



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

RAMON LEONILDO FERREIRA ACEVEDO

VALMIR SIQUEIRA JUNIOR

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJES NERVURADAS EM CONCRETO
ARMADO E LAJES NERVURADAS EM CONCRETO PROTENDIDO: FATORES
TÉCNICOS E ECONÔMICOS**

Tubarão

2021

RAMON LEONILDO FERREIRA ACEVEDO
VALMIR SIQUEIRA JUNIOR

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJES NERVURADAS EM CONCRETO
ARMADO E LAJES NERVURADAS EM CONCRETO PROTENDIDO: FATORES
TÉCNICOS E ECONÔMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade
do Sul de Santa Catarina como requisito
parcial à obtenção do título de Engenheiro
Civil.

Orientador: Prof. Ismael Medeiros, Esp.

Tubarão
2021

RAMON LEONILDO FERREIRA ACEVEDO
VALMIR SIQUEIRA JUNIOR

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJES NERVURADAS EM CONCRETO
ARMADO E LAJES NERVURADAS EM CONCRETO PROTENDIDO: FATORES
TÉCNICOS E ECONÔMICOS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 10 de junho de 2021

Professor e orientador Ismael Medeiros, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Charles Mendes de Souza, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Maurício Alberto Büchele Motta, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico este trabalho ao Único Deus, minha amada esposa Karina e filhos Lucca e Lis, e a todo corpo docente da UNISUL.

Ramon

Dedico este trabalho a Deus, meus familiares, minha esposa Aline, em especial aos meus pais, Valmir e Janete, aos nossos educadores, a UNISUL e a todos os meus colegas de classe.

Valmir

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao bom Deus que tem me sustentado com Sua graciosa mão, e tem proporcionado tão grande privilégio de poder glorificá-Lo nessa jornada que chamamos de vida.

Sou grato também a minha esposa Karina que tem me dado suporte emocional e motivacional por toda essa minha jornada de graduação e sempre tem me estendido o seu amor e afeto. Sou grato aos meus filhos, Lucca e Lis que, mesmo inconscientemente, tem me incentivado a não desanimar e sempre procurar o que é melhor para eles.

Aos meus pais e familiares que sempre torceram por mim, em quem pude achar suporte, compreensão e entusiasmos, sempre acreditando em mim.

Agradeço a meu grande amigo Valmir Siqueira Junior, que tem caminhado comigo desde o início da graduação, onde pude muitas vezes encontrar ajuda, parceria e boas risadas. Que o tempo somente fortaleça essa amizade.

Ao meu professor e orientador Ismael Medeiros por compartilhar não só seu vasto conhecimento, mas também por sempre ser solícito e disposto a contribuir para formação de bons profissionais e cidadãos.

E finalmente, agradeço a todos que tem contribuído e me feito companhia nessa maratona acadêmica, que está próxima de ser concluída.

Ramon Leonildo Ferreira Acevedo

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, por ter me dado toda a educação necessária para que eu possa hoje estar concluindo mais uma etapa em minha vida, agradeço a eles também por toda a confiança depositada em mim ao longo minha caminhada e todo o apoio e motivação nas horas difíceis e horas em que eu pensei em desistir, sou muito grato pois sem vocês eu não estaria hoje prestigiando este momento.

A minha esposa Aline, por toda compreensão em horas em que deixamos de aproveitar um momento de lazer, para que eu pudesse estar me dedicando os estudos em todos estes 66 meses.

Em especial a Deus, por ter me dado a dádiva da vida e forças para seguir em frente nesta longa e difícil caminhada.

Ao meu amigo Ramon Leonildo Ferreira Acevedo, meu parceiro de Faculdade desde o primeiro semestre, que hoje estamos concluindo este Trabalho de Conclusão de Curso juntos e que Deus possa nos permitir a continuar com esta amizade por muitos anos.

Ao meu orientador Ismael Medeiros, por toda dedicação, conhecimento e comprometimento, sendo peça fundamental ao desenvolvimento de trabalho.

A todos os colegas que estiveram presente em minha vida acadêmica, contribuindo com conhecimento e boas conversas.

Valmir Siqueira Junior

“O sucesso consiste em ir de fracasso em fracasso sem perder o entusiasmo”
(Winston Churchill)

RESUMO

Diante do cenário econômico atual, onde cada vez mais as exigências dos clientes são evidentes, e a concorrência mais apurada, o empreendedor deve sempre procurar a inovação de seus produtos, porém, para que estes sejam vendáveis, eles devem ser economicamente viáveis. Pensando neste panorama, o presente trabalho apresenta uma análise comparativa entre os custos de execução de dois sistemas construtivos de Lajes, sendo eles o de Lajes Nervuradas em Concreto Armado e o de Lajes Nervuradas em Concreto Protendido. Este estudo comparativo circundou os serviços de formas de concreto, serviços de concretagem, serviços de armaduras de aço, cordoalhas engraxadas e cimbramentos, envolvendo custos dos materiais e os de mão de obra. Os dados quantitativos foram extraídos dos projetos estrutural e do memorial descritivo do empreendimento estudado, fornecidos pela empresa Eraldo Construções Ltda da cidade de Tubarão - Santa Catarina. Os custos dos materiais e índice de produtividade foram obtidos através do TCPO - Tabela de Composições e Preços para Orçamentos, utilizando as composições de serviços da ferramenta, com dados referentes ao mês de abril de 2021. Os resultados obtidos apresentaram economia para o sistema de Lajes Nervuradas em Concreto Protendido em 7,9% sendo o custo global da estrutura neste sistema de R\$5.964.845,80, contra R\$6.474.094,74 para o sistema de Lajes Nervuradas em Concreto Armado, sendo o primeiro sistema mais viável economicamente para o empreendimento em estudo.

Palavras-chave: Análise Comparativa, Lajes, Concreto Armado, Concreto Protendido, TCPO.

ABSTRACT

In the current economic scenario, where customer demands are increasingly evident, and competition is more acute, entrepreneurs must always seek to innovate their products, however, for them to be salable, they must be economically viable. Considering this panorama, the present work presents a comparative analysis between the execution costs of two slab construction systems, namely that of Lajes Ribbed in Reinforced Concrete and that of Lajes Ribbed in Prestressed Concrete. This comparative study encompassed the services of concrete forms, concreting services, steel reinforcement services, greased strands and scaffolding, involving costs of materials and labor. Quantitative data were extracted from the structural projects and the descriptive memorial of the project studied, provided by the company Eraldo Construções Ltda in the city of Tubarão - Santa Catarina. The costs of materials and productivity index were obtained through the TCPO - Table of Compositions and Prices for Budgets, using the service compositions of the tool, with data for the month of April 2021. The results obtained showed savings for the Lajes system Ribbed in Prestressed Concrete by 7.9%, with the overall cost of the structure in this system being R\$5,964,845.80, against R\$6,474,094.74 for the Slabs Ribbed system in Reinforced Concrete, being the first more economically viable system for the project under study

Keywords: Comparative Analysis, Slabs, Reinforced Concrete, Prestressed Concrete, TCPO.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Observação da zona de tração e compressão em vigas de concreto	24
Figura 2 - Diagrama tensão-deformação do concreto à compressão	26
Figura 3 – Laje nervurada moldada in loco sem material de enchimento	28
Figura 4 – Montagem de uma laje nervurada com formas plásticas	29
Figura 5 – Detalhe do cimbramento com vigas de madeira	29
Figura 6 – Laje treliçada e detalhe de uma vigota treliçada	31
Figura 7 – Bloco de poliestireno expandido (EPS) em uma laje nervurada.....	32
Figura 8 – Seção específica e dimensões mínimas.....	33
Figura 9 - Diagrama de tensões atuantes no Concreto Protendido.....	35
Figura 10 - Seção de monocordoalha engraxada com 7 fios.....	36
Figura 11 - Dispositivos de ancoragem utilizados em cordoalhas engraxadas.	37
Figura 12 - Bainhas metálicas	38
Figura 13 - Fluxograma de etapas da metodologia	45
Figura 14 - Planta baixa do pavimento tipo do empreendimento.....	46
Figura 15 - Projeto de formas do pavimento tipo em concreto armado	47
Figura 16 - Projeto de formas do pavimento tipo em concreto protendido.....	47
Figura 17 - Imagem virtual do empreendimento	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Custo Direto Global por Sistema Estrutural (Materiais e Mão de obra).....	51
Gráfico 2 - Custo direto dos materiais do sistema lajes nervuradas em concreto armado	52
Gráfico 3 - Custo direto dos materiais do sistema lajes nervuradas em concreto armado (%)	52
Gráfico 4 - Custo direto dos materiais do sistema lajes nervuradas em concreto protendido ..	53
Gráfico 5 - Custo direto dos materiais do sistema lajes nervuradas em concreto protendido (%)	53
Gráfico 6 - Custo direto da mão de obra do sistema de lajes nervuradas em concreto armado	54
Gráfico 7 - Custo direto da mão de obra do sistema de lajes nervuradas em concreto armado (%)	55
Gráfico 8 - Custo direto da mão de obra do sistema de lajes nervuradas em concreto protendido	55
Gráfico 9 - Custo direto da mão de obra do sistema de lajes nervuradas em concreto protendido (%)	56
Gráfico 10 - Comparativo dos materiais das lajes em concreto armado x protendida	58
Gráfico 11 - Comparativo da mão de obra das lajes em concreto armado x protendida	59
Gráfico 12 - Custo direto total por elemento estrutural da laje nervurada em concreto armado	60
Gráfico 13 - Custo direto total por elemento estrutural da laje nervurada em concreto armado (%)	61
Gráfico 14 - Custo direto total por elemento estrutural da laje nervurada em concreto protendido	61
Gráfico 15 - Custo direto total por elemento estrutural da laje nervurada em concreto protendido (%)	62
Gráfico 16 - Custo direto dos materiais por elemento estrutural da laje nervurada em concreto armado	62
Gráfico 17 - Custo direto dos materiais por elemento estrutural da laje nervurada em concreto armado (%)	63
Gráfico 18 - Custo direto dos materiais por elemento estrutural da laje nervurada em concreto protendido	63
Gráfico 19 - Custo direto dos materiais por elemento estrutural da laje nervurada em concreto protendido (%)	64

Gráfico 20 - Custo direto da mão de obra por elemento estrutural da laje nervurada em concreto armado	64
Gráfico 21 - Custo direto da mão de obra por elemento estrutural da laje nervurada em concreto armado (%)	65
Gráfico 22 - Custo direto da mão de obra por elemento estrutural da laje nervurada em concreto protendido	65
Gráfico 23 - Custo direto da mão de obra por elemento estrutural da laje nervurada em concreto protendido (%)	66
Gráfico 24 - Comparativo direto global por elemento estrutural	66
Gráfico 25 - Comparativo dos materiais por elemento estrutural	67
Gráfico 26 - Comparativo da mão de obra por elemento estrutural	68
Gráfico 27 - Curva ABC dos materiais do sistema de laje em concreto protendido	69
Gráfico 28 - Curva ABC dos materiais do sistema de laje em concreto armado	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo total de materiais do sistema de lajes em concreto protendido	83
Tabela 2 - Consumo total de materiais do sistema de lajes em concreto armado	84
Tabela 3 - Composição dos materiais das formas de madeira do sistema de lajes em concreto protendido	87
Tabela 4 - Composição dos materiais do cimbramento do sistema de lajes em concreto protendido	88
Tabela 5 - Composição dos materiais das armaduras das lajes do sistema de lajes em concreto protendido	89
Tabela 6 - Composição dos materiais das armaduras das vigas do sistema de lajes em concreto protendido	90
Tabela 7 - Composição dos materiais das armaduras dos pilares do sistema de lajes em concreto protendido	91
Tabela 8 - Composição dos materiais de concreto do sistema de lajes em concreto protendido	92
Tabela 9 - Composição dos materiais da protensão do sistema de lajes em concreto protendido	92
Tabela 10 - Composição dos materiais das formas plásticas do sistema de lajes em concreto protendido	93
Tabela 11 - Composição dos materiais das formas de madeira do sistema de lajes em concreto armado	94
Tabela 12 - Composição dos materiais do cimbramento do sistema de lajes em concreto armado	95
Tabela 13 - Composição dos materiais das armaduras das lajes do sistema de lajes em concreto armado	96
Tabela 14 - Composição dos materiais das armaduras das vigas do sistema de lajes em concreto armado	97
Tabela 15 - Composição dos materiais das armaduras dos pilares do sistema de lajes em concreto armado	99
Tabela 16 - Composição dos materiais do concreto do sistema de lajes em concreto armado	100
Tabela 17 - Composição dos materiais das formas plásticas do sistema de lajes em concreto armado	101

Tabela 18 - Composição da mão de obra das formas de madeira do sistema de lajes em concreto protendido	102
Tabela 19 - Composição da mão de obra das armaduras do sistema de lajes em concreto protendido	102
Tabela 20 - Composição da mão de obra da concretagem do sistema de lajes em concreto protendido	103
Tabela 21 - Composição da mão de obra da protensão do sistema de lajes em concreto protendido	103
Tabela 22 - Composição da mão de obra das formas de madeiras do sistema de lajes em concreto armado	104
Tabela 23 - Composição da mão de obra das armaduras do sistema de lajes em concreto armado	104
Tabela 24 - Composição da mão de obra das concretagens do sistema de lajes em concreto armado	105

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Curva ABC dos materiais do sistema de laje em concreto protendido	69
Quadro 2 - Curva ABC dos materiais do sistema de laje em concreto armado	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TCPO – Tabela de Composição de Preços para Orçamentos

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

EPS - Poliestireno Expandido

ELU - Estado Limite Único

ELS - Estado Limite de Serviço

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
1.1	JUSTIFICATIVA	22
1.2	OBJETIVOS	23
1.2.1	Objetivo geral	23
1.2.2	Objetivos específicos	23
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	24
2.1	O CONCRETO ARMADO	24
2.1.1	Propriedades do concreto armado.....	24
2.1.2	Diagrama de tensão x deformação projetado do concreto à compressão	25
2.1.3	Uso do aço no concreto armado e suas deformações.....	26
2.2	LAJE NERVURADA	27
2.2.1	Características das lajes nervuradas	27
2.2.2	Tipos de lajes nervuradas	28
2.2.2.1	Laje moldada in loco com formas plásticas	28
2.2.2.2	Laje nervurada treliçada bidirecional	30
2.2.3	Materiais de enchimento.....	31
2.2.4	Considerações de projeto.....	32
2.2.4.1	Dimensões Mínimas	32
2.3	LAJE PROTENDIDA.....	33
2.3.1	Características das lajes protendidas	34
2.3.2	Materiais utilizados	35
2.3.2.1	Concreto	35
2.3.2.2	Aço para armaduras ativas.....	36
2.3.2.2.1	<i>Fios de protensão e Cordoalhas engraxadas</i>	36
2.3.2.3	Aço para armaduras passivas.....	37
2.3.2.4	Dispositivos de ancoragem e bainhas metálicas.....	37
2.3.3	Critérios do projeto.....	38
2.3.3.1	Ações	38
2.3.3.2	Estados limites.....	39
2.3.3.3	Combinações de Ações.....	39
2.3.3.4	Graus de Protensão	41
2.3.3.5	Perdas de Protensão	42

2.3.4 Sistema de protensão.....	43
2.3.4.1 Pré-tração.....	43
2.3.4.2 Pós-tração	43
3 METODOLOGIA.....	45
3.1 FLUXOGRAMA	45
3.2 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA	46
3.3 ANÁLISE DOS PROJETOS	46
3.4 LEVANTAMENTO DE CUSTOS.....	48
3.5 SINTETIZAÇÃO DOS DADOS	48
3.6 COMPARATIVO TÉCNICO E FINANCEIRO ENTRE OS SISTEMAS.....	48
4 RESULTADOS	49
4.1 APRESENTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	49
4.1.1 Comparativo de custos diretos globais.....	50
4.1.2 Custo direto dos materiais.....	51
4.1.2.1 Custo diretos dos materiais do sistema de lajes nervuradas em concreto armado	51
4.1.2.2 Custo diretos dos materiais do sistema de lajes nervuradas em concreto protendido	53
4.1.3 Custo direto da mão de obra	54
4.1.3.1 Custo direto da mão de obra do sistema de lajes nervuradas em concreto armado....	54
4.1.3.2 Custo direto da mão de obra do sistema de lajes nervuradas em concreto protendido	55
4.1.4 Comparativo direto por insumo.....	56
4.1.4.1 Formas de madeira	56
4.1.4.2 Cimbramento	56
4.1.4.3 Aço	57
4.1.4.4 Cordoalhas.....	57
4.1.4.5 Concreto	57
4.1.4.6 Formas plásticas	57
4.1.5 Comparativo direto da mão de obra	58
4.1.5.1 Formas de madeira	58
4.1.5.2 Aço	58
4.1.5.3 Protensão	59
4.1.5.4 Concretagem.....	59
4.1.6 Comparativo por elemento da superestrutura	60
4.1.6.1 Custo direto total por elemento estrutural da laje nervurada em concreto armado	60

4.1.6.2	Custo direto total por elemento estrutural da laje nervurada em concreto protendido	61
4.1.6.3	Custo direto dos materiais por elemento estrutural da laje nervurada em concreto armado	62
4.1.6.4	Custo direto dos materiais por elementos estrutural da laje nervurada em concreto protendido.....	63
4.1.6.5	Custo direto da mão de obra por elemento estrutural da laje nervurada em concreto armado	64
4.1.6.6	Custo direto da mão de obra por elemento estrutural da laje nervurada em concreto protendido.....	65
4.1.7	Comparativo direto global por elemento estrutural	66
4.1.8	Comparativo dos materiais por elemento estrutural	67
4.1.9	Comparativo da mão de obra por elemento estrutural	67
4.2	DIAGRAMA DE PARETO (CURVA ABC).....	68
4.2.1	Curva ABC dos materiais do sistema de laje em concreto protendido	69
4.2.2	Curva ABC dos materiais do sistema de laje em concreto armado.....	71
5	DISCUSSÃO	73
5.1	ANÁLISE DOS DADOS.....	74
5.1.1	Laje nervurada em concreto armado	74
5.1.2	Laje nervurada em concreto protendido	76
6	CONCLUSÃO.....	79
	REFERÊNCIAS	81
	APÊNDICE A – DADOS QUANTITATIVOS TOTAIS DOS MATERIAIS.....	83
	APÊNDICE B – COMPOSIÇÃO DE MATERIAIS DO SISTEMA DE LAJES EM CONCRETO PROTENDIDO	87
	APÊNDICE C – COMPOSIÇÃO DE MATERIAIS DO SISTEMA DE LAJES EM CONCRETO ARMADO.....	94
	APÊNDICE D – COMPOSIÇÃO DA MÃO DE OBRA DO SISTEMA DE LAJES EM CONCRETO PROTENDIDO	102
	APÊNDICE E – COMPOSIÇÃO DA MÃO DE OBRA DO SISTEMA DE LAJES EM CONCRETO ARMADO.....	104

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a indústria da construção civil no Brasil passa por um processo de transformação, modernizando-se e buscando novas soluções, impulsionada pela constante ausência de mão de obra e seguido de defeitos construtivos, sobressaindo-se em uma perspectiva de inovação por parte dos cooperadores e dos gestores (SOUZA, 2006).

