervurada e maciça em Rio Verde - GO.** 2020. 52 p. Monografia (Curso de Bacharelado de Engenharia Civil). Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2020.

Muito se discute a respeito dos custos envolvidos na execução de uma obra. Dentre as tantas etapas, trazendo assim a metodologia da execução são feitas em ambas as lajes a metodologia iguais. Este trabalho analisa uma obra de grande porte, um prédio residencial contendo 25 (vinte e cinco) pavimentos tipo, com o objetivo de apresentar qual a melhor metodologia de execução de lajes na cidade de Rio Verde – GO, dentre a laje maciça e nervurada. Foi analisado os custos diretos entre os materiais selecionados (aço e concreto). Com o quantitativo dos materiais necessários para o desenvolvimento do trabalho, retirados dos projetos estruturais, foi feita uma cotação dos materiais nas lojas do município, cotando três preços de cada material e utilizando a média aritmética entre eles. Desta forma, foi possível prever qual laje obteve o melhor custo. Entre os resultados, a laje nervurada apresentou o menor custo, em relação a laje maciça, ganhando na economia de concreto, sendo a grande responsável para o custo final. Mesmo a laje nervurada consumindo mais aço se comparada a laje maciça, o resultado final foi expressivo. Sendo assim, foi concluído que a laje nervurada apresentou uma economia referente aos materiais analisados aço e concreto. Por fim, observando a economia gerada apenas em um apartamento, nota-se que o valor não foi significativo, porém ao considerar os 26 (vinte e seis) pavimentos encontra-se uma economia de 74.468,42 reais.

Palavras-chave: Aço, Concreto, Economia, Cotação.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos aços usados para concreto armado.	17
Tabela 2 - Quantidade de aço utilizada na laje maciça.	40
Tabela 3 – Quantidade de aço utilizada na laje nervurada.	42
Tabela 4 - Cotação das lojas.	43
Tabela 5 – Cotação nas concreteiras.	43
Tabela 6 – Preço do aço laje maciça.	44
Tabela 7 – Preço do concreto laje maciça.	44
Tabela 8 – Preço do aço laje nervurada.	45
Tabela 9 – Preço do concreto laje nervurada.	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Nomenclatura das barras de aço.	18
Figura 2 - Produção do concreto simples.	20
Figura 3 - Primeiro registro de construção em concreto armado.	21
Figura 4 - Esforços de tração e compressão no viga de concreto.....	22
Figura 5 - Laje maciça em execução.	25
Figura 6 - Laje moldada in loco.	27
Figura 7 – Laje pré-moldada com vigotas treliçadas.....	28
Figura 8 – Escoras da laje maciça.	31
Figura 9 – Escoras da laje nervurada.....	31
Figura 10 – Formas laje maciça.....	32
Figura 11 – Formas da laje nervurada.	32
Figura 12 – Colocação das armaduras nas lajes nervuradas e maciças.....	33
Figura 13 – Caixas de eletro dutos na laje nervurada.....	34
Figura 14 – <i>Slump Test</i>	35
Figura 15 – Lançamento do concreto.	36
Figura 16 – Adensamento do concreto.....	37
Figura 17 – Layout pavimento tipo.	39
Figura 18 – Projeto laje maciça.	40
Figura 19 – Projeto laje nervurada.	41
Figura 20 – Gráfico comparativo de custo do aço.....	46
Figura 21 – Gráfico comparativo de custo de concreto.....	47
Figura 22 – Gráfico comparativo de custo geral.	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Propriedades do aço.	16
Quadro 2 - Tipos de aço.	17
Quadro 3 - Vantagens do aço.	18
Quadro 4 - Vantagens e desvantagens do concreto armado.	23
Quadro 5 - Vantagens e desvantagens da laje maciça.	26
Quadro 6 - Vantagens e desvantagens da laje nervurada.	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Objetivos.....	13
1.1.1 Objetivo geral	13
1.1.2 Objetivos específicos.....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 Conceito do Aço	15
2.1.1 Vantagens e desvantagens do aço.....	18
2.2 Conceito do Concreto	19
2.3 Concreto Armado	21
2.3.1 Vantagens e desvantagens do concreto armado	23
2.4 Conceito da Laje.....	23
2.5 Conceito da Laje Maciça	24
2.5.1 Vantagens e desvantagens da laje maciça	25
2.6 Conceito da Laje Nervurada.....	26
2.6.1 Vantagens e desvantagens da laje nervurada.....	28
2.7 Execução das Lajes.....	30
2.7.1 Execução das escoras e fôrmas de lajes maciças e nervuradas	30
2.7.2 Colocação das armaduras	33
2.7.3 Instalação de caixas, tubos e eletrodutos	33
2.7.4 Preparação e lançamento do concreto	34
2.7.5 Adensamento e cura do concreto.....	36
2.7.6 Retirada das fôrmas e escoras.....	37
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1 Dados da Edificação Estudada	38
3.2 Projeto Laje Maciça.....	39
3.2.1 Materiais gastos da laje maciça	40

3.3 Projeto Laje Nervurada.....	41
3.3.1 Materiais gastos da laje nervurada.....	41
3.4 Cotações dos Materiais	42
3.4.1 Cotações das lojas.....	42
3.4.2 Cotações nas concreteiras	43
3.4.3 Preço final.....	44
4 RESULTADOS E DISCUSSAO	46
4.1 Análise do Aço	46
4.2 Análise do Concreto	47
4.3 Análise do Aço e Concreto	48
5 CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

Nota-se que a região de Rio Verde - GO é um dos municípios do estado de Goiás que mais cresceu nos últimos anos, devido ao agronegócio e a presença de grandes empresas, que são relevantes para a economia. Com o crescente aumento da população, o município tem sido um ótimo canteiro de obras, principalmente, a grandes empreendimentos imobiliários.

Assim, visando maximizar o aproveitamento do terreno, vários prédios estão sendo construídos, cada vez mais altos, podendo superar trinta lajes. Deste modo, várias famílias podem ocupar a mesma área projetada, e com a grande expansão de condomínios verticais, proporcionando geração de empregos no município.

As lajes são elementos estruturais de concreto, que realiza a divisão entre os pavimentos, sendo apoiada sobre as vigas, que descarregam os esforços nos pilares, e estes transmitem para a fundação, para então serem distribuídos no solo. Além disso, as lajes podem ser moldadas in loco ou executadas à partir de estruturas pré-fabricadas.

O projeto de um edifício é bastante complexo, necessitando de vários profissionais altamente preparados de várias áreas da engenharia, para que seja realizado o empreendimento com sua devida segurança. Ademais, há a necessidade de que a obra seja executada conforme os projetos, visando a segurança e conforto das famílias que irão residir no empreendimento.

A escolha do tipo de laje deve atentar para qual modelo melhor se adapta para o seu devido uso no empreendimento. Deve-se considerar também qual tem melhor custo-benefício, o volume de concreto utilizado, as distâncias entre os vãos e a carga que a laje deve suportar. Portanto, a questão central deste trabalho é relacionar dois tipos de lajes estruturais: a laje nervurada e maciça.

Lajes nervuradas são utilizadas para vencer grandes vãos, suas formas são de um fundo curvo, utilizando menos concreto. As lajes maciças são plataformas compostas por concreto armado, sendo sua função de resistir aos esforços de tração e compressão e sua espessura podendo aumentar ou diminuir conforme o tipo de obra.

A maior diferença entre as lajes nervurada e maciça está na espessura de concreto utilizada para realizar a estrutura, podendo relacionar a quantidade de concreto e aço gastos em cada um desses tipos de estrutura.

Esses empreendimentos no Brasil são bastante utilizados pela alta demanda de espaço geralmente em grandes centros, visto que a falta de lugares para construções horizontais, que utilizam uma grande área, optam para uma construção vertical. Por conseguir reduzir o impacto e tendo uma maior segurança em relação as construções horizontais onde os assaltos são menos frequentes, que usualmente são construídas em cidades com grandes áreas de expansão.

Neste trabalho foi feito um estudo de campo na cidade de Rio Verde - GO, onde serão levantados dados das estruturas do prédio residencial “Cipreste” contendo ao todo 26 (vinte e seis) pavimentos tipo e um duplex com uma área total construída de 14.832,40 m². A partir da análise dos dados coletados, foi verificada qual a estrutura de laje possui o melhor custo-benefício. Tratando-se de uma obra privada, obteve-se autorização para que o estudo fosse desenvolvido.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo analisar qual a melhor laje estrutural, entre laje maciça ou nervurada numa obra de edifício residencial situado na região de Rio Verde – GO, em relação ao custo do concreto e aço a ser utilizado.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Revisão de literatura sobre concreto, concreto armado, lajes, lajes nervuradas e maciças;
- Obter a diferença de custos dos materiais utilizados aço e concreto e a economia gerada ao final da obra;

- Comparar a diferença dos custos das lajes estudadas;
- Análise de custo do aço e do concreto utilizado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Conforme Pinheiro (2007, p.7) as lajes “são placas que, além das cargas permanentes, recebem as ações de uso e as transmitem para os apoios, travam os pilares e distribuem as ações horizontais entre os elementos de contraventamento”. Além disso, a laje é o assunto principal de todo o trabalho onde se trata de seus componentes e custos.

Portanto a revisão de literatura aborda conceitos que foram utilizados para o desenvolvimento do trabalho. Nos tópicos são apresentados aspectos gerais do aço, concreto armado, laje maciça e laje nervurada, dando ênfase ao histórico, materiais, métodos de execução, vantagens e desvantagens. Essa revisão tem a finalidade de proporcionar ao leitor uma melhor compreensão, para facilitar a interpretação dos resultados apresentados.

2.1 Conceito do Aço

A pedra natural e a madeira foram os primeiros materiais a serem empregados nas construções, sendo o ferro e o aço empregados séculos depois (BASTOS, 2006). Segundo Silva (2012, p.3) o aço pode ser definido como “uma liga metálica composta de ferro com pequenas quantidades de carbono, o que lhe confere propriedades específicas, sobretudo de resistência e ductilidade, adequadas ao uso na construção civil”. Felício (2012, p.17) complementa dizendo que “o ferro é encontrado em toda crosta terrestre, fortemente associado ao oxigênio e à sílica. O minério de ferro é um óxido de ferro, misturado com areia fina.”

Observando a resistência desse material, Ferraz (2003, p.2) diz que os aços “resistem bem à tração, à compressão, à flexão, e como é um material homogêneo, pode ser laminado, forjado, estampado, estriado e suas propriedades podem ainda ser modificadas por tratamentos térmicos ou químicos”.

De acordo com Ferraz (2003), outros materiais podem ter as mesmas propriedades do aço, não sendo exclusivas desse material, sendo de suma importância para a sua análise. Quando o aço é submetido aos esforços para testar sua resistência ele apresenta alguns conceitos e propriedades, explicados no Quadro 1.

Quadro 1 - Propriedades do aço.

PROPRIEDADES	COMENTÁRIO
Elasticidade	É a propriedade do metal de retornar à forma original, uma vez removida a força externa atuante;
Plasticidade	É a propriedade inversa à da elasticidade, ou seja, do material não voltar à sua forma inicial após a remoção da carga externa, obtendo-se deformações permanentes;
Ductilidade	É a capacidade do material de se deformar sob a ação de cargas antes de se romper;
Fragilidade	Oposto à ductilidade, é a característica dos materiais que rompem bruscamente, sem aviso prévio
Resiliência	É a capacidade de absorver energia mecânica em regime elástico, ou seja, a capacidade de restituir a energia mecânica absorvida
Tenacidade	É a energia total, plástica ou elástica, que o material pode absorver até a ruptura;
Fluência	São mais uma outra propriedade apresentada pelo aço e metais em geral;
Fadiga	Sendo a ruptura de um material sob esforços repetidos ou cíclicos;
Dureza	É a resistência ao risco ou abrasão: a resistência que a superfície do material oferece à penetração de uma peça de maior dureza.

Fonte: Adaptado Ferraz, 2003.

Para a fabricação do aço as principais matérias-primas envolvidas são o minério de ferro (principalmente a hematita) e o carvão mineral, que não são encontrados puros na natureza; são acompanhados de elementos indesejáveis ao processo (SILVA, 2012).

O aço é muito importante no mundo globalizado nos mais diversos setores da economia, inclusive na área da construção civil. Ele é uma das matérias primas principais, com diversas aplicações tais como armadura de concreto, fundações, viadutos, estruturas metálicas entre outras (IMIANOWSKY; WALENDOWSKY, 2017).

Felício (2012) afirma que “há um número muito grande de formas e tipos de produtos de aço. A grande variedade dos aços disponíveis no mercado deve-se ao fato de cada uma de suas aplicações demandarem alterações na composição e forma”. O autor classifica os tipos de aço sob alguns critérios, sendo eles: carbono, ligados, construções mecânica e ferramenta, expostos no Quadro 2.

Quadro 2 - Tipos de aço.

TIPOS DE AÇO	DEFINIÇÃO
Aços Carbono	São aços ao carbono, ou com baixo teor de liga, de composição química definida em faixas amplas;
Aços Ligados	Especiais: São aços ligados ou de alto carbono, de composição química definida em estreitas faixas para todos os elementos e especificações rígidas;
Aços construção mecânica	São aços ao carbono e de baixa liga para forjaria, rolamentos, molas, eixos, peças usinadas, etc;
Aços ferramenta	São aços de alto carbono ou de alta liga, destinados à fabricação de ferramentas e matrizes, para trabalho a quente e a frio, inclusive aços rápidos.

Fonte: Adaptado Felício, 2012.

A Tabela 1 indica as características dos aços usados para o concreto, que são usualmente chamados de barras.

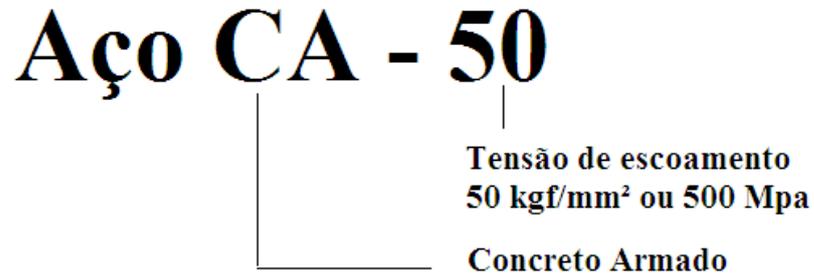
Tabela 1 - Características dos aços usados para concreto armado.

TIPO DE AÇO	LIMITE DE TENSÃO DE ESCOAMENTO (MPA)	LIMITE DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPA)	ALONGAMENTO (%)	% C	% Mn	% P	% S
Aço CA 25	250	300	18	0,12	0,82	0,02	0,04
Aço CA 50	500	540	8	0,26	0,91	0,03	0,026
Aço CA 60	600	660	5	0,12	0,78	0,02	0,031

Fonte: Adaptado ABNT NBR 7480 apud Imianowsky; Walendowsky, 2017.

Como há vários tipos de aço atualmente no mercado, para a execução do projeto há a necessidade de especificar a nomenclatura e a quantidade de barras. As barras vêm marcadas como o exemplo da Figura 1, com o CA – Concreto Armado, seguida de um número que é a tensão de escoamento em kg/mm².

Figura 1 - Nomenclatura das barras de aço.



Fonte: Autor, 2020.

Os aços mais utilizados na construção civil são o CA 25 e o CA 50 fabricados em barras, fabricados por laminação a quente, o CA 60 em fio, fabricado por trefilação ou processo equivalente (estiramento ou laminação a frio) (MILITO, 2009).

2.1.1 Vantagens e desvantagens do aço

Conforme Cortez (2017) a utilização do aço conta com inúmeras vantagens, entre elas a autonomia para usar a imaginação. O autor cita algumas vantagens desse material, apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Vantagens do aço.

VANTAGENS	DESCRIÇÃO
Redução do tempo da obra	O uso de estruturas de aço pode reduzir em até 40% o tempo de execução quando comparado com os processos convencionais, devido ao fato de serem usadas peças pré-fabricadas;
Facilidades no canteiro de obras	Em construções convencionais, há a necessidade de grandes depósitos de areia, brita, cimento, madeiras e ferragens no canteiro de obras, o que não acontece nas construções com estruturas metálicas;
Racionalização de materiais e de mão de obra	Em uma construção convencional, o desperdício de materiais pode chegar a 25% em peso. Em contrapartida, a estrutura metálica permite que esse desperdício seja sensivelmente reduzido;
Maior garantia de qualidade	Por ser uma estrutura pré-fabricada, sua produção ocorre sob um rígido controle existente durante todo o processo industrial, com utilização de uma mão-de-obra altamente qualificada.

Fonte: Adaptado Cortez, 2017.

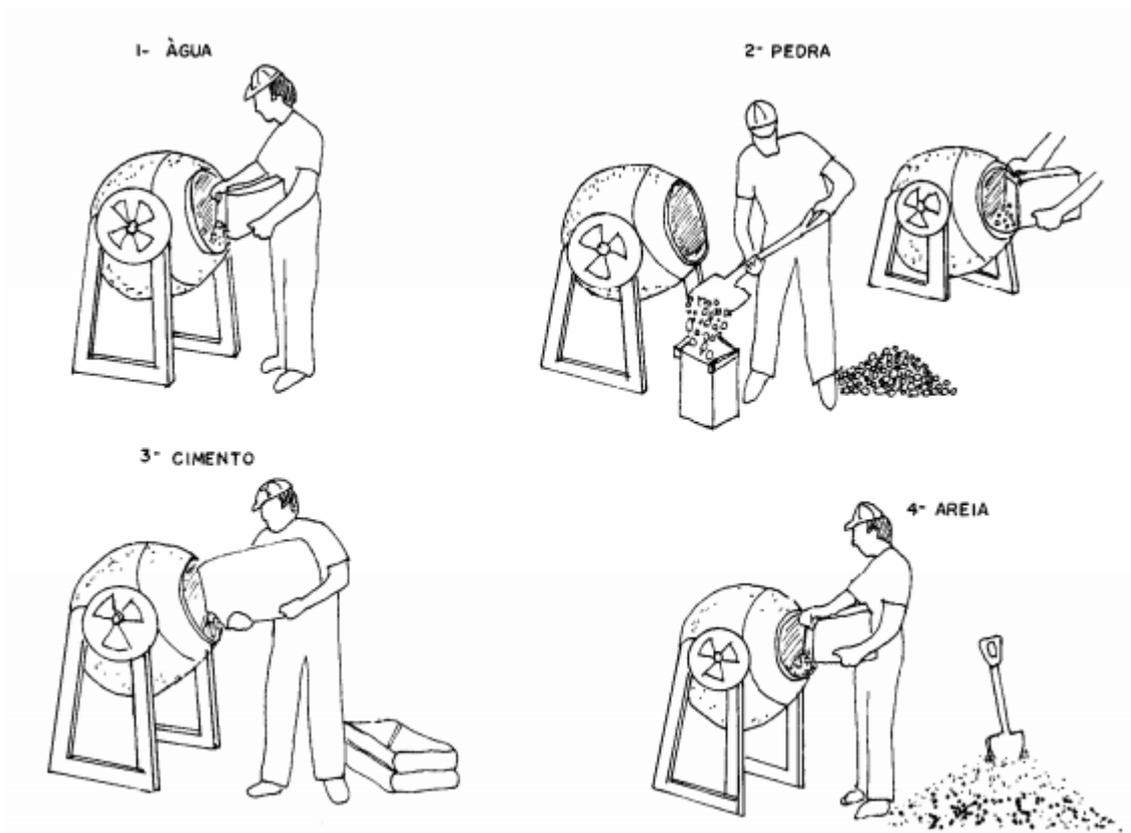
Cortez *et al* (2017, p.221) diz que “como todo material, o aço também possui suas desvantagens, apesar de não serem muito alarmantes devem ser esclarecidas para se ter uma obra totalmente segura”. O custo pode ser relatado como uma desvantagem, além da necessidade de mão de obra qualificada. Destaca-se também a limitação do aço na fabricação de elementos lineares, como a formação de vigas, pilares e treliças, por exemplo. Além da necessidade de tratamento, visto que o aço em contato com o ar atmosférico sofre oxidação.