A implantação de normativas como a NBR 15.575 (ABNT, 2013) foi fator decisivo, onde o setor sentiu a necessidade em avaliar não somente o produto final, mas também o processo produtivo.

A presença de um padrão fez que o setor como um todo elevasse a qualidade, tendo assim o cenário ideal para o desenvolvimento e aprimoramento de técnicas construtivas onde só são possíveis suas aplicações com um rígido controle de qualidade dos insumos e mão de obra, controle esse, proporcionado pela Norma de Desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013). Essa padronização, também possibilitou a evolução em vários aspectos, onde, nesse novo padrão de qualidade, algumas manifestações patológicas não serão mais aceitáveis, alguns modelos de negócio estarão obsoletos, e também a capacitação de mão de obra precisará ser reavaliada. Em suma, a complexidade do setor está inexoravelmente atrelada ao avanço tecnológico.

Segundo Martins (2016), o avanço da tecnologia impacta de forma consciente, onde é visto inúmeras inovações registradas na última década que vem fomentado a evolução do setor. Esta nova consciência possibilita o desenvolvimento de novos métodos de trabalho que geram industrialização, melhorando a produtividade e aprimorando as técnicas de construção.

Nesta conjuntura, o atendimento das novas demandas da Construção Civil, é facilitado com as novas inovações, apresentando vantagens em seu uso, como por exemplo, a redução da mão de obra, elevando a produtividade, e a redução de custo de produção (PRIES; JANSZEN, 1995; BOUGRAIN, 2010; GAMBATESE; HALLOWELL, 2011), desta forma o setor demanda expansão, onde o emprego destas inovações tecnológicas suprirá a necessidade por moradias, e o desenvolvimento de modelos de negócios elevará aqueles que melhor se adaptam ao mercado.

A proposta deste trabalho é desenvolver um estudo comparativo entre os parâmetros de produtividade executiva de lajes nervuradas em concreto armado e lajes nervuradas em concreto protendido, dando ênfase aos fatores técnicos e econômicos.

Cholfe e Bonilha (2018) elucidam a protensão como um sistema construtivo, onde são aplicadas forças externas de tração nas seções de concreto, e este sistema proporcionou aumento das capacidades resistentes da estrutura, redução das deformações e durabilidade.

Destarte, a NBR 6118 (ABNT, 2014) de Projetos de estruturas de concreto - em virtude do avanço das estruturas de concreto, sendo uma norma recente e atrelada a outras normas internacionais, pode ser considerada consequência desta evolução.

O sistema de lajes nervuradas em concreto armado em edifícios apresenta limitações na superestrutura onde o sistema de lajes protendida pretende solucionar, como a presença demasiada de pilares, dificultando o arranjo dos cômodos de modo mais livre, maior gasto com insumos para os pilares, vigas e fundação. A maior presença de manifestações patológicas entre outros fatores, que fazem procurar soluções mais avançadas.

1.1 JUSTIFICATIVA

Pensando em termos econômicos, é preciso analisar os métodos adotados para construção e compará-los às novas técnicas e inovações, para que a economia em termos financeiros não se mostre apenas subjetivamente, mas que possa ser fundamentada em fatos documentados.

Emerick (2002) aponta que considerável parte do orçamento de uma obra é destinada à fundação e estruturas, por isso os estudos que visam avaliar a redução de custos nesse quesito são úteis e devem estar atualizados paralelamente com as atualizações tecnológicas. Emerick (2002) ainda afirma que a utilização de lajes nervuradas protendidas pode representar uma vantagem quanto à redução de carga sobre a estrutura devido a diminuição na espessura da laje.

De acordo com Pfeil (1984) “A protensão pode ser definida como o artifício de introduzir numa estrutura um estado prévio de tensões, de modo a melhorar sua resistência ou seu comportamento sob a ação de diversas solicitações” desta forma, é necessário criar dados que permitam avaliar se realmente esse sistema é a alternativa ideal para a economia em estrutura, e quais implicações isso traria para uma empresa.

Outra máxima do sistema capitalista é conseguir o melhor desempenho na venda, onde o cliente precisa ver valor no produto e identificar o diferencial que é oferecido.

Segundo Sebrae (2008), “Diferenciais competitivos são os atributos que tornam a empresa única e superior aos seus principais concorrentes” sendo assim a conexão entre produtor e consumidor são essenciais para assimilar os benefícios que estão sendo oferecidos. O intuito é buscar o lucro e a satisfação do cliente, simultaneamente.

As incorporadoras podem também ser beneficiadas caso a comparação demonstre que há vantagens técnicas em adotar o sistema de laje nervurada protendida, pois ela representa menor presença de flechas e fissurações (Emerick 2002), contribuindo para a integridade da estrutura, menor tempo de desforma e retirada de escoramento. A ausência de exploração do sistema pode gerar estranhamento quando comparado ao método convencional, para isso indicadores de produtividade comparativos são pertinentes.

Entre os profissionais que intermedeiam o processo da construção e aquisição, estão arquitetos, corretores, vendedores, pessoas que precisam ter caminho facilitado para poder atuar como integrantes nas equipes comerciais.

Para esses profissionais o sistema de laje nervurada protendida pode representar vantagem caso contribua para melhorar indicadores que eles julgam agregar valor ao imóvel, como áreas livres maiores e com menor número de pilares, contribuindo para um arranjo de layout mais dinâmico.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar e comparar os aspectos técnicos e econômicos na construção de edifícios com lajes nervuradas em concreto armado e lajes nervuradas em concreto protendido.

1.2.2 Objetivos específicos

- Descrever os aspectos técnicos de cada sistema de lajes;
- Aplicar diferentes metodologias para determinar indicadores de produtividade em sistemas de lajes nervuradas em concreto armados e nervuradas protendidas;
- Definir os custos diretos de materiais e mão de obra para cada sistema de lajes;
- Comparar os resultados dos custos e obter o sistema mais econômico;

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão apresentados os conceitos, fundamentos e aplicações das lajes nervuradas em concreto armado e das lajes nervuradas em concreto protendido.

2.1 O CONCRETO ARMADO

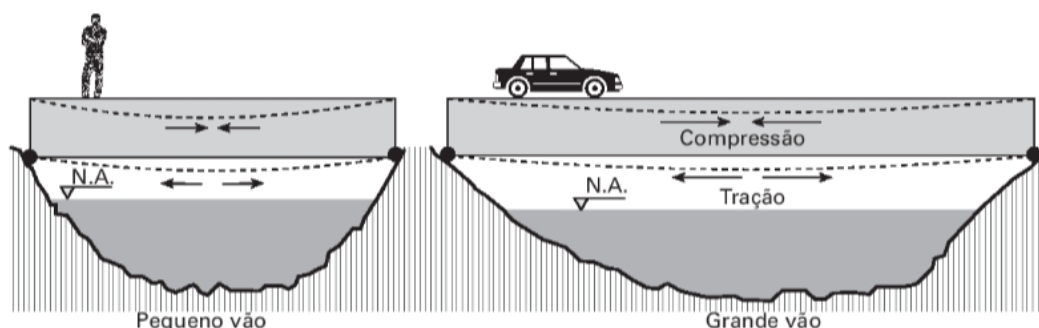
2.1.1 Propriedades do concreto armado

O concreto basicamente é um material derivado da mistura de aglomerante (cimento) com agregados, tais como areia, brita e aditivos, em proporções bem definidas e resultando em um material com alta resistência à compressão, porém não tendo boas resistências a tração, sendo cerca de 10% da resistência a compressão. Desta forma o emprego de vergalhões de aço eleva suas capacidades resistentes a tração, originando o Concreto Armado, sendo um tipo de sistema estrutural utilizado em diversos países.

Botelho e Marchetti (2015) sintetizam que a ideia do concreto armado é inserir o vergalhão de aço na parte tracionada na viga de concreto e deixa-se somente concreto na parte comprimida, assim tendo como resultado a viga de concreto armado.

Segundo Porto (2015), o Concreto Armado é um dos materiais estruturais mais empregados em termo de volume, tanto no Brasil quanto em outros países, devido ao fato de suas características intrínsecas que maximizam o seu uso, sendo alguma delas a facilidade e flexibilidade na moldagem de formas, boas resistências já citadas acima e baixo custo de execução.

Figura 1 - Observação da zona de tração e compressão em vigas de concreto



Fonte: Botelho e Marchetti (2018)

Conforme mencionado, o Concreto é um material que possui alta resistência a compressão, e esta resistência é aumentada com tempo, conseguindo atingir sua resistência considerada máxima nos 28 dias após a concretagem.

A resistência do concreto concebida através do tempo é chamada de **f_{cj}** , onde a letra **j** representa o tempo em dias da concretagem até o dia da realização do ensaio de resistência do concreto, através do rompimento de corpo de prova.

O **f_{ck}** , é definido pela NBR 6118 (ABNT, 2014) como a resistência característica do concreto, e ainda define que quando não for especificada a data, o **f_{ck}** é a resistência característica do concreto à compressão aos 28 dias de idade.

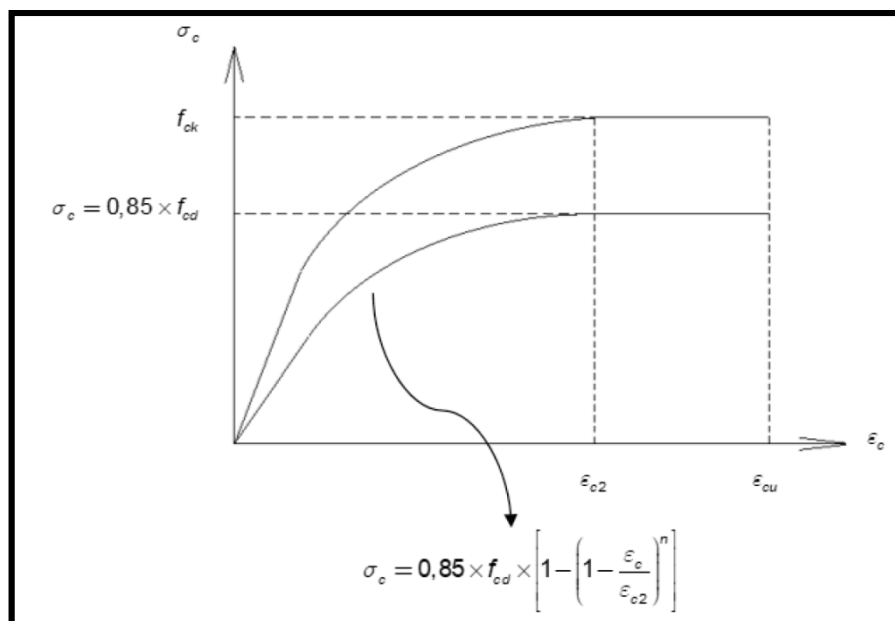
De acordo com a NBR 8953 (ABNT, 2015) – Concreto para fins estruturais, o **f_{ck}** de concretos estruturais são divididos em classes de resistências e em dois grupos (ABNT, 2015).

O primeiro grupo, o chamado Grupo I é formado pelos concretos com classe de resistência C20 à C50, ou seja, concreto com resistências características de 20 a 50 MPa. Já o Grupo II, é formado pelos concretos de classe C55 à C100, que é de 55 a 100 MPa respectivamente.

2.1.2 Diagrama de tensão x deformação projetado do concreto à compressão

O diagrama tensão-deformação do concreto à compressão evidencia que para uma deformação inicial que varia de zero até uma deformação de $\epsilon_{c2} = 2\text{‰}$, a tensão no concreto é equivalente à equação da parábola, conforme mencionado do diagrama, sendo o **n** = 2 para concretos com classe inferior a C50 (50 MPa). Custódio (2015, p.15) comenta [...] “nosso objetivo é sempre buscar o máximo aproveitamento dos materiais dentro dos limites de segurança; devemos trabalhar utilizando a máxima tensão dos materiais e o seu limite máximo de deformação”.

Figura 2 - Diagrama tensão-deformação do concreto à compressão



Fonte: NBR 6118 ABNT (2014)

Levando esta afirmação em consideração, foi verificado no diagrama tensão-deformação do concreto à compressão, que no momento em que o concreto consegue atingir o seu σ_c máximo, inicia o trecho com uma tensão constante, que é representada até o limite do ϵ_{cu} (Encurtamento do Concreto) e é neste trecho de tensão máxima que inicia o trecho do ϵ_{c2} , onde o encurtamento do concreto é de 2‰, que em números práticos, representa um encurtamento de 2 mm para cada metro de peça de concreto, chegando até 3,5‰, e após este patamar ocorre a ruptura do concreto.

Desta forma, para garantir a segurança dos cálculos o mesmo autor afirma:

Para garantirmos a segurança durante o cálculo de uma estrutura, o valor da resistência dos materiais deve ser minorado, enquanto os esforços aplicados na estrutura devem ser majorados. No caso do concreto, o valor da tensão máxima f_{ck} deve ser minorado pelo coeficiente de ponderação $\gamma = 1,4$; portanto, o valor da resistência de cálculo à compressão do concreto é $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4}$. (CUSTÓDIO, 2015, p.16)

2.1.3 Uso do aço no concreto armado e suas deformações

O emprego do aço no concreto armado é necessário para suprir a sua baixa resistência à tração, o aço para concreto armado é produzido de acordo com a norma NBR 7480 (ABNT,

2007). Eles são fabricados em duas categorias, os fios de aço chamados de CA-60 e as barras de aço chamadas de CA-50 e CA-25, sendo este último quase não sendo mais utilizados nas construções. Esta nomenclatura CA representa o “Concreto Armado” e o número a resistência característica ao escoamento a tração do aço f_{yk} , sendo expressa em kN/cm^2 . (ABNT, 2007).

Como no concreto, o aço para concreto armado também apresenta um diagrama de tensão-deformação de sua tensão máxima para ser considerada nos cálculos estruturais, e conforme mencionado é representada por f_{yk} , e tendo seus limites de deformação iniciado em ϵ_{yd} até o limite de 10‰, ou seja, o limite de alongamento do aço é de 10mm por metro.

De acordo com Custódio (2015) “O valor da deformação do aço no início do patamar de escoamento é: $\epsilon_{yd} = f_{yd}/E_s$. No cálculo das estruturas também deve-se minorar o valor da resistência característica ao escoamento do aço f_{yk} a favor da segurança” ainda , deve ser considerado o coeficiente de ponderação nos cálculos $\gamma_s = 1,15$, desta forma o valor máximo da tensão do aço em cálculos estruturais em concreto armado será de: $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15}$, correspondendo ao limite de deformações do aço conforme o diagrama (ABNT, 2014)

2.2 LAJE NERVURADA

Segundo definições da NBR 6118 (ABNT, 2003, p 86), “lajes nervuradas são lajes moldadas in loco, ou com nervuras previamente moldadas, cuja sua zona de tração para os momentos positivos esteja localizada nas nervuras, que entre elas podem ser colocados materiais inertes”.