2.2 Conceito do Concreto

De acordo com Bastos (2006, p.1) concreto é “um material composto, constituído por cimento, água, agregado miúdo (areia), agregado graúdo (pedra ou brita) e ar. Pode também conter adições e aditivos químicos com a finalidade de melhorar suas propriedades”.

Para se produzir o concreto segue-se as seguintes etapas: primeiro são adicionados a água e o cimento, que originam a pasta. Em seguida adiciona-se o agregado miúdo, transformando a mistura em argamassa e por fim acrescenta-se o agregado graúdo, para assim ser formado o concreto. A Figura 2 ilustra as etapas de produção do concreto simples.

Figura 2 - Produção do concreto simples.



Fonte: Milito, 2009.

Um dos materiais mais caros para a produção do concreto simples é o cimento. Adiciona-se agregado graúdo para reduzir os custos de produção sem que a qualidade seja afetada, sendo assim um concreto de boa qualidade e custo reduzido (CARVALHO; FIQUEIREDO FILHO, 2014).

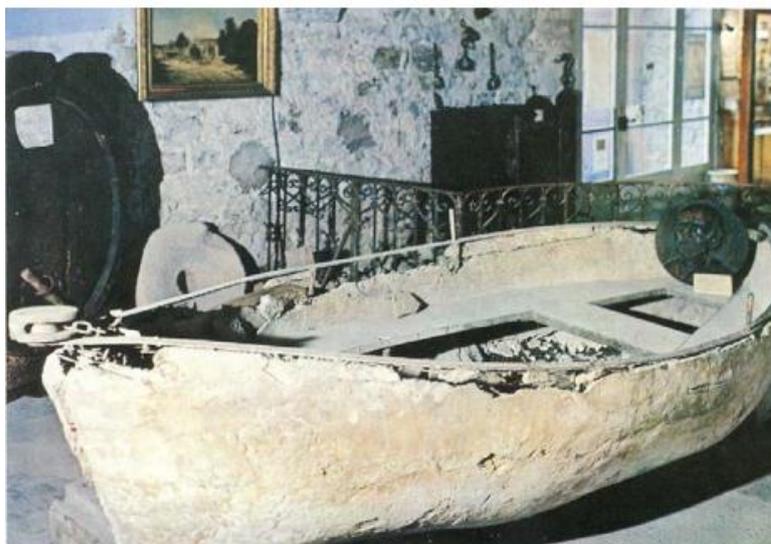
Um material de boa qualidade para o setor da construção civil deve obter dois aspectos principais em suas características, que são eles: resistência e durabilidade. Cada material deve garantir estas características citadas. Analisando as propriedades da pedra natural, nota-se que a mesma possui resistência à compressão e durabilidade muito elevadas, porém, tem baixa resistência à tração. Ao contrário, o aço possui resistências elevadas. E a madeira tem razoável resistência, mas tem durabilidade limitada (BASTOS, 2006).

2.3 Concreto Armado

Bastos (2006, p.13) diz que a “cal hidráulica e o cimento pozolânico (de origem vulcânica) já eram conhecidos pelos romanos como aglomerante. O cimento Portland, tal como hoje conhecido, foi descoberto na Inglaterra por volta do ano de 1824”.

A origem do concreto armado se deu na França, no ano de 1849, utilizado para construção de um barco, feito por um francês chamado Lambot. Esse foi o primeiro registro da história, e que foi apresentado em 1855. Esse barco construído por argamassa e telas de aço. Porém, não conseguiram o sucesso previsto mesmo sendo apresentado que a construção resistiam à navegação (BASTOS, 2006). A Figura 3 mostra o barco de concreto armado feito por Lambot.

Figura 3 - Primeiro registro de construção em concreto armado.



Fonte: Appleton, 2016.

O concreto armado como é conhecido nos dias atuais, até no ano de 1920, era conhecido popularmente como cimento armado. Morsch, um engenheiro alemão foi o primeiro pesquisador a fazer experimentos laboratoriais sobre o concreto armado, com isso resultando nas primeiras normas para o cálculo e construção em concreto (BASTOS, 2006).

Já no Brasil a metodologia em concreto armado veio aparecer só no ano de 1901, onde foram construídas galerias de água e no ano de 1904 as primeiras casas e sobrados, na cidade do Rio de Janeiro (BASTOS, 2006).

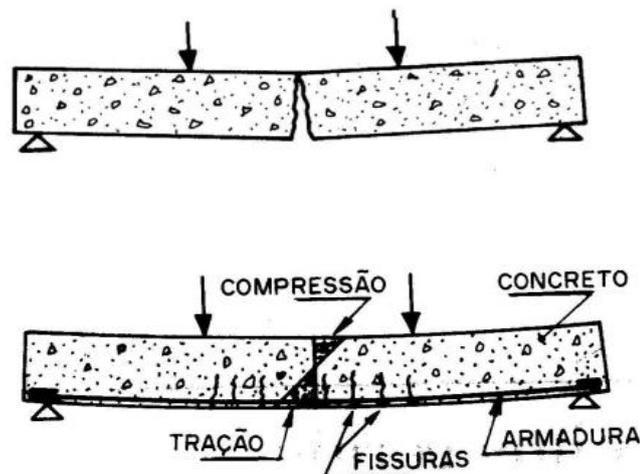
Concreto armado consiste, em geral, na composição de dois materiais: o aço e o concreto. Estes devem trabalhar em solidariedade, sendo o concreto destinado à resistir altos esforços de compressão e o aço os esforços de tração. A aderência do aço com o concreto é primordial e deve sempre existir para que o concreto armado esteja apto para ser lançado nas construções que vão ser utilizadas (VELOIS, 2019).

Apenas no fim do século XIX o concreto armado começou a ser utilizado nas construções, antes era utilizado apenas em embarcações ou redes para água (manilhas). Nessa época, nos primórdios das construções, a junção das armaduras de aço com as propriedades do concreto conseguiram vencer grandes vãos e alturas para aquela época (BENEVOLO *apud* BRANDALISE; WESSLING, 2015).

Carvalho, Figueiredo Filho (2014, p.) falam que “para utilização estrutural, o concreto sozinho não é adequado como elemento resistente, pois, enquanto tem um boa resistência a compressão, pouco resiste a tração (cerca de 1/10 da resistência a compressão)”.

O concreto armado está submetido tanto aos esforços de tração quanto aos de compressão. Como o concreto resiste melhor à compressão, utiliza-se o aço para que possa suportar os esforços de tração, sendo assim otimizando os esforços e os dois materiais trabalham juntos para atingir a resistência necessária. Exemplo de vigas com esforços de tensão de tração e compressão na estrutura de concreto, a seguir na Figura 4.

Figura 4 - Esforços de tração e compressão no viga de concreto.



Fonte: Almeida, 2002.

Pode-se observar pela Figura acima que toda estrutura submetida aos esforços, tende a sofrer esforço de compressão e tração e, conseqüentemente, vão aparecendo fissuras até a sua ruptura.

A razão principal de se utilizar o concreto nos dias de hoje é a sua resistência, pois sem a resistência adequada a estrutura pode entrar em colapso. Mas contudo devido a interferências externas a resistência final do concreto pode sofrer variações (JUNIOR, [20--]).

2.3.1 Vantagens e desvantagens do concreto armado

Almeida (2002, p.8) classifica algumas vantagens do concreto armado que são:

Quadro 4 - Vantagens e desvantagens do concreto armado.

VANTAGENS	DESvantagens
Facilidade de adaptação às formas construtivas;	Peso próprio elevado;
Segurança contra o fogo;	Peça fissurada;
Economia construção e de manutenção;	Formas e escoramentos.
Boa resistência aos esforços dinâmicos (choques e vibrações).	

Fonte: Adaptado Almeida, 2002.

O concreto armado é um material da construção civil que vem sendo largamente usado em todos os países do mundo, em todos tipos de construção, em função de várias características positivas e negativas, como citado no quadro acima (BASTOS, 2006).

2.4 Conceito da Laje

Segundo Nappi (1993, p. 13) “lajes podem ser caracterizadas como estruturas laminares, normalmente planas e horizontais, solicitadas predominantemente por cargas normais ao seu plano médio”.

Já Bastos (2015, p.1) define lajes como “elementos planos bidimensionais, que são aqueles onde duas dimensões, o comprimento e a largura, são da mesma ordem de grandeza e muito maiores que a terceira dimensão, a espessura”.

A laje tem como função receber as ações atuantes do andar da construção, normalmente de pessoas, moveis, equipamentos, pisos e paredes, dos mais variados tipos de carga, essas ações atuantes são perpendiculares ao plano da laje e sendo transferidas para as vigas e pilares (PINHEIRO, 2003).

O andar de uma construção de um edifício sendo ele comercial ou residencial é denominado de um elemento estrutural, podendo ser executado *in loco* ou com peças pré-fabricadas. As estruturas moldadas *in loco* são produzidas no próprio canteiro de obras e sendo assim compostas por uma única laje, executada no mesmo dia, podendo ser maciça ou nervurada, apoiada sobre as vigas e pilares do edifício (SILVA, 2005).

De acordo com Carmo ([20--], p.3), os tipos de lajes existentes são: “lajes maciças, lajes com vigotas de concreto armado, lajes treliçadas uni e bidirecionais, lajes nervuradas uni e bidirecionais, lajes protendidas e lajes alveolares”.

As variedades de lajes citadas acima mostram que há várias formas para o projetista escolher qual tipo de laje se adapta melhor para sua obra. Nos tópicos subsequentes serão abordadas as lajes maciças e nervuradas, que são o foco principal do estudo.

2.5 Conceito da Laje Maciça

Conforme Bastos (2015, p.1) laje maciça é “aquela onde toda a espessura é composta por concreto, contendo armaduras longitudinais de flexão e eventualmente armaduras transversais, e apoiada em vigas ou paredes ao longo das bordas”. É muito utilizada devido a facilidade de se executar, e pela facilidade de se encontrar mão de obra (BRANDALISE; WESSLING, 2015).

Silva (2005, p.16) complementa a definição de laje maciça dizendo que “são aquelas constituídas por uma placa de concreto armado na qual a espessura é mantida constante ao longo de toda a superfície, sendo de uso mais frequente as que se apoiam em vigas”.

As espessuras das lajes normalmente variam de 7 a 15 cm, sendo projetadas para os mais variados tipos de construção, como edifícios de múltiplos pavimentos (BASTOS, 2015). Na Figura 5 ilustra a execução desse tipo de laje.

Figura 5 - Laje maciça em execução.



Fonte: Brandalise; Wessling, 2015.

2.5.1 Vantagens e desvantagens da laje maciça

De acordo com a utilização de lajes maciças em algumas obras apresenta-se a seguir as vantagens e desvantagens da utilização desse tipo de estrutura nas construções, citados no Quadro 5 (LOPES, 2012).

Quadro 5 - Vantagens e desvantagens da laje maciça.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Oferece funções de placa e membrana (chapa);	Elevado consumo de fôrmas, escoras, concreto e aço;
Bom desempenho em relação à capacidade de redistribuição dos esforços;	Elevado peso próprio implicando em maiores reações nos apoios (vigas, pilares e fundações);
Apropriada a situações de singularidade estrutural (por exemplo: Um, dois ou três bordos livres);	Elevado consumo de mão de obra referente às atividades dos profissionais: carpinteiro, armador, pedreiro e servente;
A existência de muitas vigas, por outro lado, forma muitos pórticos, que garantem uma boa rigidez à estrutura de contraventamento;	Grande capacidade de propagação de ruídos entre pavimentos;
Foi durante anos o sistema estrutural mais utilizado nas construções de concreto, por isso a mão de obra já é bastante treinada;	Limitação quanto a sua aplicação a grandes vãos por conta da demanda de espessura média de concreto exigida para esta situação;
Menos suscetível a fissuras e trincas, uma vez que, depois de seco, o concreto torna-se um monobloco que dilata e contrai de maneira uniforme.	Custo relativamente elevado.

Fonte: Adaptado Lopes, 2012.

Conforme Brandalise e Wessling (2015), a linha neutra da laje maciça tem pequena profundidade, assim, o concreto pouco contribui para a resistência à flexão, em pequenos vãos no estado limite último.

2.6 Conceito da Laje Nervurada

Laje nervurada, segundo Pinheiro e Razente (2003, p.1), “é constituída por um conjunto de vigas que se cruzam, solidarizadas pela mesa. Esse elemento estrutural terá comportamento intermediário entre o de laje maciça e o de grelha”.

São lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, “cuja zona de tração para momentos positivos está localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte” segundo o item 14.7.7 da NBR 6118 (ABNT, 2014, p.86).

Para Pinheiro e Razente (2003, p.1), as lajes nervuradas tem a função de “redução no peso próprio e um melhor aproveitamento do aço e do concreto. A resistência à tração é

concentrada nas nervuras, e os materiais de enchimento têm como função única substituir o concreto”.

As lajes nervuradas possuem nervuras, estas que são para sustentar placas com intuito de reduzir a quantidade de concreto utilizado na laje. Podem ser de dois tipos: moldadas no local *in loco* ou executada com nervuras pré-moldadas. Todas as etapas de execução são realizadas *in loco*. Portanto, é necessário o uso de fôrmas e de escoramentos, além do material de enchimento. Pode-se utilizar fôrmas para substituir os materiais inertes (RAZENTE, PINHEIRO 2003). A imagem abaixo estampa uma laje nervurada moldada *in loco*.

Figura 6 - Laje moldada *in loco*.



Fonte: Razente; Pinheiro, 2003.

De acordo com Pinheiro e Razente (2003, p.3), as lajes pré – moldadas “são compostas de vigotas pré-moldadas, que dispensam o uso do tabuleiro da fôrma tradicional. Essas vigotas são capazes de suportar seu peso próprio e as ações de construção”. A Figura 7 mostra a montagem da laje pré-moldada com vigotas treliçadas.

Figura 7 – Laje pré-moldada com vigotas treliçadas.



Fonte: FRANCA & FUSCO (apud RAZENTE, PINHEIRO 2003).

2.6.1 Vantagens e desvantagens da laje nervurada

Segundo Ferreira da Silva (2005, p.5), algumas vantagens e desvantagens da lajes nervuradas moldadas de concreto armado devem ser mencionadas:

Quadro 6 - Vantagens e desvantagens da laje nervurada.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Permitem vencer grandes vãos, liberando os espaços, o que é vantajoso em locais como garagens, onde os pilares, além de dificultarem as manobras dos veículos, ocupam regiões que serviriam para vagas de automóveis;	Normalmente aumentam a altura total da edificação;
Podem ser construídas com a mesma tecnologia empregada nas lajes maciças, diferentemente das lajes protendidas que exigem técnicas especiais de construção;	Aumentam as dificuldades de compatibilização com outros subsistemas (instalações, vedações, etc.);
Versatilidade nas aplicações, podendo ser utilizadas em pavimentos de edificações comerciais, residenciais, educacionais, hospitalares, garagens, “shoppings centers”, clubes, etc.;	Construção com maior número de operações na montagem;
Permitem o uso de alguns procedimentos de racionalização, tais como o uso de telas para a armadura de distribuição e a utilização de instalações elétricas embutidas;	Dificuldade em projetar uma modulação única para o pavimento todo, de maneira que o espaçamento entre as nervuras seja sempre o mesmo;
As lajes nervuradas também são adequadas aos sistemas de lajes sem vigas, devendo manter-se regiões maciças apenas nas regiões dos pilares, onde há grande concentração de esforços;	Exigem maiores cuidados durante a concretagem para se evitar vazios (“bicheiras”) nas nervuras (que costumam ser de pequena largura);
Pelas suas características (grande altura e pequeno peso próprio), são adequadas para grandes vãos.	Resistência da seção transversal diferenciadas em relação a momentos fletores positivos e negativos, necessitando de cálculo mais elaborado.

Fonte: Adaptado Silva, 2005.

As lajes nervuradas moldadas *in loco* tem sido analisadas como laje maciça, há diversas referências bibliográficas mostrando o tal modo de execução dos cálculos, assim determinando os esforços solicitantes e os deslocamentos transversais mediante as Tabelas das teorias das placas (SILVA 2005).

2.7 Execução das Lajes

As lajes maciças e nervuradas vão seguir as mesmas etapas de execução conforme citado abaixo. De acordo com Brandalise e Wessling (2015), a execução pode ser dividida basicamente em sete etapas baseadas na NBR 6118:200700:

1. Confeção da forma de madeira e escoras;
2. Colocação das armaduras;
3. Instalação de caixas, tubos e eletrodutos;
4. Preparação e lançamento do concreto;
5. Adensamento do concreto e cura do concreto;
6. Retirada das fôrmas e escoras.

2.7.1 Execução das escoras e fôrmas de lajes maciças e nervuradas

Segundo Milito (2009, p.251) “as fôrmas têm a sua execução atribuída aos mestres de obra ou encarregados de carpintaria, estes procedimentos resultam em consumo intenso de materiais e mão-de-obra, fazendo um serviço empírico”.

O escoramento da laje maciça é feito para segurar as fôrmas da laje para que a mesma não sofra nenhum tipo de deformação, e que sejam alinhadas tendo a mesma altura em todos os pontos. Para os escoramentos pode ser usadas escoras de madeira ou de aço, a Figura 8 mostra o escoramento de ferro usado para a confecção da laje maciça (MILITO, 2002).

Figura 8 – Escoras da laje maciça.



Fonte: Autor, 2020.

Nas lajes nervuradas as escoras são as mesmas utilizadas na laje maciça como visto na Figura 9.

Figura 9 – Escoras da laje nervurada.



Fonte: Autor, 2020.

Já as formas utilizadas são de madeira, feita para receber as armaduras das vigas, pilares a malha da laje e o concreto. As fôrmas devem ser uniformes e retas, e as peças de madeira utilizadas podem ser reutilizadas em outras lajes ao decorrer da obra.

Figura 10 – Formas laje maciça.



Fonte: Autor, 2020.

Já na laje nervurada não precisa desta placa de madeira como fôrma, pois as próprias cubetas de plástico que são utilizadas serve de forma, como no exemplo da Figura 11.

Figura 11 – Formas da laje nervurada.



Fonte: Autor, 2020.