Estas lajes são constituídas por um conjunto de vigas que se cruzam e solidarizadas pela mesa, tendo um comportamento intermediário entre a grelha e o de laje maciça, complementa (PINHEIRO; RAZENTE, 2003).

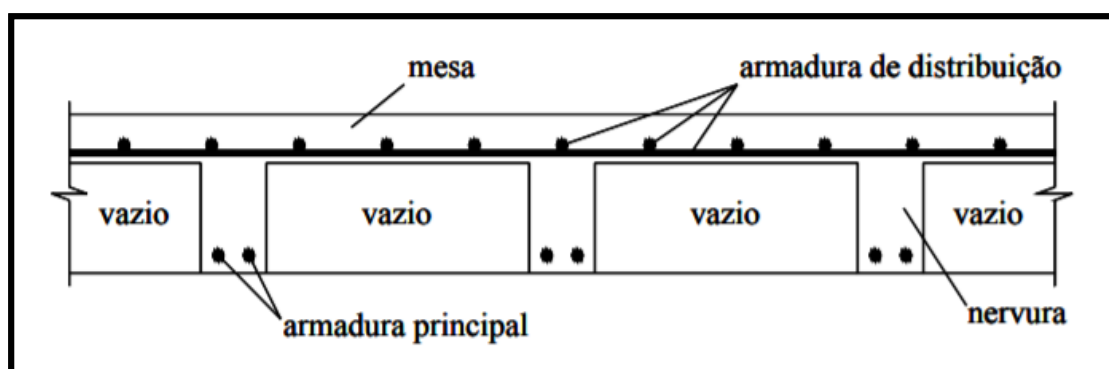
2.2.1 Características das lajes nervuradas

As lajes nervuradas são comumente conhecidas por reduzir o peso das estruturas por conseguir realizar um bom aproveitamento dos materiais estruturais como aço e o concreto, e consequentemente reduzindo os custos de estrutura (SOUZA e LOPES, 2016). Este tipo de estrutura garante sua eficiência estrutural como placa e membrana, auxiliando no

comportamento estrutural global da estrutura, garantindo um alívio nos esforços por conta do acréscimo de rigidez. (VIZZOTO e SARTORI, 2010).

De acordo com Pinheiro e Razente (2003, p. 17.2) São consideradas lajes nervuradas, aquelas com a presença ou não de capitéis e vigas compostas por concreto, aço e materiais de enchimento ou materiais inertes.

Figura 3 – Laje nervurada moldada in loco sem material de enchimento



Fonte: Silva (2005)

2.2.2 Tipos de lajes nervuradas

2.2.2.1 Laje moldada in loco com formas plásticas

O sistema de lajes nervurada mais comum em obras de engenharia civil, são as moldadas no local com formas plásticas, chamadas de cubetas, ou algum material de enchimento inerte como placas de poliestireno expandido (EPS), escoradas por meio de um sistema de cimbramento, podendo este ser em vigas de madeiras ou vigas metálicas. (VIZZOTO; SARTORI, 2010).

As principais vantagens deste sistema de acordo com Vizzoto; Sartori (2010, p.20) são:

- Redução no custo de materiais, tais como aço e concreto;
- Montagem das formas com maior agilidade;
- Desforma possível ser realizada no dia seguinte da concretagem;
- Maior capacidade na redistribuição dos esforços;

- Reaproveitamento das formas plásticas;
- Reaproveitamento do cimbramento;

Figura 4 – Montagem de uma laje nervurada com formas plásticas



Fonte: Vizzoto e Sartori (2010)

Figura 5 – Detalhe do cimbramento com vigas de madeira



Fonte: Vasconcelos (2010) *apud* Rios (2008)

2.2.2.2 Laje nervurada treliçada bidirecional

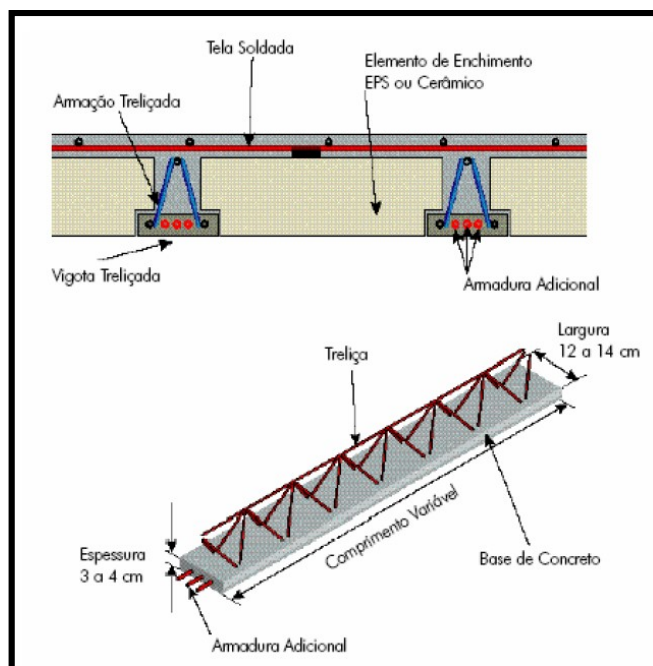
Neste tipo de sistema de laje, as nervuras são constituídas por uma placa de concreto e uma armadura na forma de treliça, onde são capazes de suportar seu próprio peso e as ações provenientes da estrutura, reduzindo relativamente a necessidade de cimbramentos, sendo menor quando comparado com as lajes nervuradas com formas plásticas (PINHEIRO; RAZENTE, 2003).

Além da redução no cimbramento, este tipo de laje reduz em quase a sua totalidade o uso de formas na etapa construtiva. Este sistema surgiu através da variação do sistema treliçado convencional unidirecional, onde foi substituído as lajotas cerâmicas por bloco de poliestireno expandido (EPS) composto por abas, onde apoiam-se nas treliças formando a solução de laje nervurada, gerando eficiência estrutural e agilidade na execução. (VIZZOTO; SARTORI, 2010)

Algumas vantagens deste sistema são:

- Redução nas formas e cimbramentos; (VIZZOTO; SARTORI, 2010)
- Maior eficiência ao combate ao esforço cortante (VIZZOTO; SARTORI, 2010)
- Teto liso com dispensa de forro falso; (VIZZOTO; SARTORI, 2010)
- Baixa propagação de ruídos; (VIZZOTO; SARTORI, 2010)
- Permite a continuidade das lajes, apenas utilizando armadura negativa entre apoios (SPOHOR, 2008).

Figura 6 – Laje treliçada e detalhe de uma vigota treliçada



Fonte: Catálogo BELGO (2006)

2.2.3 Materiais de enchimento

De acordo com o que foi visto, uma das principais características das lajes nervuradas, é a redução de concreto na zona tracionada, podendo ser substituído por um material inerte, ou até mesmo sem nenhum material, que é usado nas lajes com formas plásticas

Quando usado algum material inerte, ele deve ser o mais leve possível, a fim de reduzir o peso na estrutura, porém deve garantir que suporte ao mínimo os esforços gerados na execução das lajes, como o peso das armaduras e do concreto. (PINHEIRO; RAZENTE, 2003).

Conforme elucida Cunha (1998, p. 203) algum dos materiais que podem ser usados como enchimento são:

- Blocos de argila;
- Poliestireno Expandido (EPS);
- Gesso;
- Caixas de Fibrocimento ou papelão;

- Concreto Celular;
- Formas especiais industrializadas.

Figura 7 – Bloco de poliestireno expandido (EPS) em uma laje nervurada



Fonte: Franca e Fusco (1997), *apud* Pinheiro e Razente (2003)

2.2.4 Considerações de projeto

“A prática usual consiste em adotar painéis com vãos maiores que os das lajes maciças, apoiados em vigas mais rígidas que as nervuras.” (PINHEIRO; RAZENTE, 2003, p. 17.7).

Neste sentido, a seguir serão apresentados os critérios adotados em projetos estruturais de lajes nervuradas conforme a norma NBR 6118 (ABNT, 2014)

2.2.4.1 Dimensões Mínimas

A NBR 6118 (ABNT, 2014) determina que a espessura mínima da mesa deve ser maior que $1/15$ da distância entre as nervuras, quando não houver tubulações horizontais embutidas e não ser menores que 4 cm. Diante disto, a valor mínimo da espessura da mesa da

laje deve ser de 5 cm, quando presente as tubulações embutidas de diâmetro menor ou igual a 10 mm. Quando houve tubulações com diâmetro maiores que 10 mm, a mesa deve:

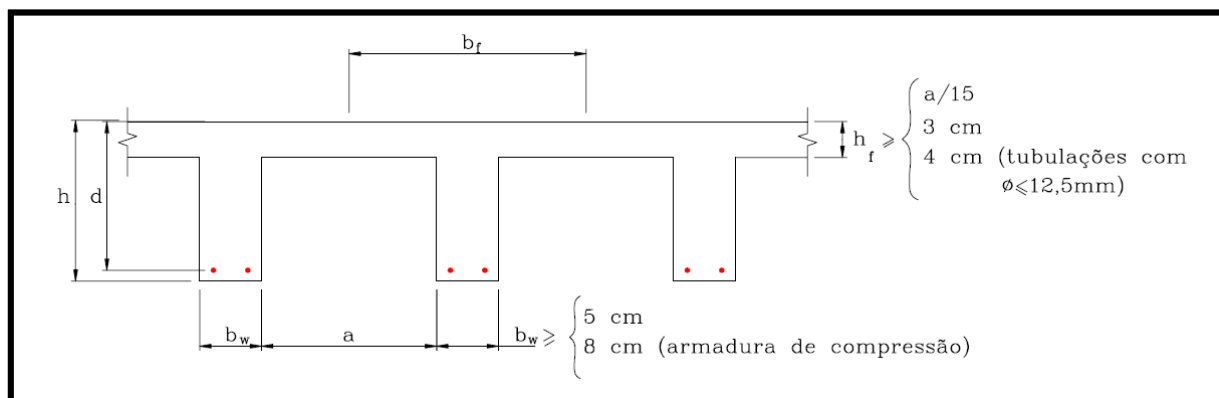
- Ter espessura mínimo de 4 cm + o diâmetro da tubulação, por exemplo: uma laje com tubulações com 25 mm, será 4 cm + 25 mm, totalizando 6,5 cm;
- Ou, 4 cm + 2 vezes o diâmetro quando houve tubulações transpostas entre si.

Nas nervuras da laje, a espessura mínima deverá ser de 5 cm e lajes com nervuras de até 8 cm não podem ser consideradas armadura de compressão.

Conforme prescrições da NBR 6118 (ABNT, 2014) Também devem ser seguidas as seguintes condições:

- a) para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras menor ou igual a 65 cm, pode ser dispensada a verificação da flexão da mesa, e para a verificação do cisalhamento da região das nervuras, permite-se a consideração dos critérios de laje;
- b) para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras entre 65 cm e 110 cm, exige-se a verificação da flexão da mesa, e as nervuras devem ser verificadas ao cisalhamento como vigas; permite-se essa verificação como lajes se o espaçamento entre eixos de nervuras for até 90 cm e a largura média das nervuras for maior que 12 cm;
- c) para lajes nervuradas com espaçamento entre eixos de nervuras maior que 110 cm, a mesa deve ser projetada como laje maciça, apoiada na grelha de vigas, respeitando-se os seus limites mínimos de espessura. (ABNT, 2014)

Figura 8 – Seção específica e dimensões mínimas



Fonte: Pinheiro e Razente (2003)

2.3 LAJE PROTENDIDA

Souza e Cunha (1994) definem que lajes são usualmente elementos planos bidimensionais (a espessura h é muito menor que as outras dimensões), com carregamento

predominantemente transversal. E a definição de elementos de concreto protendido segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) é:

[...] elementos de concreto protendido aqueles nos quais parte das armaduras é previamente alongada por equipamentos especiais de protensão, com a finalidade de, em condições de serviço, impedir ou limitar a fissuração e os deslocamentos da estrutura, bem como propiciar o melhor aproveitamento de aços de alta resistência no estado-limite último (ELU) (ABNT, 2014).

Unindo ambos os conceitos, pode-se afirmar que Laje Protendida é aquele elemento em plano bidimensional onde parte das armaduras são alongadas com a finalidade de impedir ou limitar a fissuração e ter melhor aproveitamento no emprego do concreto e suas características.

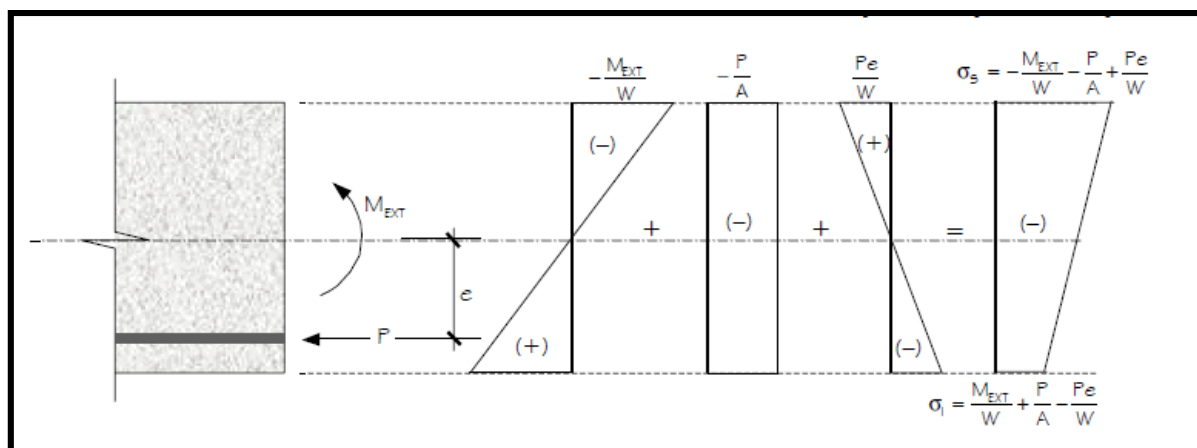
2.3.1 Características das lajes protendidas

O concreto protendido pode ser entendido como a peça de concreto, que após receber força devido à tensão dos cabos, é comprimido nas áreas onde sofreria tração pelo serviço, reduzindo assim a solicitação à tração no concreto consideravelmente. Segundo PFIEL (1984) a protensão pode ser definida com o artifício de introduzir, numa estrutura, um estado prévio de tensões, de modo a melhorar sua resistência ou seu comportamento, sob ação de diversas solicitações.

O concreto armado é empregado em lajes com o objetivo de aumentar a resistência à tração nas regiões onde o concreto sozinho mostra-se frágil, porém é possível observar que ainda há frecha onde o vão é maior, sendo necessário portanto, o emprego de maior quantidade de pilares e também adotar vigas e lajes mais robustas.

O concreto protendido utiliza cordoalhas de protensão que comprimem as peças de concreto, para que quando os esforços de tração incidirem, sejam anulados ou equilibrados pelos esforços promovidos pela protensão. Desta forma vãos maiores podem ser vencidos.

Figura 9 - Diagrama de tensões atuantes no Concreto Protendido



Fonte: Emerick (2002)

É possível observar no diagrama que a tensão exercida pelos cabos de protensão podem reduzir e até anular os esforços de tração, onde o cálculo contempla peso próprio, cargas permanentes e acidentais.

2.3.2 Materiais utilizados

2.3.2.1 Concreto

A construção de estruturas protendidas requer um controle de qualidade do concreto muito rigoroso. Deve-se exigir a realização de ensaios prévios, o controle contínuo do cimento e dos agregados utilizados, bem como uma fiscalização constante durante a elaboração do concreto. (VERISSIMO; CÉSAR JR 1998)

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) item 8.2.1 o concreto empregado quando utilizada armadura ativa deve respeitar a condição de **$f_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$** . Entre as variadas razões para adotar uma resistência maior, é o fato de que é possível empregar peças mais esbelta e isso resulta numa redução de peso na estrutura e fundação, torna as seções menores, exigindo assim que a resistência seja superior.

2.3.2.2 Aço para armaduras ativas

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) no item 3.1.6: “armadura ativa (de protensão) armadura constituída por barras, fios isolados ou cordoalhas, destinada à produção de forças de protensão, isto é, na qual se aplica um pré-alongamento inicial” (ABNT, 2014).