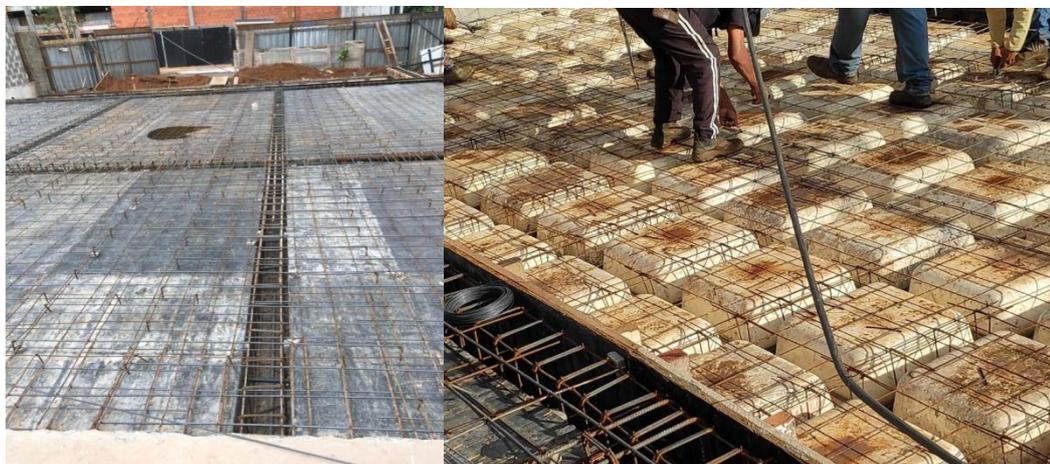
As fôrmas podem chegar até 40% do custo total das estruturas de concreto armado. Considerando que a estrutura representa 20% do custo total de um edifício, concluímos que racionalizar a fôrma corresponde a 8% do custo de construção (MILITO, 2002).

2.7.2 Colocação das armaduras

Para ser executada a concretagem, as armaduras que serão utilizadas nas lajes, devem estar bem amarradas unindo as peças de aço com arame recozido bem como estabilidade para que não saiam da posição durante o processo, conforme projeto estrutural (MILITO, 2009).

Todas lajes tem armadura, que juntamente com o concreto irão trabalhar solidariamente para resistir as ações provenientes das cargas permanentes. Cada projeto tem suas particularidades, o projetista escolhe a melhor forma de dispor a laje, isso tudo dentro da norma 6118/2014. A Figura 12 ilustra a colocação das armaduras da laje maciça e nervurada, para posteriormente receber o concreto (BRANDALISE; WESSLING, 2015).

Figura 12 – Colocação das armaduras nas lajes nervuradas e maciças.



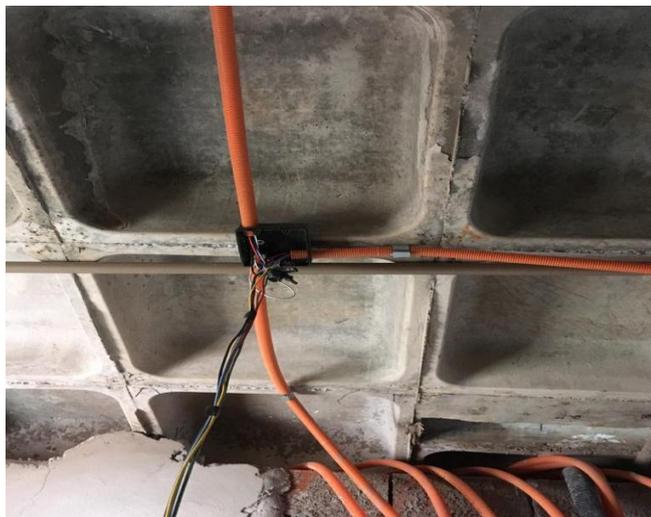
Fonte: Autor, 2020.

2.7.3 Instalação de caixas, tubos e eletrodutos

Nesta etapa são posicionados os eletrodutos e as caixas de passagem referentes à instalação elétrica. Também são utilizadas as esperas de isopor para permitir a passagem de encanamentos para o fluxo de água e de esgoto após a concretagem, deixando assim as

aberturas para passar as tubulações necessárias (BRANDALISE; WESSLING, 2015). A Figura 13 ilustra a montagem das caixas, numa laje nervurada.

Figura 13 – Caixas de eletro dutos na laje nervurada.



Fonte: Autor, 2020.

2.7.4 Preparação e lançamento do concreto

O concreto utilizado vem diretamente da usina com todas as especificações pedidas de acordo com o projeto. O *Slump*, é um teste que mede a trabalhabilidade do concreto. Se ele está menos fluido, a trabalhabilidade é menor e se estiver mais fluido a trabalhabilidade é maior, não interferindo na resistência característica real do concreto. Posteriormente depois de realizado o *Slump*, é utilizado o concreto para fazer os corpos de provas. São moldados quatro corpos de provas, e armazenados em um tanque de água e depois sendo realizados ensaios mecânicos para descobrir a sua resistência, e se foi de acordo com o que foi pedido junto a concreteira (BRANDALISE; WESSLING, 2015).

De acordo com Milito (2009, p.277) o abatimento (*Slump Test*) é utilizado para avaliar a quantidade de água existente no concreto. Para isso devemos executá-lo como segue:

1° Coletar a amostra de concreto depois de descarregar 0,5 m³ de concreto ou \cong 30 litros;

2° Coloque o cone sobre a placa metálica bem nivelada e preencha em 3 camadas iguais e aplique 25 golpes uniformemente distribuídos em cada camada;

3° Adense a camada junto a base e no adensamento das camadas restantes, a haste deve penetrar até a camada inferior adjacente;

4° Retirar o cone e com a haste sobre o cone invertido meça a distância entre a parte inferior da haste e o ponto médio do concreto.

A Figura 14 demonstra o procedimento de o *Slump Test* a seguir.

Figura 14 – *Slump Test*.



Fonte: Autor, 2020.

Geralmente em grandes edifícios, quando se concretiza um pavimento, o volume de concreto costuma ser grande, utilizando vários caminhões. O mapa de concretagem é fundamental, pois com ele é possível saber qual concreto e de qual caminhão foi utilizado, em qualquer parte da construção. Também é realizada a planilha com a hora e a quantidade de volume de concreto de cada caminhão que apresentou na obra.

Figura 15 – Lançamento do concreto.



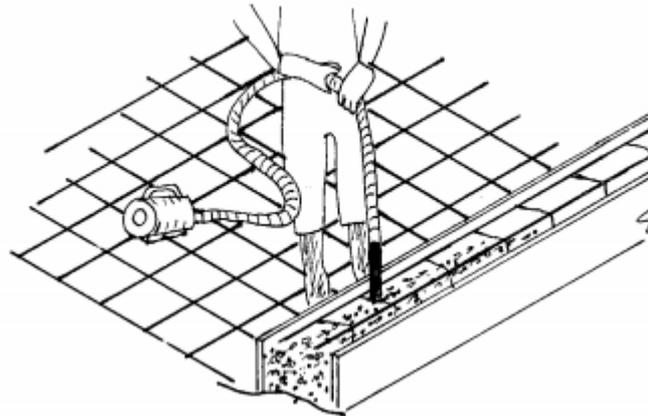
Fonte: Autor, 2020.

2.7.5 Adensamento e cura do concreto

Para o lançamento do concreto utiliza uma equipe treinada, mangotes que levam o concreto do caminhão à laje. A maior preocupação da concretagem se deve a vibração do concreto, que retira do ar, ficando sem falhas na execução. Porém, requer cuidado para não solidificar os agregados do concreto, pois prejudica a resistência final, podendo não suportar as ações solicitadas. Depois de adensado vem a parte final que é o acabamento da superfície que vai deixar a laje acabada, nivelada e lisa.

Milito (2009, p. 277) diz que “na aplicação do concreto deve-se efetuar o adensamento de modo a torná-lo o mais compacto possível”. O método mais utilizado para o adensamento do concreto é por meio de vibrador de imersão, como mostra a Figura 16.

Figura 16 – Adensamento do concreto.



Fonte: Milito, 2009.

“A cura é um processo mediante o qual mantém-se um teor de umidade satisfatório, evitando a evaporação da água da mistura, garantindo ainda, uma temperatura favorável ao concreto, durante o processo de hidratação dos materiais aglomerantes” (MILITO, 2009).

2.7.6 Retirada das fôrmas e escoras

Conforme Milito (2009, p.285) “a desforma deve ser realizada de forma criteriosa. Em estruturas com vãos grandes ou com balanços, deve-se pedir ao calculista um programa de desforma progressiva, para evitar tensões internas não previstas no concreto”.

Segundo o item 10.2.2 da NBR 14931 (ABNT, 2004, p.24) “a retirada das fôrmas e do escoramento só pode ser feita quando o concreto estiver suficientemente endurecido para resistir às ações que sobre ele atuarem e não conduzir a deformações inaceitáveis”.

Em edifícios, as fôrmas e escoras são reaproveitadas para construção de uma nova laje, sendo assim gerando uma economia e reduzindo a geração de resíduos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido visando o custo entre as lajes maciças e nervuradas no município de Rio Verde – GO, comparando o custo de cada material e por final fazendo uma análise de custo englobando todos os materiais.

Mas para executar o referido desenvolvimento do trabalho, foi escolhido um prédio residencial com pavimento-tipo, verificando a quantidade gasta de volume de concreto e quantidade de barras de aço no projeto de laje nervurada e maciça, analisando os referidos projetos estruturais necessários para o resultado da pesquisa.

Nos tópicos subsequentes serão apresentadas as etapas para o desenvolvimento da pesquisa.

3.1 Dados da Edificação Estudada

O prédio residencial está situado na cidade de Rio Verde - GO, obra de grande porte contendo vinte seis pavimentos, com dois apartamentos em cada pavimento e um apartamento duplex na cobertura.

Cada pavimento contém cerca de 302,45 m² (metros quadrados) de área construída, uma obra de alto padrão que atende a classe alta da região de Rio Verde – GO, na Figura 17 é apresentada a planta baixa do pavimento tipo do empreendimento.