2.3.2.2.1 Fios de protensão e Cordoalhas engraxadas

São basicamente três maneiras que as amaduras ativas se apresentam:

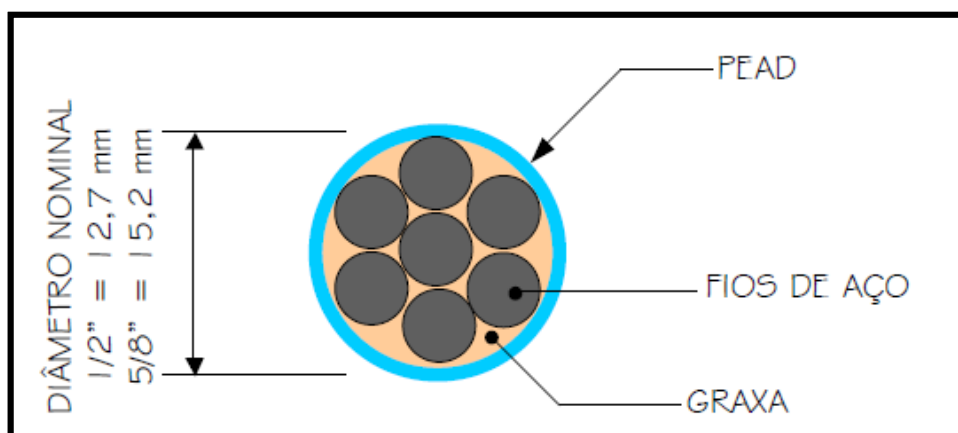
- Fios trefilados de aço carbono, diâmetro de 3 a 8 mm, fornecidos em rolos ou bobinas;
- Cordoalhas: Fios enrolados em forma de hélice, com dois, três ou sete fios;
- Barras de aço-liga de alta resistência, laminadas a quente, com diâmetros superiores a 12 mm, e com comprimento limitado.

Quanto às modalidades de tratamento podem ser:

- Aços aliviados ou de relaxação normal (RN), que são aços retificados pro tratamento térmico que alivia as tensões de trefilação;

Aços estabilizados ou de baixa relaxação (RB), que são aços trefilados que recebem tratamento termomecânico, o qual melhora as características elásticas e reduz as perdas de tensão por relaxação do aço. (HANAI, 2005)

Figura 10 - Seção de monocordoalha engraxada com 7 fios



Fonte: Emerick (2002)

2.3.2.3 Aço para armaduras passivas

São as mesmas aplicadas na produção de peças de concreto armado. A NBR 6118 (ABNT, 2014) item 3.1.5 define a armadura passiva da seguinte maneira “Armadura passiva qualquer armadura que não seja usada para produzir forças de protensão, isto é, que não seja previamente alongada”.

2.3.2.4 Dispositivos de ancoragem e bainhas metálicas

O termo Ancoragem é aplicado aos dispositivos e, ou artificios utilizados para fixar os cabos de protensão tensionados, de forma a manter a carga aplicada pelo macaco hidráulico, impedindo que o cabo volte ao estado original, isto é frouxo, sem tensão (VERISSIMO; CÉSAR JR 1998).

Figura 11 - Dispositivos de ancoragem utilizados em cordoalhas engraxadas.



Fonte: Hanai (2005)

São normalmente denominadas bainhas os tubos dentro dos quais a armadura de protensão deve ser colocada, onde possa deslizar sem atrito. As bainhas são utilizadas nos casos de protensão com aderência posterior. Em vias de regra são fabricadas de chapas de aço laminado a frio, com espessura de 0,1 a 0,35 mm costurada em hélice. No processo de fabricação, além da costura da chapa são produzidas ondulações transversais em hélice (VERISSIMO; CÉSAR JR 1998).

Figura 12 - Bainhas metálicas



Fonte: Site Macprotensão, 2020

2.3.3 Critérios do projeto

2.3.3.1 Ações

A estrutura sofre deformações de acordo com as ações que incidem sobre elas, os esforços a que a estrutura é submetida precisa necessariamente ser levado em conta para o correto dimensionamento. As ações podem ser divididas em 3 classes de acordo com a sua duração e frequência. São elas:

- a) Ações Permanentes: Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) item 11.3.1 “Ações permanentes são as que ocorrem com valores praticamente constantes durante toda a vida da construção. Também são consideradas permanentes as ações que aumentam no tempo, tendendo a um valor-limite constante. As ações permanentes devem ser consideradas com seus valores representativos mais desfavoráveis para a segurança.”

Podem ser classificadas como diretas, que é o caso do peso próprio, elementos construtivos fixos e instalações permanentes, ou indiretas que se pode citar como exemplo, a retração do concreto e a própria protensão.

- b) Ações Variáveis: A NBR 6118 (ABNT, 2014) define ações variáveis diretas no item 11.4.1 como constituídas pelas cargas acidentais previstas para o uso da construção, pela ação do vento e da água, devendo-se respeitar as prescrições feitas por Normas

Brasileiras específicas. E as ações variáveis indiretas no item 11.4.2 onde apresentam variações uniformes e não uniformes decorrentes do gradiente de temperatura, e ações variáveis dinâmicas, fruto de vibrações e choques devido às condições de uso;

- c) Ações Excepcionais: São as ações oriundas de carregamentos excepcionais. Em suma, há pouca probabilidade de ocorrência.

2.3.3.2 Estados limites

Tendo em mente que uma estrutura tem objetivos a cumprir e que devem existir mecanismos que estabeleçam diretrizes e definam o cumprimento ou não desses objetivos, adota-se os parâmetros designados como Estado Limite para esta tarefa. Os Estados Limites são divididos em dois grupos:

1. Estado Limite Último (ELU): Este estado pode ser entendido como o estado onde a estrutura não possui mais capacidade de resistência, impossibilitando e paralisando a utilização de obra. A NBR 6118 (ABNT, 2014) no item 3.2.1 “estado-limite relacionado ao colapso, ou a qualquer outra forma de ruína estrutural, que determine a paralisação do uso da estrutura”
2. Estado Limite de Serviço (ELS): NBR 6118 (ABNT, 2014) item 10.4 define “Estados-limites de serviço são aqueles relacionados ao conforto do usuário e à durabilidade, aparência e boa utilização das estruturas, seja em relação aos usuários, seja em relação às máquinas e aos equipamentos suportados pelas estruturas.”

2.3.3.3 Combinações de Ações

As combinações são realizadas para aferir os efeitos sobre a estrutura que lhe são mais desfavoráveis como pede a NBR 8681 (Ações e Segurança nas Estruturas), são combinados os Estados Limites e a probabilidade que eles possuem de acontecer.

São as combinações divididas em dois grupos, as Combinações Últimas e as Combinações de Serviço. De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) item 11.8.2 Uma combinação última pode ser classificada como normal, especial ou de construção e excepcional.:

- a) **Combinações últimas normais:** Em cada combinação devem estar incluídas as ações permanentes e a ação variável principal, com seus valores característicos e as demais ações variáveis, consideradas secundárias, com seus valores reduzidos de combinação, conforme NBR 8681 (ABNT, 2003);
- b) **Combinações últimas especiais ou de construção:** Em cada combinação devem estar presentes as ações permanentes e a ação variável especial, quando existir, com seus valores característicos e as demais ações variáveis com probabilidade não desprezível, de ocorrência simultânea, com seus valores reduzidos de combinação, conforme NBR 8681 (ABNT, 2003);
- c) **Combinações últimas excepcionais:** Em cada combinação devem figurar as ações permanentes e a ação variável excepcional, quando existir, com seus valores representativos e as demais ações variáveis com probabilidade não desprezível de ocorrência simultânea, com seus valores reduzidos de combinação, conforme ABNT NBR 8681. Nesse caso se enquadram, entre outras, sismo e incêndio. (ABNT, 2003)

A norma também estabelece as Combinações de Serviço e as classifica da seguinte maneira:

- a) **Quase permanentes:** podem atuar durante grande parte do período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado-limite de deformações excessivas;
- b) **Frequentes:** repetem-se muitas vezes durante o período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação dos estados-limites de formação de fissuras, de abertura de fissuras e de vibrações excessivas. Podem também ser consideradas para verificações de estados-limites de deformações excessivas decorrentes de vento ou temperatura que podem comprometer as vedações;
- c) **Raras:** ocorrem algumas vezes durante o período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado-limite de formação de fissuras. (ABNT, 2014)

2.3.3.4 Graus de Protensão

Quando se pretende limitar um determinado grau de fissuração nas peças protendidas, é costumeiro usar para isso a escala de Graus de protensão, onde após serem solicitados por cargas, as fissuras já estão previstas e calculadas. É avaliado em quais casos deve-se impedir completamente a fissuração e em quais casos é suficiente somente limitar a fissuração.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) classifica 3 Graus de Protensão e suas condições básicas que necessitam ser verificadas:

- Protensão Completa

a) Para as combinações frequentes de ações, previstas no projeto, é respeitado o estado limite de descompressão;

b) Para as combinações raras de ações, quando previstas no projeto, é respeitado o estado limite de formação de fissuras. (ABNT, 2014)

Conforme Verissimo e Cezar Jr (1998), esse tipo de protensão é bastante eficaz quando se tem um ambiente muito agressivo, pois possibilita uma melhor proteção à armadura

- Protensão Limitada

a) Para combinações quase permanentes de ações, previstas no projeto, é respeitado o estado limite de descompressão;

b) para combinações frequentes de ações, previstas no projeto, é respeitado o estado limites de formação de fissuras. (ABNT, 2014)

As vigas com protensão limitada são dimensionadas para tensões moderadas de tração em serviço, considerando-se uma probabilidade muito pequena de fissuração do concreto. As fissuras eventualmente abertas, devido à atuação de uma sobrecarga transitória, se fecham após a passagem da carga, pois as seções permanecem comprimidas sob o efeito das cargas quase permanentes. (VERISSIMO; CÉSAR JR 1998)

- Protensão Parcial

- a) Para combinações quase permanentes de ações, previstas no projeto, é respeitado o estado limite de descompressão;
- b) para combinações frequentes de ações, previstas no projeto, é respeitado o estado limites de abertura de fissuras. (ABNT, 2014)

O critério estabelecido neste caso é semelhante àquele para protensão limitada, porém, permite-se que as tensões de tração no concreto atinjam valores mais elevados ocasionando a formação de fissuras de maior abertura. (VERISSIMO; CÉSAR JR 1998)

2.3.3.5 Perdas de Protensão

Segundo Pfiel (1984) são denominadas perdas de protensão, todas as perdas verificadas nos esforços aplicados aos cabos de protensão. Tais perdas são classificadas e dois grupos. As Imediatas ou Instantâneas e as Progressivas.

- Instantâneas

De acordo com Emerick (2002) são perdas imediatas aquelas que ocorrem durante a operação de protensão e ancoragem dos cabos.

- a) Perda por acomodação da ancoragem: Perdas nas ancoragens, provocadas por movimentos nas cunhas de ancoragem, quando o esforço é transferido do macaco para as placas de apoio. (EMERICK 2002);
- b) Perda por atrito dos cabos com a bainha: Produzidas por atrito do cabo com peças adjacentes durante a protensão (EMERICK 2002);
- c) Perda por deformação imediata do concreto: Nos elementos estruturais com pós-tração, a protensão sucessiva de cada um dos n grupos de cabos protendidos simultaneamente provoca uma deformação imediata do concreto e, conseqüentemente, afrouxamento dos cabos anteriormente protendidos. (ABNT, 2014)

- Progressivas

- a) Perda devido à relaxação da armadura: Os aços de protensão, quando ancorados com comprimentos constantes e tensão elevada, sofrem uma perda de tensão, fenômeno denominado relaxação. (PFIEL 1984)
- b) Perda devido a retração do concreto: A retração provoca encurtamento do concreto, e, portanto, encurtamento do cabo de protensão, donde uma perda de tensão no mesmo. (PFIEL 1984).
- c) Perda devido a fluência do concreto: O concreto, comprimido pelos cabos de protensão, sofre efeito de fluência, deformando-se lentamente (PFIEL 1984).

2.3.4 Sistema de protensão

2.3.4.1 Pré-tração

É usualmente adotada em fabricas, onde há a possibilidade de produção em série por ser um material pré-moldado.

- a) Aderência inicial: A protensão com aderência inicial é muito empregada na fabricação de pré-moldados de concreto protendido. Nas pistas de protensão a armadura ativa é posicionada, ancorada em blocos nas cabeceiras e tracionadas. Em seguida a armadura passiva é colocada, o concreto é lançado e adensado, e a peça passa pela fase de cura. Após a cura, as formas são retiradas, os equipamentos que mantinham os cabos tracionados são liberados e os fios são cortados, transferindo a força de protensão para o concreto pela aderência, que nessa ocasião deve estar suficientemente desenvolvida. (VERISSIMO; CÉSAR JR 1998)

2.3.4.2 Pós-tração

No sistema de Pós-tração, a armadura ativa, é tracionada após a cura do concreto e utilizando a própria peça como ancoragem, impedindo o cabo de voltar ao estado inicial onde não sofria estiramento, desta maneira comprimindo a peça. São 3 as maneiras de adotar o sistema de pós-tração para concreto protendido:

a) Aderência posterior: A protensão é aplicada sobre uma peça de concreto já endurecido e a aderência é processada posteriormente, geralmente através de injeção de calda de cimento no interior das bainhas. (VERISSIMO; CÉSAR JR 1998)

b) Sem Aderência: A armadura ativa é tracionada após a execução da peça de concreto. A inexistência de aderência refere-se somente à armadura ativa. A armadura passiva deve estar sempre aderida ao concreto. Geralmente, a armadura ativa é colocada dentro de dutos metálicos ou de plástico. Após a força de protensão, injeta-se graxa nesses dutos para proteger a armadura da corrosão. (VERISSIMO; CÉSAR JR 1998). São muito utilizadas nesse sistema cordoalhas engraxadas, pois elas já vêm prontas para utilização.

c) Protensão externa: São casos em que os cabos atuam no exterior das peças, onde o traçado desejado é definido por apoios onde os cabos exercerão força.

A laje nervurada protendida apresenta consideráveis diferenças frente a laje nervurada de concreto armado, diferenças essas que não seriam passíveis de explanação de modo exaustivo, posto que o presente trabalho pretende tratar de maneira comparativa e com foco dirigido no âmbito técnico e econômico.

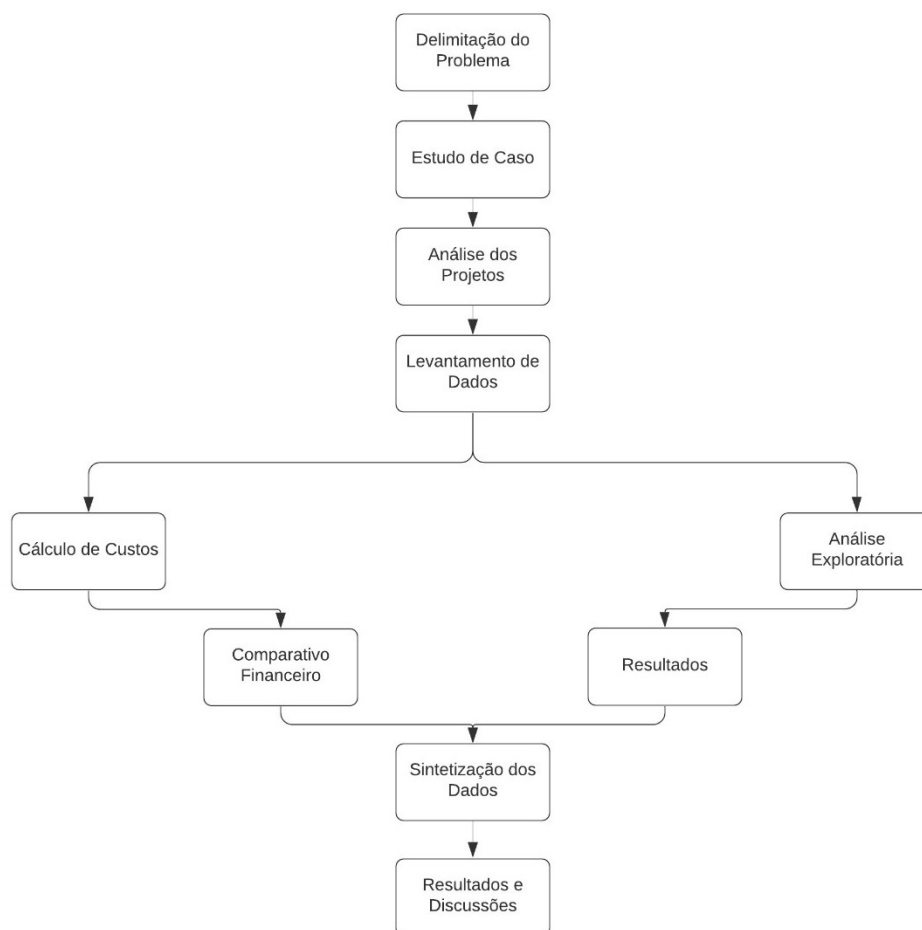
3 METODOLOGIA

De acordo com os elementos encontrados na revisão bibliográfica, onde os objetos de estudo foram os tipos de sistemas de lajes nervuradas, sendo a laje nervurada em concreto armado e a laje nervurada em concreto protendido, onde foram utilizados os projetos estruturais da obra estudada, e foi elaborado um fluxograma para auxiliar no desenvolvimento das etapas.

3.1 FLUXOGRAMA

Neste capítulo é apresentado o fluxograma das etapas metodológicas para o desenvolvimento do trabalho

Figura 13 - Fluxograma de etapas da metodologia



Fonte: Dos autores (2020)

3.2 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

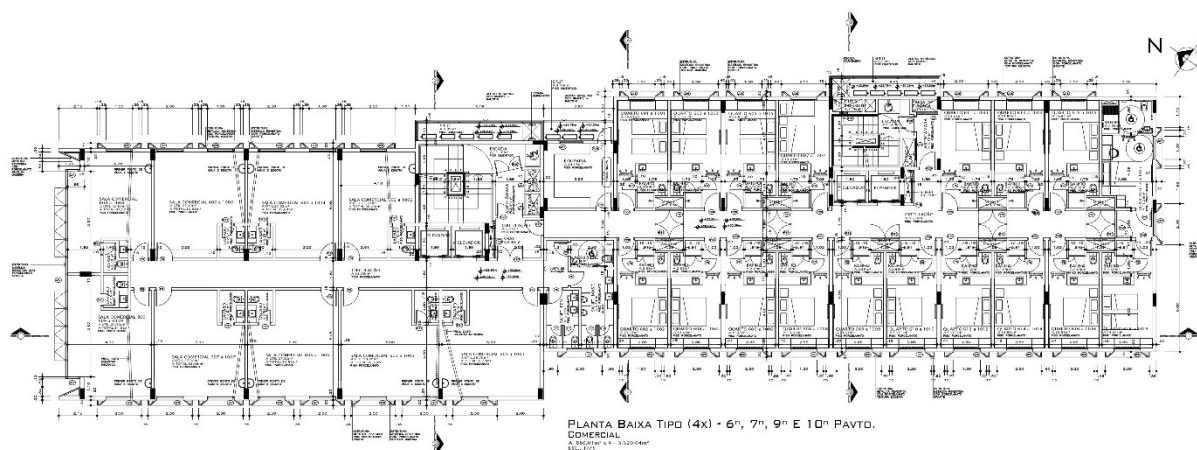
A etapa inicial é delimitar o problema, onde ele será contemplado na perspectiva técnica e econômica com propósito de identificar e sugerir possíveis soluções. Por conseguinte, será a etapa do estudo de caso, fazendo levantamento de informações junto à incorporadora do empreendimento.

3.3 ANÁLISE DOS PROJETOS

Foram analisados os projetos estruturais em concreto armado e em concreto protendido e o projeto arquitetônico do empreendimento para realizar o levantamento de dados para orçamento dos custos para execução em ambos os sistemas de lajes.

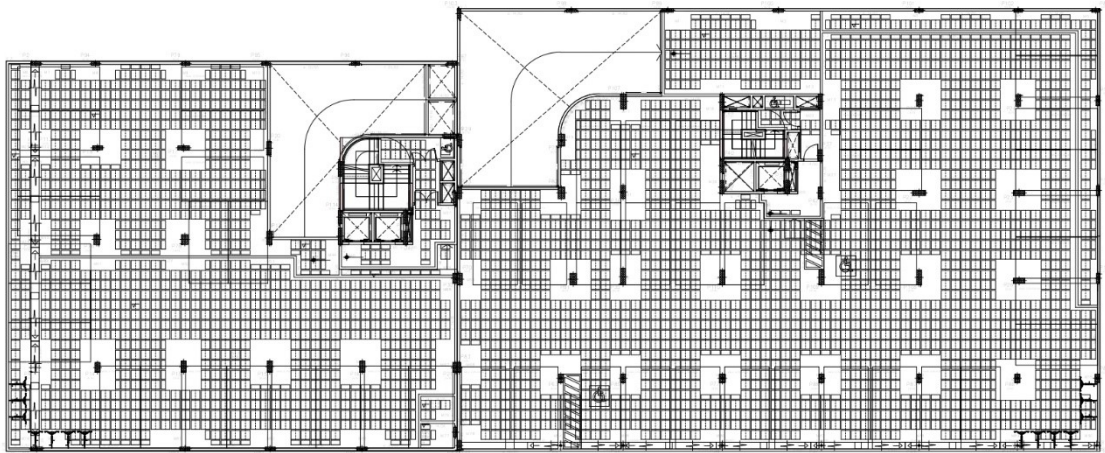
Nessa análise inicial não se pretende observar os fatores que contribuem para que seja adotado um determinado sistema em detrimento de outro, mas sim observar os resultados sem partidarismo, pois o objetivo do presente estudo é comparativo.

Figura 14 - Planta baixa do pavimento tipo do empreendimento



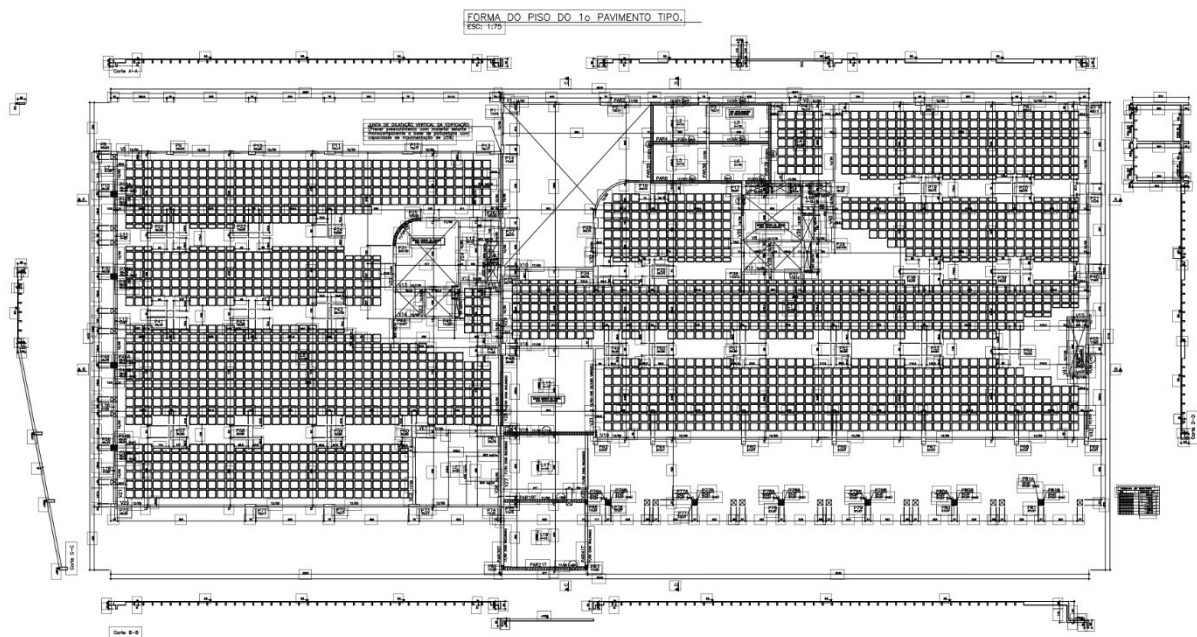
Fonte: Eraldo Construções (2021)

Figura 15 - Projeto de formas do pavimento tipo em concreto armado



Fonte: Eraldo Construções (2021)

Figura 16 - Projeto de formas do pavimento tipo em concreto protendido



Fonte: Eraldo Construções (2021)

3.4 LEVANTAMENTO DE CUSTOS

Para realizar os cálculos dos custos diretos dos materiais e mão de obra, foi utilizado a ferramenta de composição de custos do TCPO – Tabela de Composição de Preços para Orçamentos, e levantados os coeficientes de cálculos, com os preços referente ao mês de abril de 2021.

Para o levantamento dos dados dos custos da protensão das armaduras ativas no sistema de lajes nervuradas em concreto protendido, foi obtido auxílio de uma empresa especialista na área de Curitiba/PR.

3.5 SINTETIZAÇÃO DOS DADOS

Após todos os dados levantados, foi realizada toda a sintetização para compor uma dinâmica de exploração dos resultados.

3.6 COMPARATIVO TÉCNICO E FINANCEIRO ENTRE OS SISTEMAS

Com os dados levantados, foi realizada a comparação técnica e financeira em cada sistema de lajes e com os resultados obtidos, apontar o sistema mais viável tecnicamente e economicamente e explicar a peculiaridades de cada sistema.

4 RESULTADOS

Para que o levantamento de dados quantitativos pudesse ser realizado, foi cedido pela empresa Eraldo Construções o memorial descritivo da obra e os projetos do empreendimento, sendo assim possível coletar os dados quantitativos dos materiais.

Fazendo uso da ferramenta TCPO – Tabela de Composição de Preços para Orçamentos, que fornece os coeficientes atualizados dos custos regionais de material e mão de obra, foi possível expressar em valores reais, atuais e fundamentados a estimativa de gastos em cada método construtivo. Os números coletados do empreendimento, os coeficientes de cálculo, a descrição dos insumos e profissionais estão dispostos nos APÊNDICES A, B, C, D e E, apresentados em tabelas para fácil leitura e conferência dos valores, referentes ao mês de abril de 2021.

4.1 APRESENTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O empreendimento objeto de estudo está localizado na cidade de Tubarão, Santa Catarina, que foi projetado e será executado por uma construtora da mesma cidade. O empreendimento englobará três classificações de ocupação, sendo uma torre privativa (residencial multifamiliar), e uma torre contemplando ocupação transitória (hotel) e ocupação comercial, dentro de uma área total aproximada de 20.500 metros quadrados.

O empreendimento em questão foi inicialmente planejado para ser executado em laje nervurada em concreto armado e paredes de alvenaria convencional, porém após análises e estudos, foram levantadas opções que pudessem adequar-se melhor à otimização do espaço e custos globais do empreendimento.

Pretende-se trazer dados concretos e empíricos que possam fundamentar a escolha mais lucrativa, dada a complexidade do empreendimento.

Figura 17 - Imagem virtual do empreendimento



Fonte: Site Eraldo Construções, 2021

Os quantitativos de materiais de mão de obra levantados em cada sistema de lajes encontram-se nos APÊNDICES A, B, C, D e E ao final deste trabalho.

A apresentação dos resultados ocorrerá através de gráficos que apresentarão o aspecto macro dos custos dirigindo-se para o aspecto micro, observando a disposição do custo que cada grupo de insumos demandado, bem como o custo que cada tipo de elemento estrutural exige em cada método construtivo.

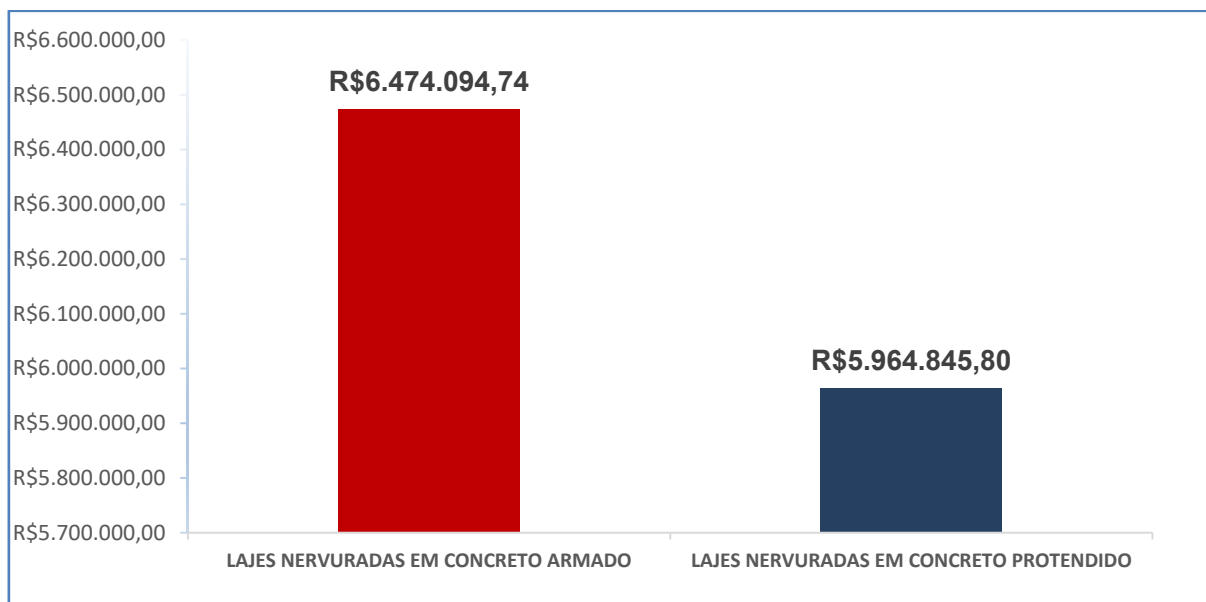
4.1.1 Comparativo de custos diretos globais

O comparativo de custo direto global aponta o sistema de Laje Nervurada em Concreto Armado como o que apresentou maior custo, estimando que para sua execução seja necessário R\$6.474.094,74. Para a execução utilizando o sistema de Laje Nervurada em Concreto Protendido a estimativa de custos é de R\$5.964.845,80 representando assim uma redução de R\$509.248,94 ou uma economia de aproximadamente 7,9%.

Os valores levantados foram obtidos através do acesso ao memorial descritivo que fornecia o detalhamento de consumo de material dos principais grupos de material, como aço,

concreto, formas de madeira, formas plásticas, cimbramento e cordoalhas para protensão, bem como a área construída.

Gráfico 1 - Custo Direto Global por Sistema Estrutural (Materiais e Mão de obra)



Fonte: Dos autores (2021)

4.1.2 Custo direto dos materiais

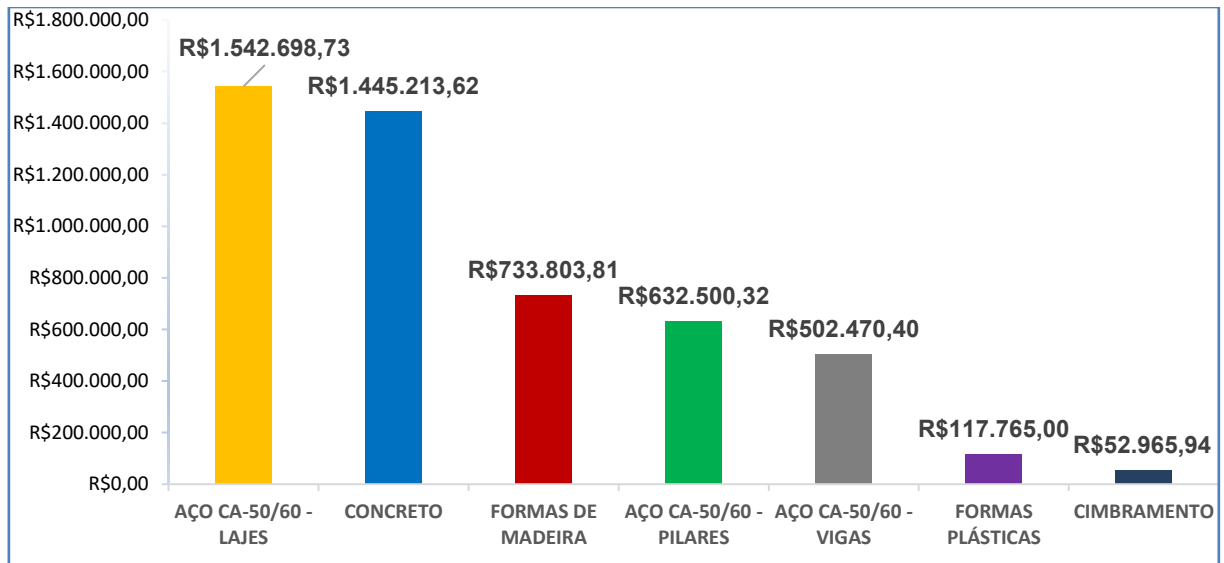
No comparativo de custos diretos de materiais a opção que se apresentou mais vantajosa foi também o sistema de Lajes Nervuradas em Concreto Protendido, apresentando o somatório do custo dos insumos de R\$4.655.223,16 enquanto o sistema de Laje Nervurada em Concreto Armado expressou o somatório de R\$5.027.417,81.

É possível observar a representatividade do custo dos materiais na constituição do custo total, onde é responsável por 77,65% do montante no sistema de Laje Nervurada em Concreto Armado e de 78,04% no sistema de Lajes Nervuradas em Concreto Protendido.

4.1.2.1 Custo diretos dos materiais do sistema de lajes nervuradas em concreto armado

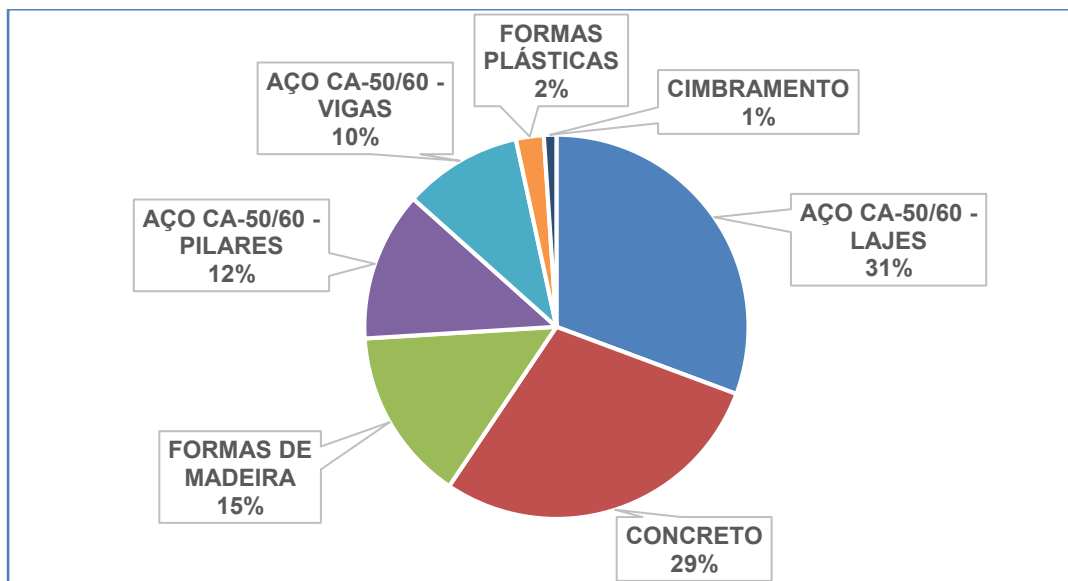
A composição do valor de R\$5.027.417,81 é realizada através do somatório dos grupos de materiais do Gráfico 02. A distribuição percentual do custo dos distintos grupos é apresentada através do Gráfico 03.