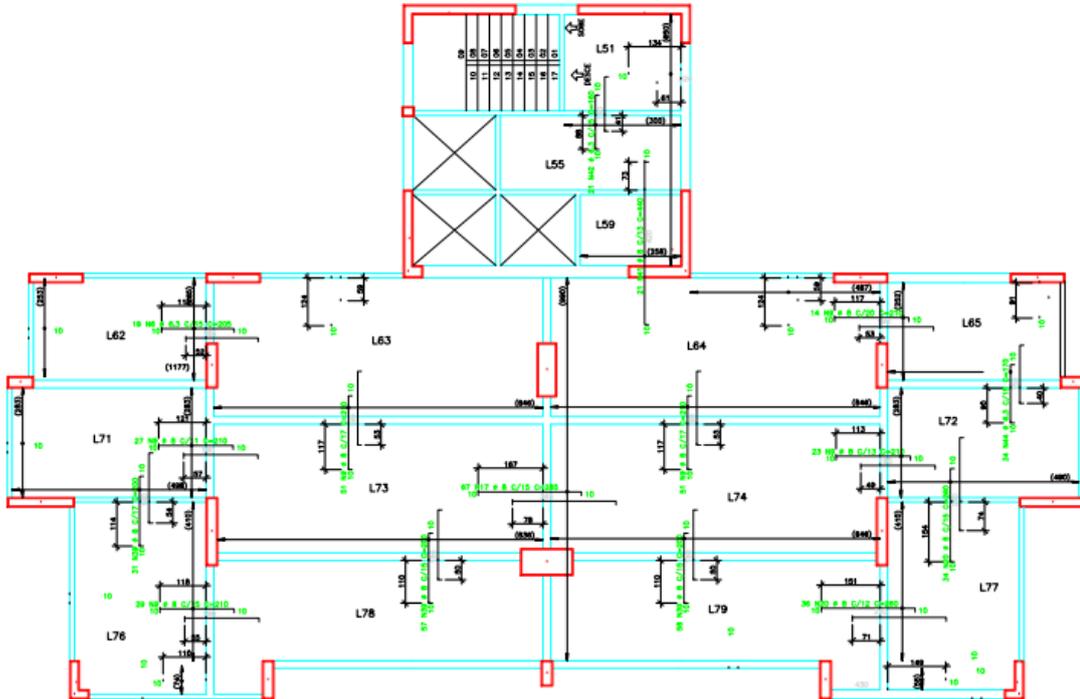
Figura 17 – Layout pavimento tipo.



Fonte: Adaptado BARC, 2019.

3.2 Projeto Laje Maciça

A laje maciça é uma opção para obras residenciais e bem comumente em prédios por ser de fácil e rápida execução, mas com um grande volume de concreto. No projeto estrutural, é especificado a quantidade de aço utilizado e o volume de concreto necessários para essa laje de 12 cm de espessura. A Figura 18 mostra o projeto estrutural da laje maciça.

Figura 18 – Projeto laje maciça.

Fonte: Autor, 2020.

3.2.1 Materiais gastos da laje maciça

A quantidade de aço utilizado na laje maciça foi obtida através do projeto estrutural, na Tabela 2 mostra a quantidade de aço utilizada.

Tabela 2 - Quantidade de aço utilizada na laje maciça.

AÇO	BITOLA (mm)	QTD. DE BARRAS (12 m)
60B	5	238
50A	6.3	53
50A	8	107

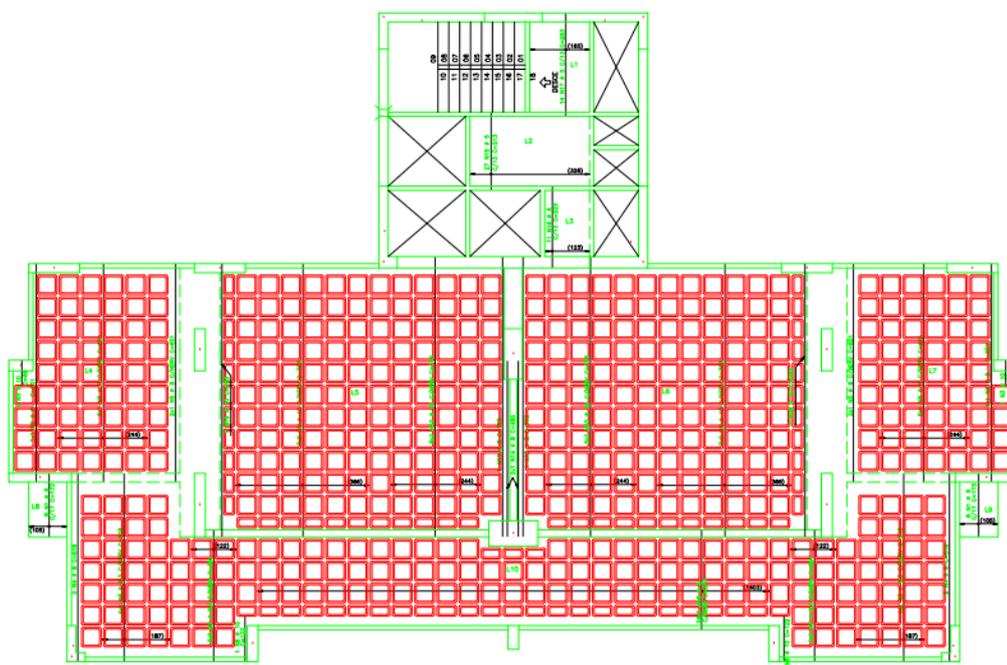
Fonte: Autor, 2020.

Cada barra de aço tem o comprimento de 12 metros. O consumo de concreto neste tipo de laje é bem maior que em relação a outros tipos de lajes. No caso da laje maciça, serão gastos 46 metros cúbicos de concreto.

3.3 Projeto Laje Nervurada

A laje nervurada ganha no requisito economia de concreto por ter as nervuras, algumas construções optam por usarem elas, sendo mais comum em obras de grande porte. Do projeto estrutural, se retira a quantidade de aço utilizado para a construção da laje nervurada e a área, conseqüentemente, originando no volume final gasto do pavimento. Na Figura 19 pode-se observar o projeto estrutural da laje nervurada.

Figura 19 – Projeto laje nervurada.



Fonte: Autor, 2020.

3.3.1 Materiais gastos da laje nervurada

A quantidade de aço utilizada na laje nervurada foi retirada do projeto estrutural do prédio. O pavimento foi dividido em várias lajes e vigas, assim contendo diferentes bitolas de aço. Para melhor compreensão dos leitores, as quantidades obtidas está representado na Tabela 3.

Tabela 3 – Quantidade de aço utilizada na laje nervurada.

AÇO	BITOLA (mm)	QTD. DE BARRAS (12 m)
60B	5	25
50A	6.3	92
50A	8	43
50A	10	82
50A	12.5	24
50A	16	14

Fonte: Autor, 2020.

Cada barra de aço tem o comprimento de 12 metros. Na laje nervurada o gasto de volume de concreto é bem menor, pois tem a presença das cubetas que reduz bastante o volume em relação a da laje maciça, o volume foi retirado do projeto, totalizando 31 metros cúbicos.

3.4 Cotações dos Materiais

As cotações dos materiais utilizados, aço e concreto, que foram feitas na cidade de Rio Verde – GO em lojas de pequeno porte que atende somente a região de Rio Verde - GO e cidades vizinhas, fazendo uma média de preços, orçando cada material em três lojas diferentes, todos os preços foram cotados e orçados no mês de fevereiro de 2020.

Nos tópicos subsequentes serão orçados o aço utilizado nas lajes maciças e nas nervuradas e o concreto respectivamente.

3.4.1 Cotações das lojas

Foi feita a cotação em três lojas e obteve-se a média de cada bitola de aço que foi utilizada no projeto.

Tabela 4 - Cotação das lojas.

AÇO	BITOLA (MM)	LOJA I	LOJA II	LOJA III	MÉDIA
		PREÇO (R\$)	PREÇO (R\$)	PREÇO (R\$)	PREÇO (R\$)
60B	5	10,37	10,00	8,70	9,69
50A	6.3	15,16	15,00	12,00	14,05
50A	8	23,91	22,00	19,50	21,80
50A	10	35,66	33,00	29,50	32,72
50A	12.5	54,13	48,00	45,00	49,04
50A	16	88,67	82,00	73,00	81,22

Fonte: Autor, 2020.

Podemos notar que a loja III apresentou um melhor preço na cidade, as outras lojas os preços foram bastante semelhantes.

3.4.2 Cotações nas concreteiras

Na concreteira foi orçado o preço unitário do metro cúbico de concreto, para cada tipo de laje foi utilizado o concreto de resistência 30 Mpa (conforme projeto estrutural), como mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Cotação nas concreteiras.

LOJAS	PREÇO (R\$)
Concreteira I	330,00
Concreteira II	310,00
Concreteira III	350,00
MÉDIA	330

Fonte: Autor, 2020.

Os preços do concreto não apresentaram grande diferença, porém essa variação pode ser maior considerando que foram consultadas apenas três concreteiras.

3.4.3 Preço final

Pode-se observar dentre os orçamentos o que teve o melhor preço para cada material foi a Loja III e a Concreteira II. Como pode-se observar nas Tabelas abaixo, custo total do material gasto (aço e concreto) com a média das empresas, da laje maciça e a laje nervurada.

Tabela 6 – Preço do aço laje maciça.

AÇO	BITOLA (mm)	QTD. DE BARRAS	PREÇO BARRA (R\$)	PREÇO TOTAL (R\$)
60B	5	238	9,69	2.306,22
50A	6.3	53	14,05	744,65
50A	8	107	21,80	2.332,60
Total (R\$)				5.383,47

Fonte: Autor, 2020.

O valor das armaduras da laje maciça é de R\$ 5.383,47.

Tabela 7 – Preço do concreto laje maciça.

Volume de concreto (m3)	Preço m3 (R\$)	Preço Total (R\$)
46	330	15.180,00

Fonte: Autor, 2020.

O valor do concreto foi de R\$ 15.180,00. Somando as armaduras com o concreto, o valor desses materiais são R\$ 20.563,47.