Gráfico 2 - Custo direto dos materiais do sistema lajes nervuradas em concreto armado



Fonte: Dos autores (2021)

Gráfico 3 - Custo direto dos materiais do sistema lajes nervuradas em concreto armado (%)

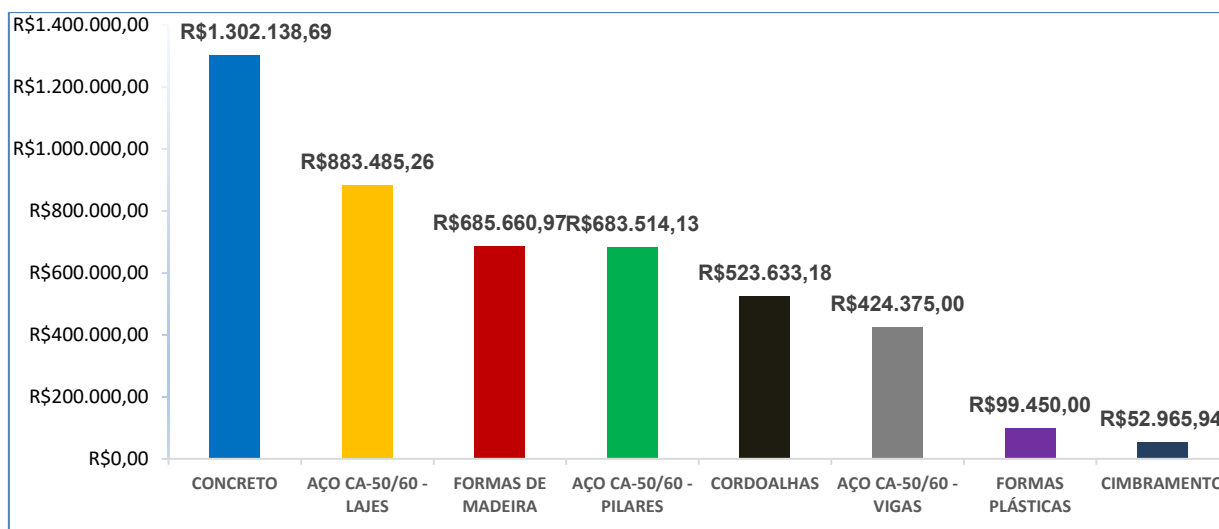


Fonte: Dos autores (2021)

4.1.2.2 Custo direto dos materiais do sistema de lajes nervuradas em concreto protendido

A composição do valor de R\$4.655.223,16 é realizada através do somatório dos grupos de materiais do Gráfico 04. A distribuição percentual do custo dos distintos grupos é apresentada através do Gráfico 05.

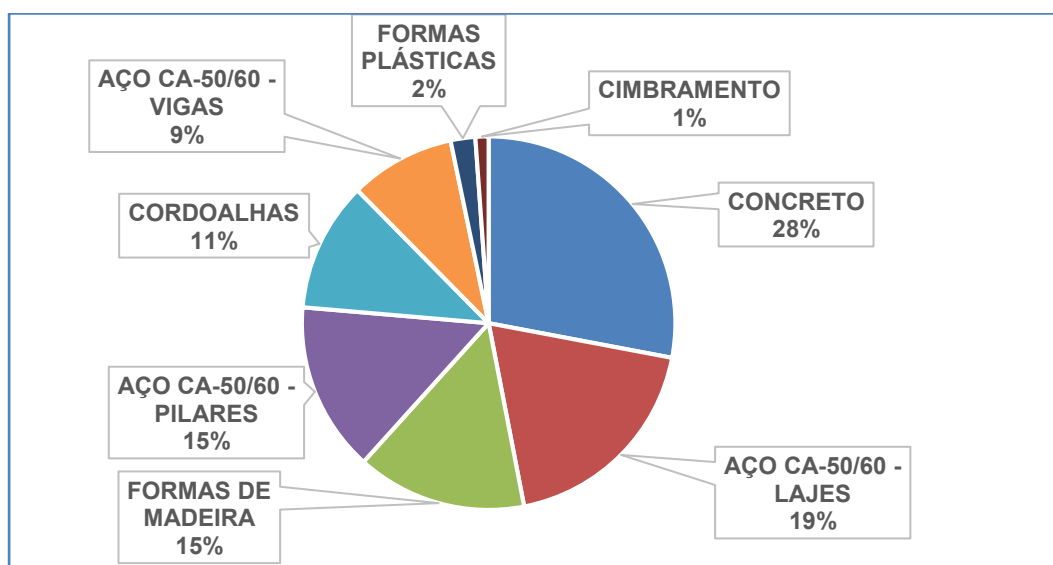
Gráfico 4 - Custo direto dos materiais do sistema lajes nervuradas em concreto protendido



Fonte: Dos autores (2021)

Gráfico 5 - Custo direto dos materiais do sistema lajes nervuradas em concreto protendido

(%)



Fonte: Dos autores (2021)

4.1.3 Custo direto da mão de obra

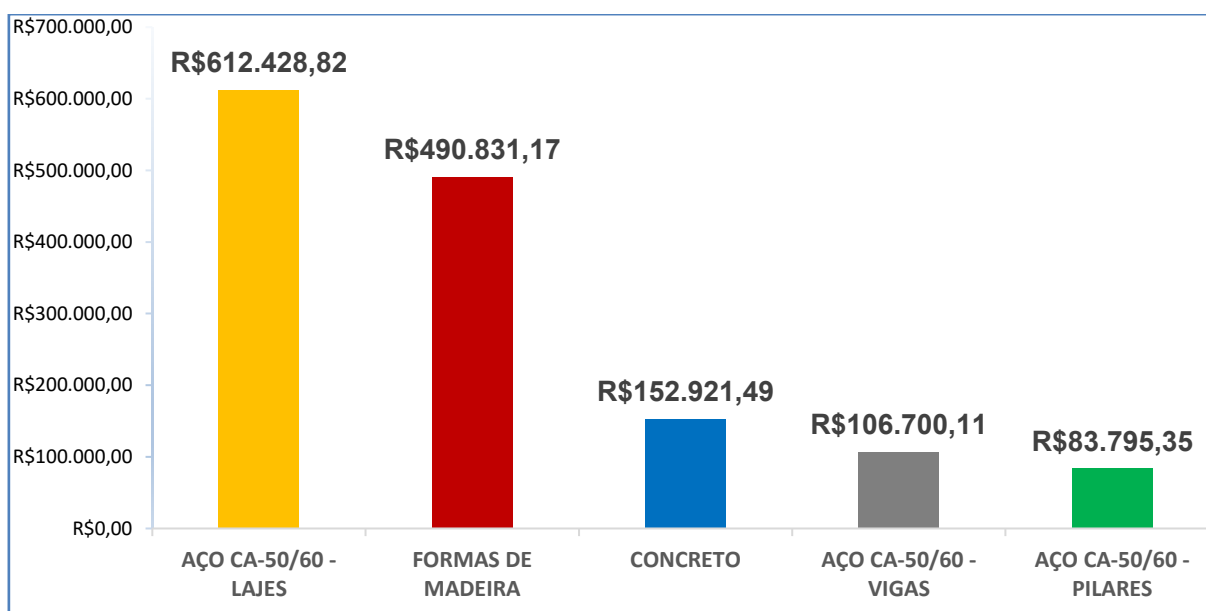
No comparativo de custos diretos de mão de obra, a opção que se apresentou mais vantajosa foi também o sistema de Lajes Nervuradas em Concreto Protendido, apresentando o somatório do custo dos serviços de R\$1.309.622,64 enquanto o sistema de Laje Nervurada em Concreto Armado expressou o somatório de R\$1.446.676,93.

O custo de mão de obra representa uma parcela muito inferior no arranjo dos gastos totais, correspondendo 23,35% do custo total para o sistema de Laje Nervurada em Concreto Armado e correspondendo a 21,96% no sistema de Lajes Nervuradas em Concreto Protendido.

4.1.3.1 Custo direto da mão de obra do sistema de lajes nervuradas em concreto armado

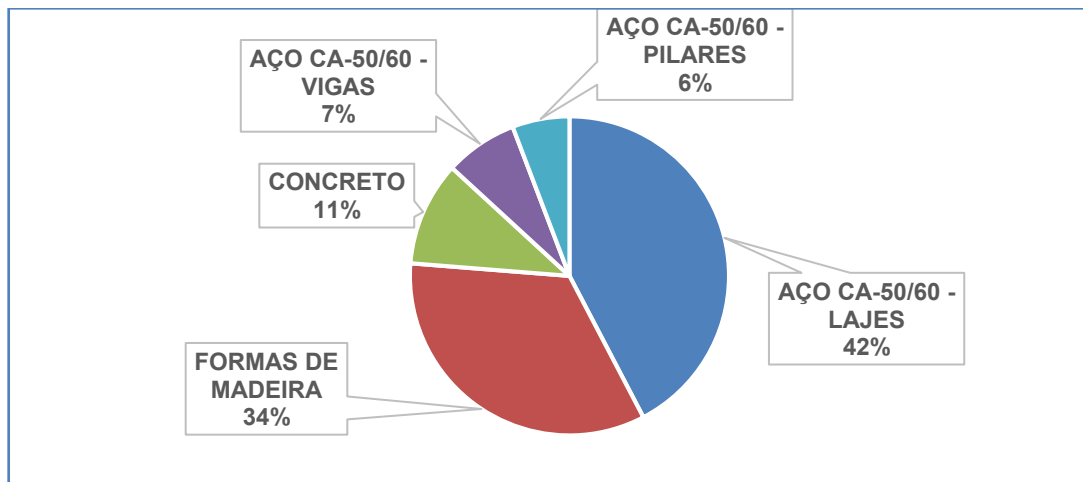
A composição do valor de R\$1.446.676,93 é realizada através do somatório do custo da mão de obra para a execução dos elementos inerentes à superestrutura dispostos no Gráfico 06. A distribuição percentual do custo dos distintos grupos é apresentada pelo Gráfico 07.

Gráfico 6 - Custo direto da mão de obra do sistema de lajes nervuradas em concreto armado



Fonte: Dos autores (2021)

Gráfico 7 - Custo direto da mão de obra do sistema de lajes nervuradas em concreto armado (%)

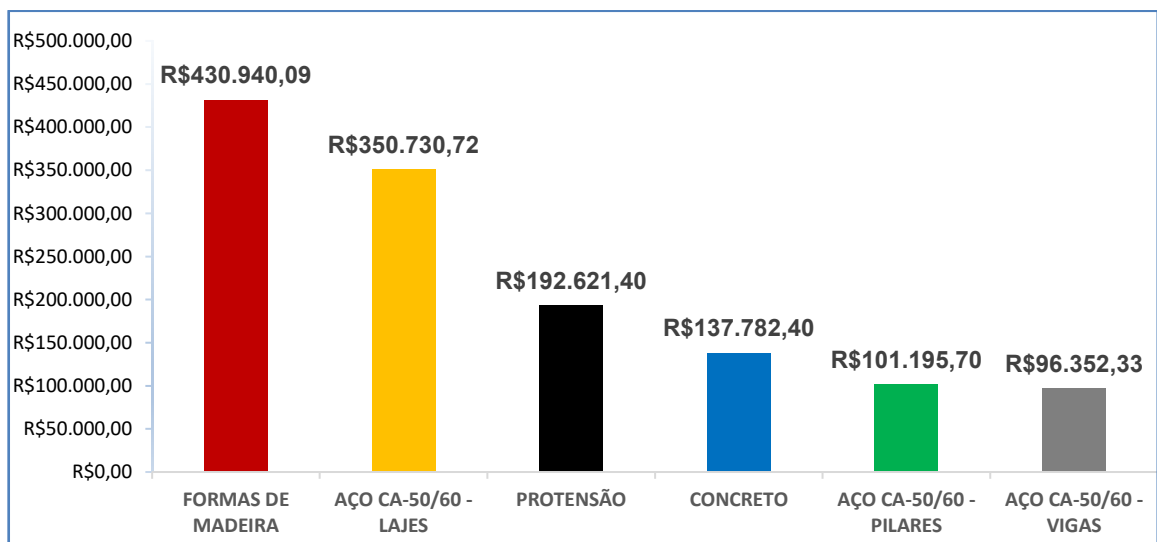


Fonte: Dos autores (2021)

4.1.3.2 Custo direto da mão de obra do sistema de lajes nervuradas em concreto protendido

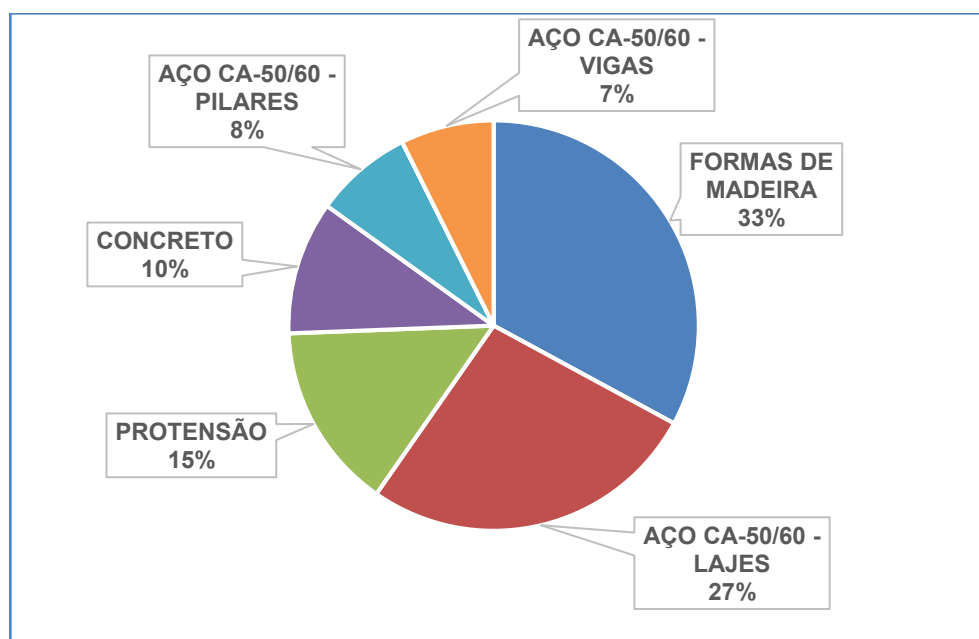
A composição do valor de R\$1.309.622,64 é realizada através do somatório do custo da mão de obra para a execução dos elementos inerentes à superestrutura dispostos no Gráfico 08. A distribuição percentual do custo dos distintos grupos é apresentada pelo Gráfico 09.

Gráfico 8 - Custo direto da mão de obra do sistema de lajes nervuradas em concreto protendido



Fonte: Dos autores (2021)

Gráfico 9 - Custo direto da mão de obra do sistema de lajes nervuradas em concreto protendido (%)



Fonte: Dos autores (2021)

4.1.4 Comparativo direto por insumo

Comparativo do material separando pelos grupos de insumos, sendo realizada a divisão para cada sistema de laje.

4.1.4.1 Formas de madeira

O sistema que apresentou maior economia no custo de material para fabricação de formas foi o de lajes nervuradas em concreto protendido, apresentando uma economia de R\$48.142,84 (6,56%) frente ao sistema de lajes nervuradas em concreto armado.

4.1.4.2 Cimbramento

Não foi necessário realizar o comparativo de cimbramento, pois ele baseia-se na área construída que é a mesma para ambos os sistemas. Sendo o valor levantado de R\$52.965,94.

4.1.4.3 Aço

O sistema que apresentou maior economia no custo de material na utilização do aço para fabricação dos elementos estruturais foi o sistema de laje nervurada em concreto protendido, apresentando uma economia de R\$686.295,06 (25,63%) frente ao sistema de laje nervurada em concreto armado.

4.1.4.4 Cordoalhas

O sistema de laje nervurada em concreto armado não utiliza armadura ativa na sua fabricação. Sendo assim o custo de cordoalhas está presente somente no levantamento de custos do sistema de laje nervurada em concreto protendido, somando assim o valor de R\$523.633,18 ao restante dos custos.

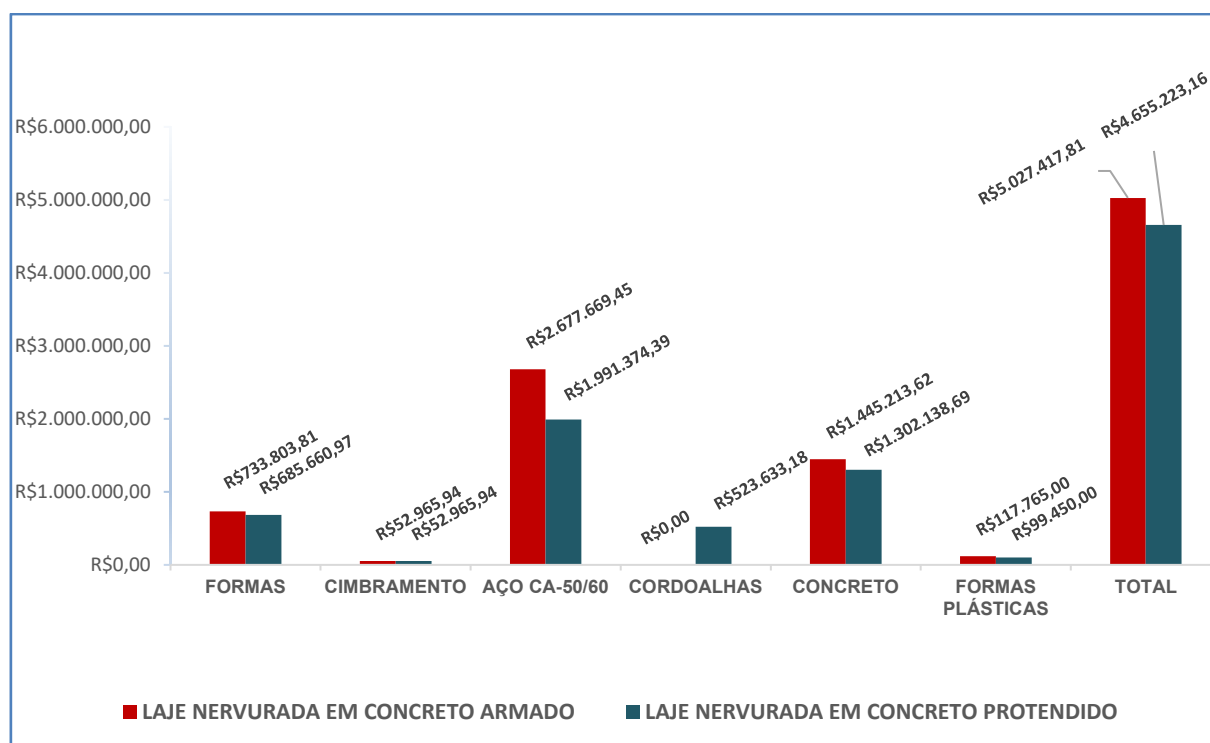
4.1.4.5 Concreto

O sistema que apresentou maior economia no custo de material na utilização do concreto para fabricação dos elementos estruturais foi o sistema de laje nervurada em concreto protendido, apresentando uma economia de R\$143.074,92 (9,90%) frente ao sistema de laje nervurada em concreto armado.

4.1.4.6 Formas plásticas

O sistema que apresentou maior economia no custo de material para utilização de formas plásticas para fabricação dos elementos estruturais foi o sistema de laje nervurada em concreto protendido, apresentando uma economia de R\$18.315,00 (15,55%) frente ao sistema de laje nervurada em concreto armado.

Gráfico 10 - Comparativo dos materiais das lajes em concreto armado x protendida



Fonte: Dos autores (2021)

4.1.5 Comparativo direto da mão de obra

Para o comparativo direto pela mão de obra, será separado cada grupo de insumos para cada sistema construtivo.

4.1.5.1 Formas de madeira

O sistema que apresentou maior economia no custo de mão de obra para fabricação, montagem e desmontagem de formas de madeira dos elementos estruturais foi o sistema de laje nervurada em concreto protendido, apresentando uma economia de R\$59.891,08 (12,20%) frente ao sistema de laje nervurada em concreto armado.

4.1.5.2 Aço

O sistema que apresentou maior economia no custo de mão de obra para montagem das armaduras dos elementos estruturais foi o sistema de laje nervurada em concreto

protendido, apresentando uma economia de R\$254.645,52 (31,71%) frente ao sistema de laje nervurada em concreto armado.

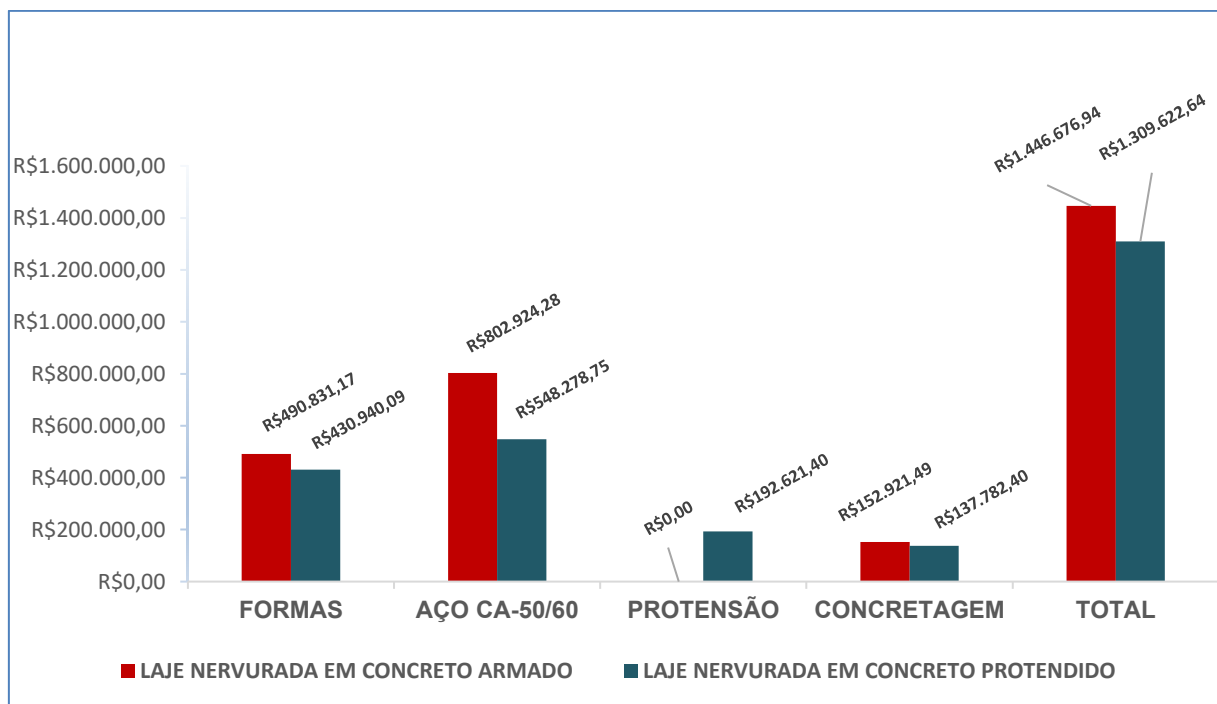
4.1.5.3 Protensão

O sistema de laje nervurada em concreto armado não utiliza armadura ativa na sua fabricação. Sendo assim o custo de mão de obra para a protensão está presente somente no levantamento de custos do sistema de laje nervurada em concreto protendido, somando assim o valor de R\$192.621,40 ao restante dos custos de mão de obra.

4.1.5.4 Concretagem

O sistema que apresentou maior economia no custo de mão de obra para a concretagem dos elementos estruturais foi o sistema de laje nervurada em concreto protendido, apresentando uma economia de R\$15.139,10 (9,90%) frente ao método de laje nervurada em concreto armado.

Gráfico 11 - Comparativo da mão de obra das lajes em concreto armado x protendida



Fonte: Dos autores (2021)

4.1.6 Comparativo por elemento da superestrutura

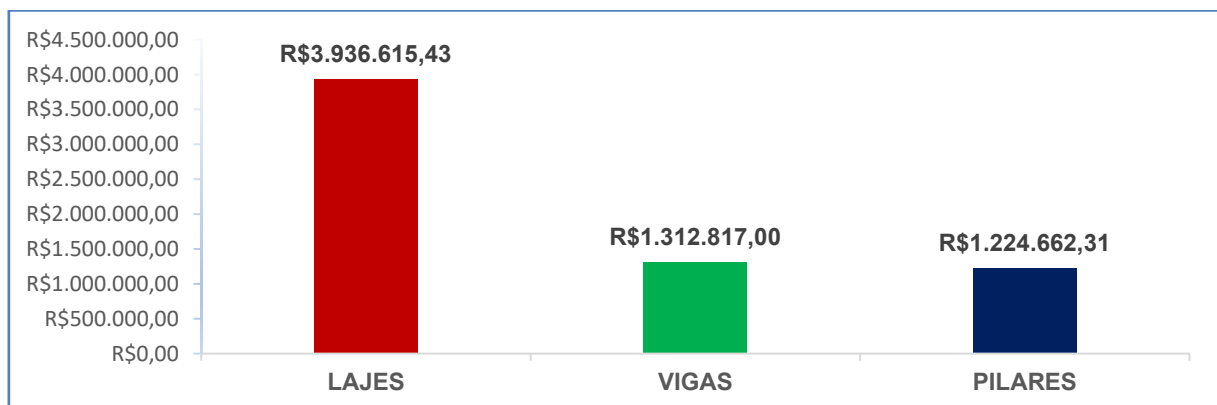
É possível também realizar a análise através dos elementos que compõem a superestrutura, que é objeto do presente trabalho.

Após o levantamento dos materiais e mão de obra que serão necessários para a execução do empreendimento, é realizado a separação por elementos para que seja possível verificar o impacto que cada elemento gera no total da obra, e qual a relevância do método construtivo empregado.

4.1.6.1 Custo direto total por elemento estrutural da laje nervurada em concreto armado

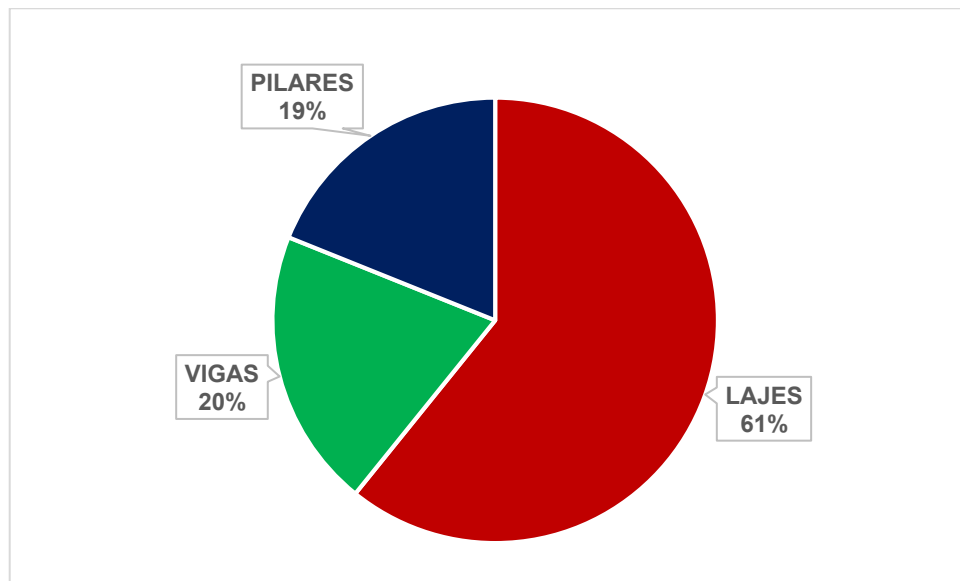
Para o sistema de laje nervurada em concreto armado a distribuição do custo total ficou dividido segundo o Gráfico 12, e pode ser observado percentualmente no Gráfico 13.

Gráfico 12 - Custo direto total por elemento estrutural da laje nervurada em concreto armado



Fonte: Dos autores (2021)

Gráfico 13 - Custo direto total por elemento estrutural da laje nervurada em concreto armado (%)

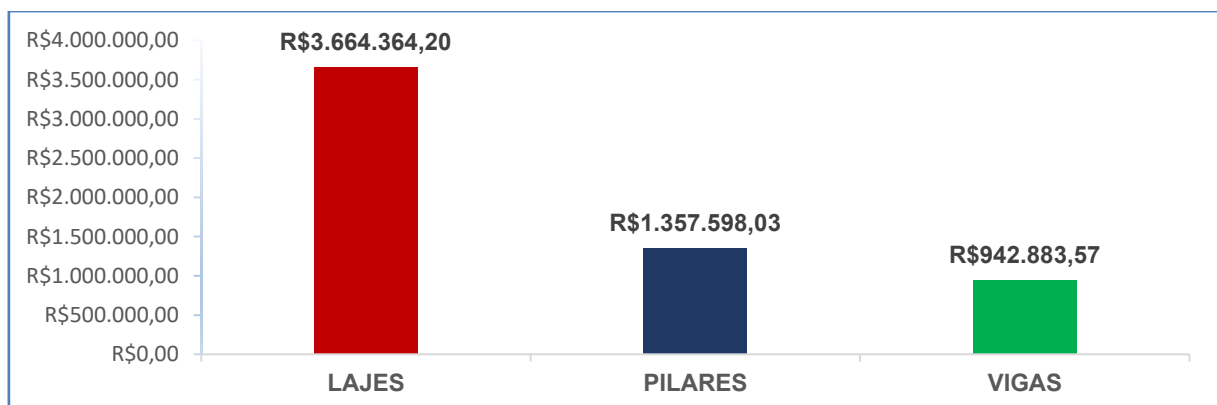


Fonte: Dos autores (2021)

4.1.6.2 Custo direto total por elemento estrutural da laje nervurada em concreto protendido

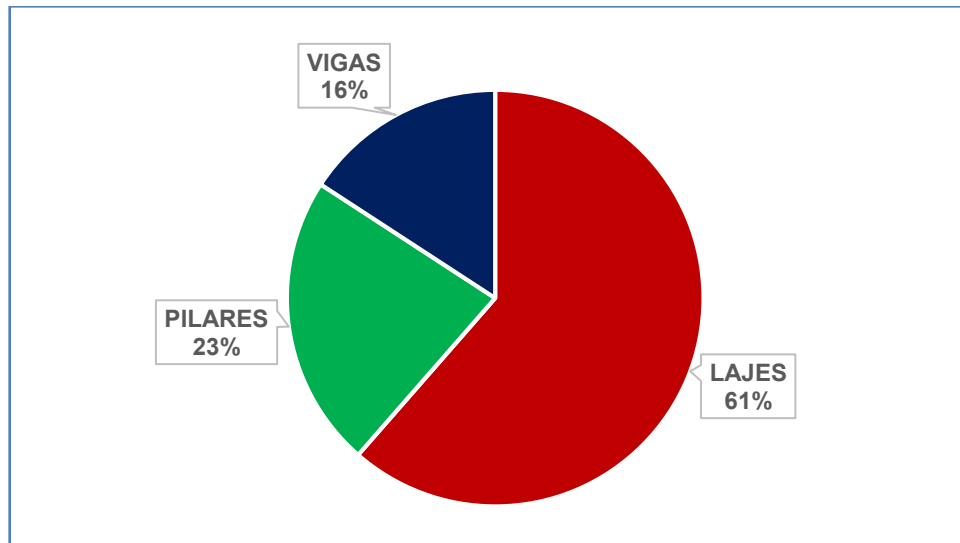
Para o sistema de laje nervurada em concreto protendido a distribuição do custo total ficou dividido segundo o Gráfico 14, e pode ser observado percentualmente no Gráfico 15.