Tabela 8 – Preço do aço laje nervurada.

AÇO	BITOLA (mm)	QTD. DE BARRAS	PREÇO BARRA (R\$)	PREÇO TOTAL (R\$)
60B	5	25	9,69	242,25
50A	6.3	92	14,05	1.292,6
50A	8	43	21,80	937,4
50A	10	82	32,72	2.683,04
50A	12.5	24	49,04	1.176,96
50A	16	14	81,22	1.137,08
Total (R\$)				7.469,33

Fonte: Autor, 2020.

O valor das armaduras da laje nervurada é de R\$ 7.469,33.

Tabela 9 – Preço do concreto laje nervurada.

Volume de concreto (m3)	Preço m3 (R\$)	Preço Total (R\$)
31	330	10.230,00

Fonte: Autor, 2020.

O valor do concreto foi de R\$ 10.230,00. Somando as armaduras com o concreto, o valor desses materiais são R\$ 17.699,33.

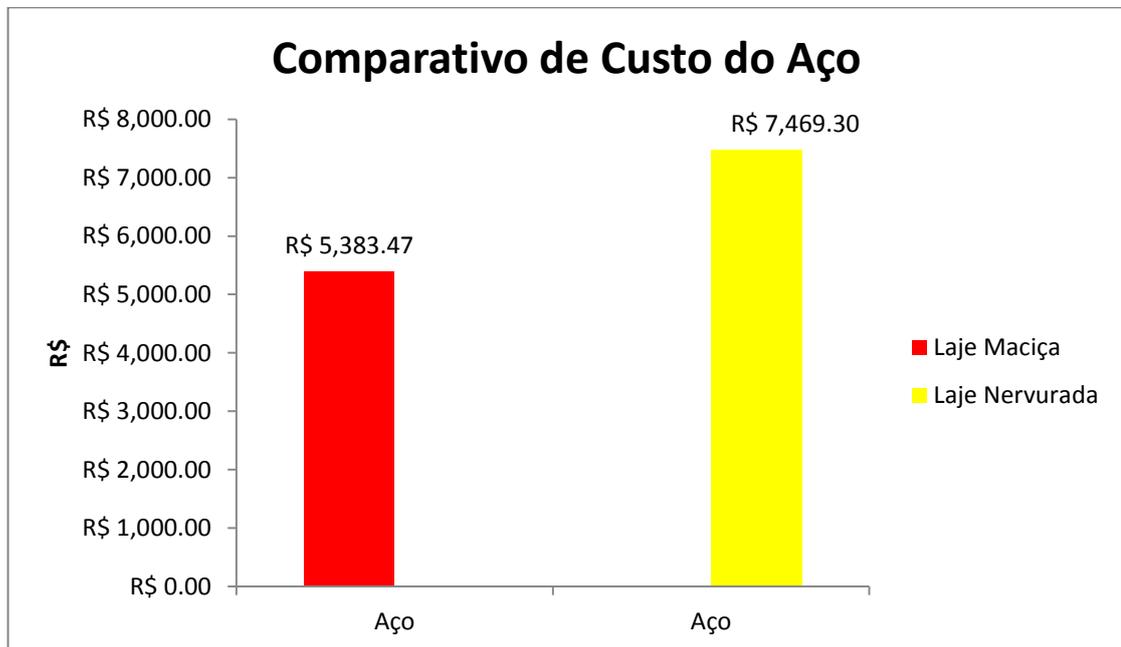
4 RESULTADOS E DISCUSSAO

Resultados e comparações dos quantitativos finais dos materiais consumidos sendo obtidos durante o desenvolvimento do trabalho serão apresentados nos tópicos seguintes.

4.1 Análise do Aço

A Figura 20 apresenta a comparação do custo do aço, entre as lajes maciça e nervurada. Fica claro que a laje nervurada teve um maior custo final na utilização do aço em relação à laje maciça, tendo uma diferença de R\$ 2.085,83 no valor final. . Sendo que o aço da laje nervurada tem um custo 27,92% maior da maciça.

Figura 20 – Gráfico comparativo de custo do aço.



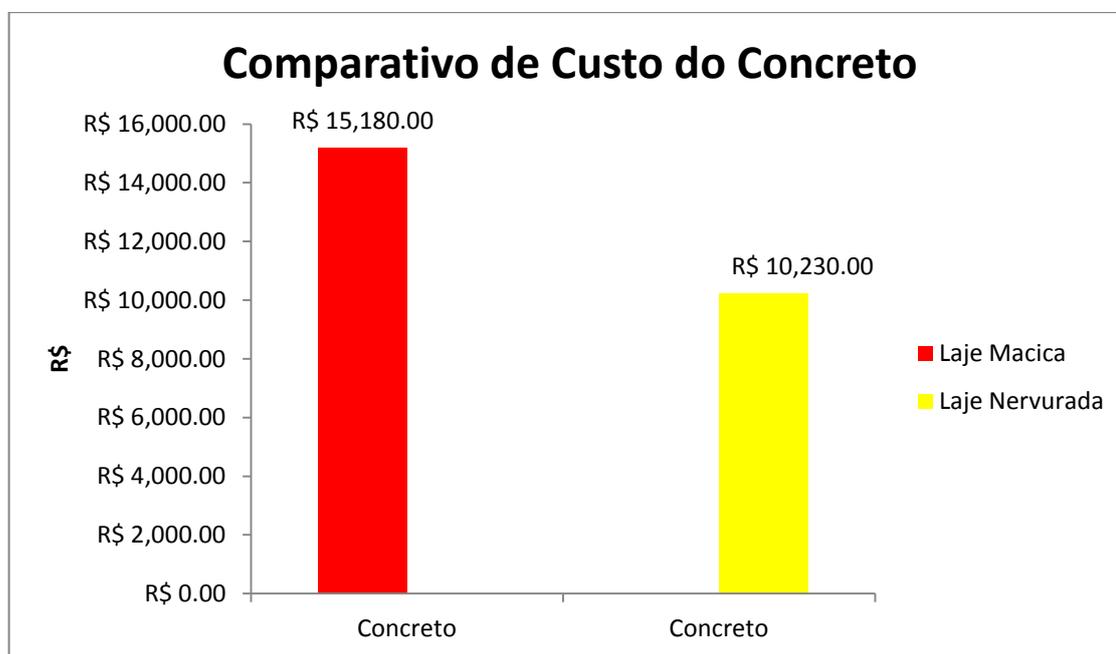
Fonte: Autor, 2020.

A laje nervurada apresentou um custo de aço maior, mas foram só levadas em conta as ferragens das lajes, contudo o preço de aço entre as duas lajes são semelhantes e não apresentam uma grande diferença no preço final.

4.2 Análise do Concreto

Analisou-se o custo total de concreto gasto entre as lajes maciça e nervurada, onde nota-se que a laje nervurada apresenta uma economia considerável em relação da laje maciça de R\$ 4.950,00, sendo que o volume de concreto da laje maciça tem um custo 32,60% maior que a nervurada. Por utilizar as cubetas, a laje nervurada apresentou uma redução de volume de concreto e, conseqüentemente, tendo uma maior economia na compra do concreto para concretar a laje do prédio residencial analisado. A Figura 21 faz o comparativo de custo do concreto utilizado na concretagem das lajes.

Figura 21 – Gráfico comparativo de custo de concreto.



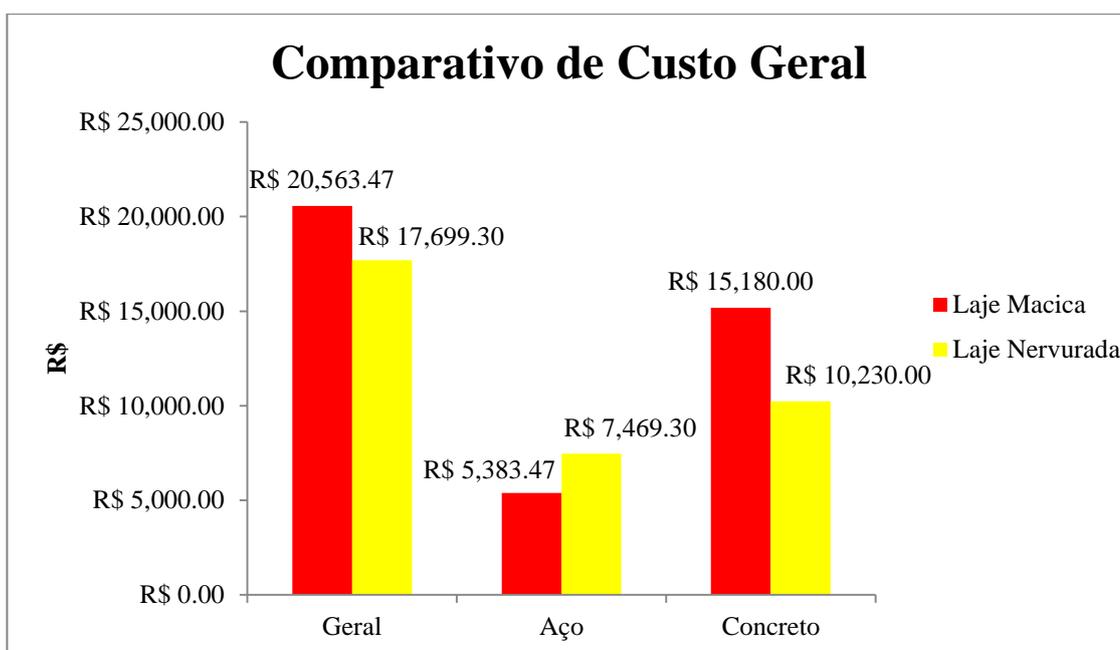
Fonte: Autor, 2020.

Em qualquer projeto de lajes, quando realizada a comparação entre as lajes maciça e nervurada com uma área de mesma dimensão, a laje nervurada vai sempre apresentar menor custo por conta do menor volume de concreto.

4.3 Análise do Aço e Concreto

Fazendo uma análise geral do custo, o sistema de laje que apresentou o menor custo foi a laje nervurada, levando em consideração os materiais utilizados (aço e concreto). A diferença final foi de R\$ 2.864,17. A Figura 22 mostra o comparativo do custo geral entre os dois materiais, analisado na execução das lajes.

Figura 22 – Gráfico comparativo de custo geral.



Fonte: Autor, 2020.

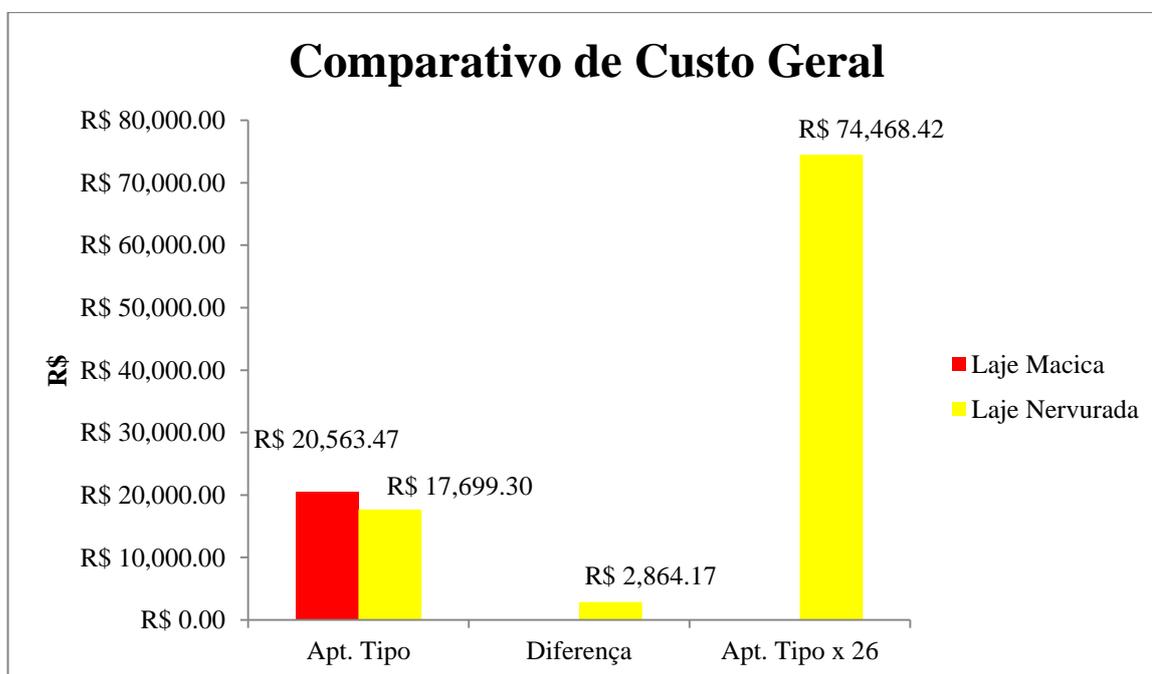
Pode-se notar que no geral a laje nervurada teve um menor custo, mas a laje nervurada não apresentou menor custo em todos os requisitos analisados, somente no volume de concreto apresentando uma grande diferença em relação ao custo da laje maciça. Devido os valores do orçamento dos materiais ter sido em lojas e concreteira na cidade de Rio Verde – GO justifica um custo mais elevado, podendo obter-se uma diferença se os materiais fossem orçados em Goiânia-GO por ser uma cidade grande com preços mais competitivos.

5 CONCLUSÕES

A análise de custo é de extrema importância para construção de qualquer empreendimento sendo ele residencial ou não. Com ela, o construtor consegue gerar uma economia na construção e, conseqüentemente, reduzindo a quantidade de materiais utilizados na obra, sendo que o setor da construção civil é um dos principais produtores de resíduos atualmente.

O comparativo do custo geral dos materiais mostrou que a laje nervurada apresentou uma maior economia em relação a laje maciça, com a diferença de R\$ 2.864,17. Essa diferença, gerou uma economia de quase R\$ 74.468,42, como nota-se na Figura 23 que apresenta a economia geral do prédio sendo multiplicada pela quantidade de pavimento tipo que é de 26 (vinte e seis) lajes.

Figura 23 - Gráfico comparativo custo geral.



Fonte: Autor, 2020.

Como pode-se observar quando se analisa o prédio como um todo, há uma enorme economia, sendo um valor significativo no custo final da obra. No entanto se o construtor não

fizer este tipo de análise, pode ter um prejuízo incalculável podendo trazer vários prejuízos e maior tempo na execução da obra.

Portanto, perante as análises, a laje nervurada apresentou um melhor desempenho no custo total e sim gerando economia em relação à laje maciça, uma das principais economias foi no quesito do volume de concreto utilizado, que aumentou a diferença no custo final.

Fica como sugestão de trabalho futuro analisar o comparativo de custo das formas e mão de obra entre as lajes maciça e nervurada.

REFERÊNCIAS

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931: **Execução de estruturas de concreto – procedimentos**. Rio de Janeiro. ABNT, 2004.

ALMEIDA, Luiz Carlos. **Fundamentos do concreto armado**: Notas de aula da disciplina - AU414 - Estruturas IV– Concreto armado. Departamento de Estruturas - Faculdade de Engenharia Civil - Universidade Estadual de Campinas. UNICAMP, 2002.

APPLETON, Julio. **Construções em betão – nota histórica sobre a sua evolução**. 2016. Disponível em: <<http://www.civil.ist.utl.pt/~cristina/GDBAPE/ConstrucoesEmBetao.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2020.

BASTOS, Paulo Sergio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. Notas de aula – disciplina: 1288 – Estrutura de Concreto I. Departamento de Engenharia Civil - FACULDADE DE ENGENHARIA - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. UNESP, 2006.

BASTOS, Paulo Sergio dos Santos. **Lajes de concreto**. Notas de aula - Disciplina: 2117 - ESTRUTURAS DE CONCRETO. Departamento de Engenharia Civil - FACULDADE DE ENGENHARIA - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. UNESP, 2015.

BRANDALISE, Guilherme Meurer; WESSLING, Luan Ives. **Estudo comparativo de custo entre laje maciça simples e laje de vigotas pré-fabricadas treliçadas em edifícios de até quatro pavimentos no município de Pato Branco, Paraná, Brasil**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Graduação Bacharel em Engenharia Civil) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco/PR.

CARMO, Luciano Caetano. **Tipos de lajes:** Noções. 43 slides. Pontifícia Universidade Católica de Goiás. PUC, [20--]. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/14280/material/01_03%20-%20Tipos%20de%20Lajes.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2020.

CARVALHO, Roberto Chust; FIQUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado:** Segundo a NBR 6118:2014. 4 ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

CORTEZ, Lucas Azevedo da Rocha. et al. **Uso das estruturas de aço no Brasil,** Alagoas, v.4, n.2, p.217-228, nov. 2017. Disponível em: <[file:///C:/Users/Iona/Desktop/Downloads/5215-14598-1-SM%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Iona/Desktop/Downloads/5215-14598-1-SM%20(1).pdf)>. Acesso em: 26 jan. 2020.

FELÍCIO, Eduardo Alves. **Estudo da implementação de conceito da produção enxuta para redução de resíduos em uma manufatura do ramo siderúrgico.** 2012. 64 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

FERRAZ, Henrique. **O aço na construção civil,** São Carlos, n.22, out/nov/dez. 2003. Disponível em: <<https://www.ft.unicamp.br/~mariaacm/ST114/O%20A%C7O%20NA%20CONSTRU%C7%C3O%20CIVIL.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2020.

IMIANOWSKY, Guilhermer Wanka; WALENDOWSKY, Marcus Alberto. **Os principais aços carbono utilizados na construção civil.** 2017. Disponível em: <<http://www.crea-sc.org.br/porta/arquivosSGC/a%C3%A7os%20carbono%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2020.

JÚNIOR, Tarley Ferreira de Souza. **Estrutura de concreto armado:** notas de aula. Departamento de Engenharia – Universidade Federal de Lavras. UFL.

LOPES, André F. O. **Estudo técnico comparativo entre lajes maciças e nervuradas com diferentes tipos de materiais de enchimento**. 2012. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru/PE.

MILITO, José Antônio. **Técnicas de construção civil**. Capítulo 11 - Detalhes de execução em obras com concreto armado. P. 244 – 288. 2009.

NAPPI, Sérgio Castello Branco. **Análise comparativa entre lajes maciças, com vigotes pré-moldadas e nervuradas**. 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia) programa de pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC.

PINHEIRO, Libânio M. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**. Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo. USP, 2007.

RAZENTE, Julio A; PINHEIRO, Libanio M. **Estrutura de concreto**: capítulo 17. p. 251 – 267. Departamento de Engenharia de Estruturas - ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. USP, 2003.

Residencial Cipreste. Rio Verde – GO. Disponível em: <<http://www.barc.com.br/portfolio-item/residencial-cipreste/>>. Acesso em: 14 fev. 2020.

SILVA, Marcos Alberto Ferreira. **Projeto e construções de lajes nervuradas de concreto armado**. 2005. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP.

SILVA, Valdir, Pignatta. **Dimensionamento de estrutura de aço**. Apostila para a disciplina PEF 2402 – ESTRUTURA METÁLICAS E DE MADEIRA. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. USP, 2012.

SPORH, Valdi Henrique. **Análise comparativa**: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa

de Pós – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS.

VELOIS, Emilio Augusto e Queiroz. **Concreto Armado 1**. Notas de aula. Colegiado de Engenharia Civil - Faculdade de Tecnologia e Ciências .UNIFTC, 2019.