Gráfico 14 - Custo direto total por elemento estrutural da laje nervurada em concreto protendido



Fonte: Dos autores (2021)

Gráfico 15 - Custo direto total por elemento estrutural da laje nervurada em concreto protendido (%)

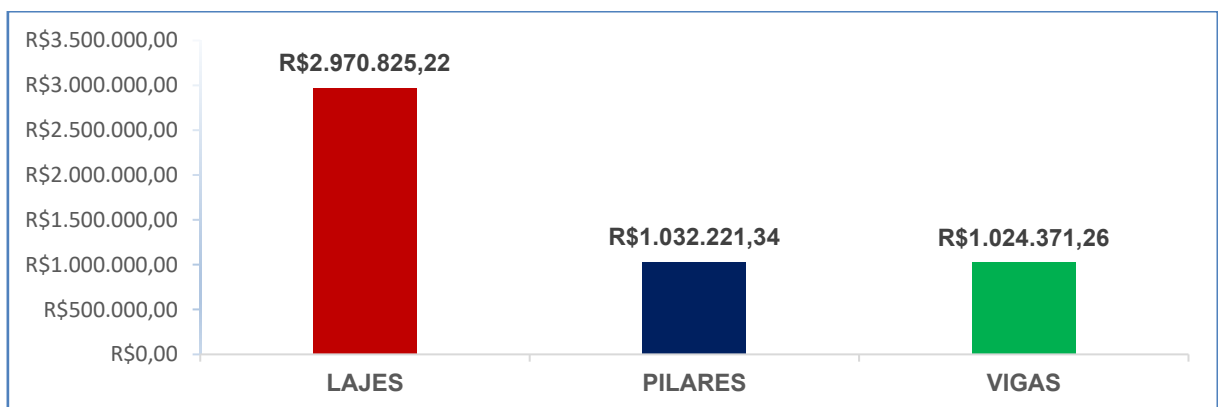


Fonte: Dos autores (2021)

4.1.6.3 Custo direto dos materiais por elemento estrutural da laje nervurada em concreto armado

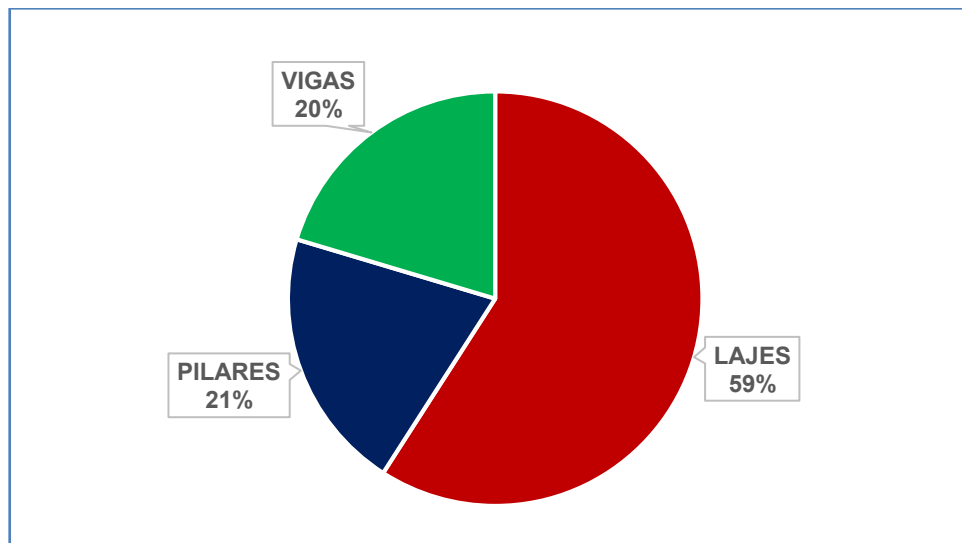
Os materiais que compõem o custo dos elementos estruturais no sistema de laje nervurada em concreto armado estão dispostos no Gráfico 16, e o percentual de cada grupo é observado no Gráfico 17.

Gráfico 16 - Custo direto dos materiais por elemento estrutural da laje nervurada em concreto armado



Fonte: Dos autores (2021)

Gráfico 17 - Custo direto dos materiais por elemento estrutural da laje nervurada em concreto armado (%)

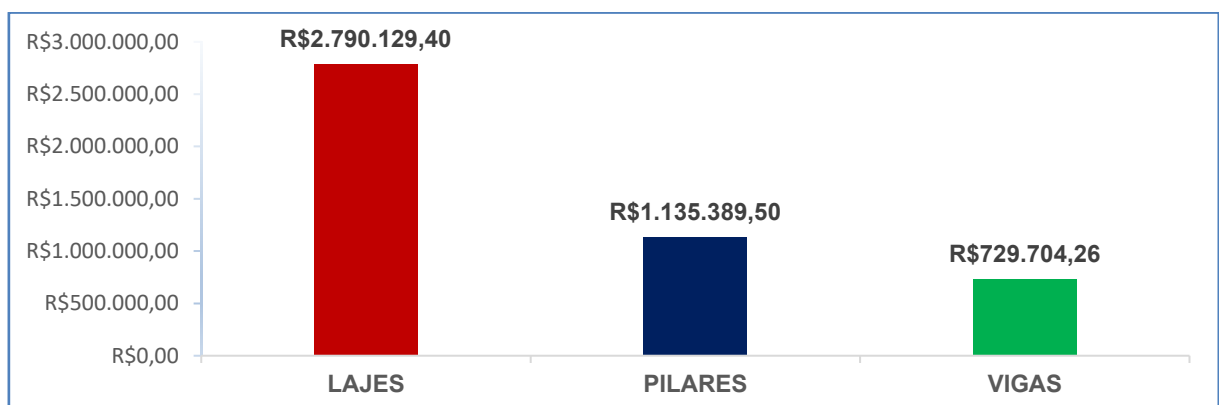


Fonte: Dos autores (2021)

4.1.6.4 Custo direto dos materiais por elementos estrutural da laje nervurada em concreto protendido

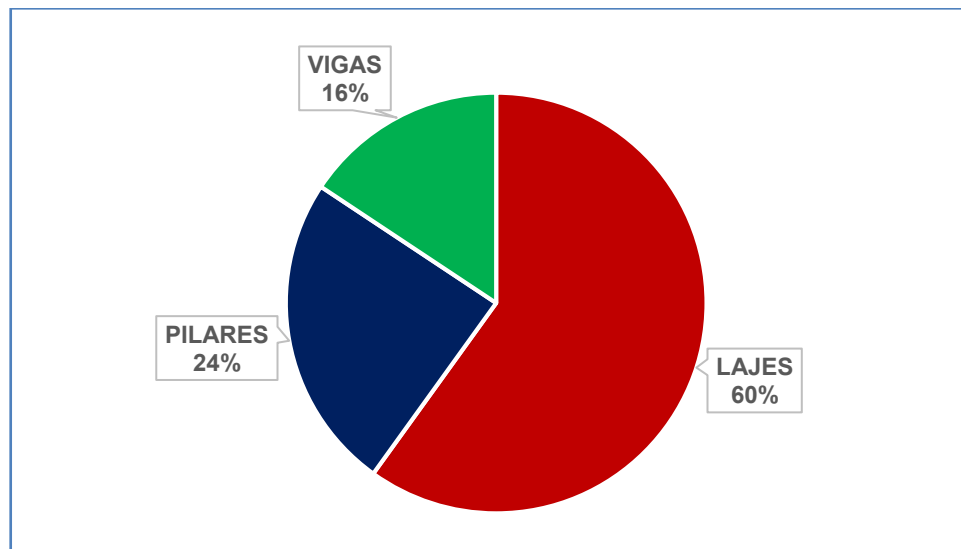
Os materiais que compõem o custo dos elementos estruturais no sistema de laje nervurada em concreto protendido estão dispostos no Gráfico 18, e o percentual de cada grupo é observado no Gráfico 19.

Gráfico 18 - Custo direto dos materiais por elemento estrutural da laje nervurada em concreto protendido



Fonte: Dos autores (2021)

Gráfico 19 - Custo direto dos materiais por elemento estrutural da laje nervurada em concreto protendido (%)

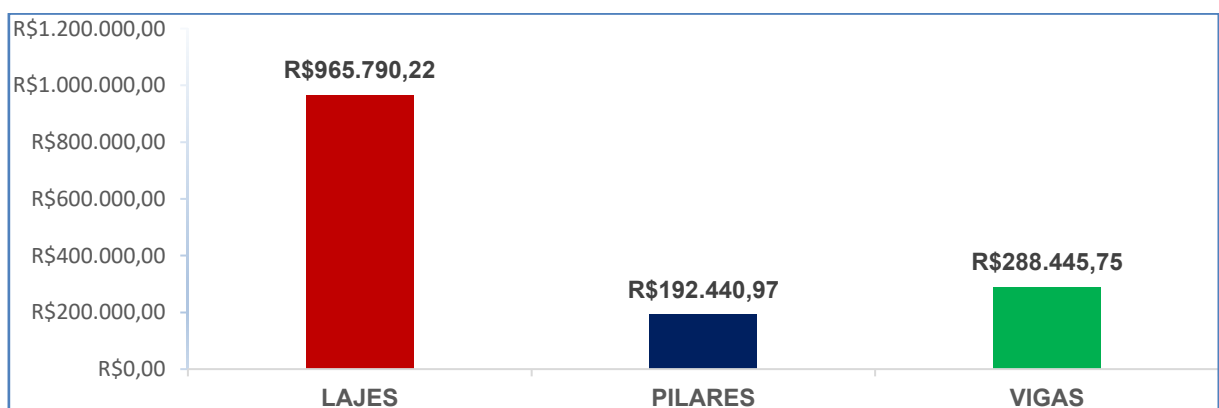


Fonte: Dos autores (2021)

4.1.6.5 Custo direto da mão de obra por elemento estrutural da laje nervurada em concreto armado

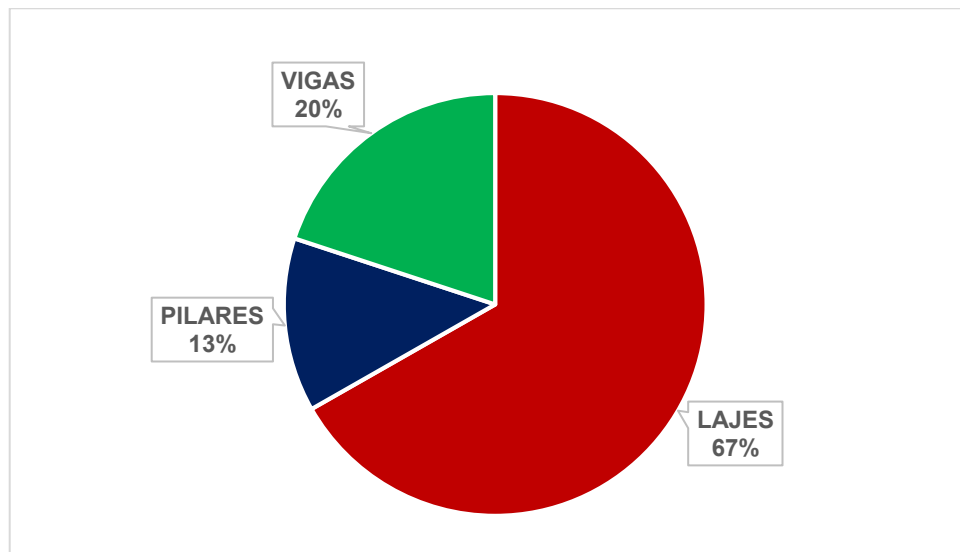
A mão de obra que compõem o custo dos elementos estruturais no sistema de laje nervurada em concreto armado estão dispostos no Gráfico 20, e o percentual de cada grupo é observado no Gráfico 21.

Gráfico 20 - Custo direto da mão de obra por elemento estrutural da laje nervurada em concreto armado



Fonte: Dos autores (2021)

Gráfico 21 - Custo direto da mão de obra por elemento estrutural da laje nervurada em concreto armado (%)

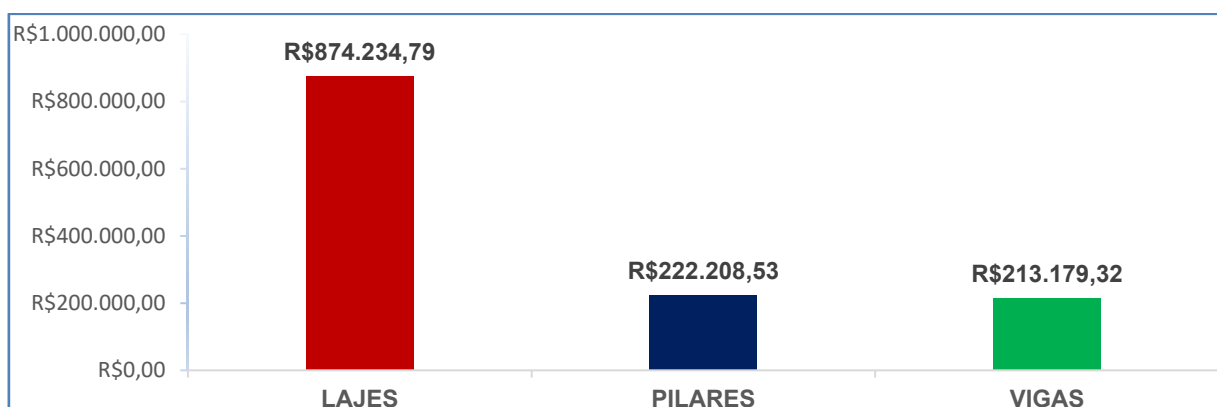


Fonte: Dos autores (2021)

4.1.6.6 Custo direto da mão de obra por elemento estrutural da laje nervurada em concreto protendido

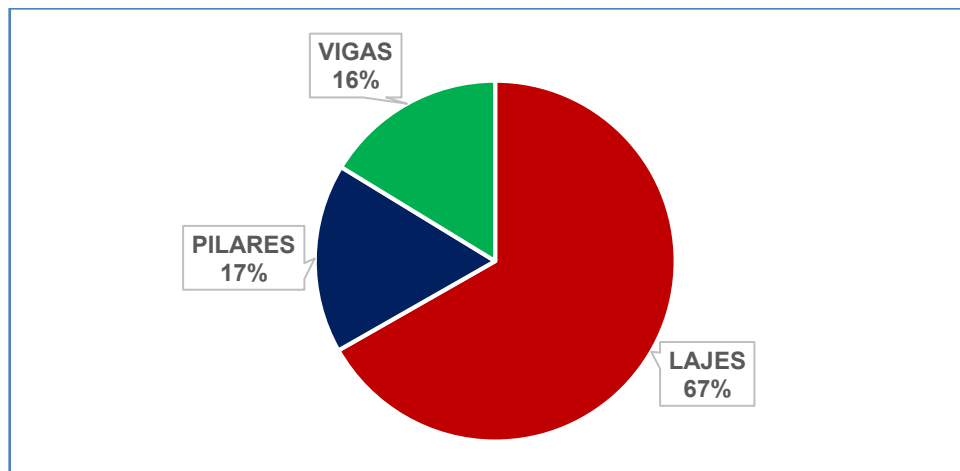
A mão de obra que compõem o custo dos elementos estruturais no sistema de laje nervurada em concreto protendido estão dispostos no Gráfico 22, e o percentual de cada grupo é observado no Gráfico 23.

Gráfico 22 - Custo direto da mão de obra por elemento estrutural da laje nervurada em concreto protendido



Fonte: Dos autores (2021)

Gráfico 23 - Custo direto da mão de obra por elemento estrutural da laje nervurada em concreto protendido (%)

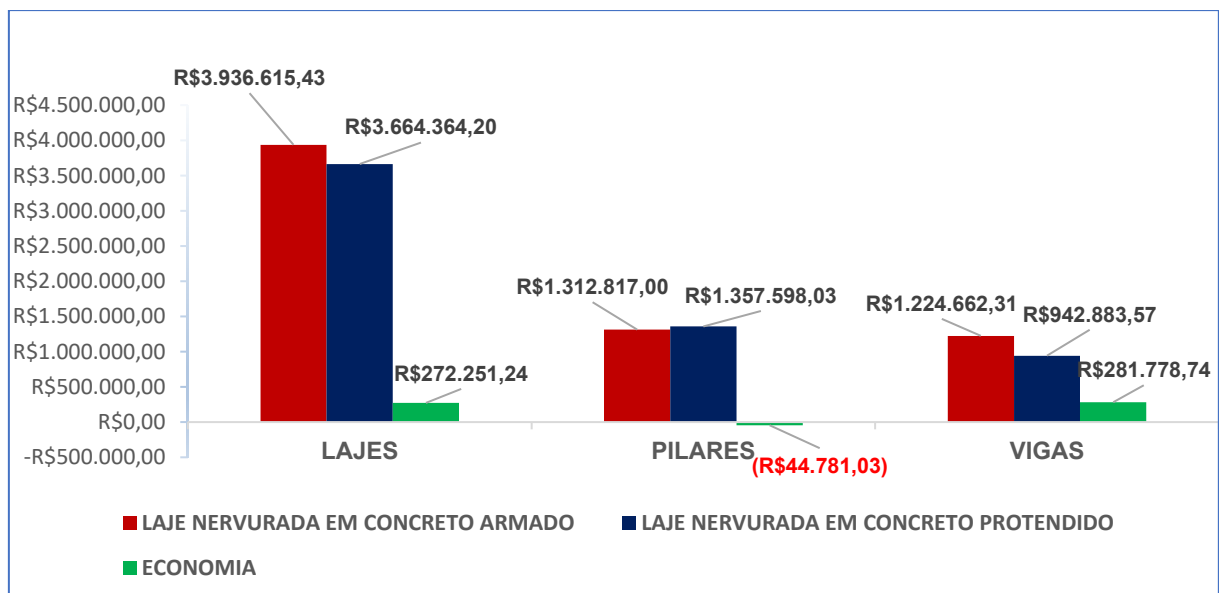


Fonte: Dos autores (2021)

4.1.7 Comparativo direto global por elemento estrutural

Realizando a soma de todos os custos por elementos estrutural em ambos os sistemas construtivos, é possível comparar os resultados através do Gráfico 24.

Gráfico 24 - Comparativo direto global por elemento estrutural

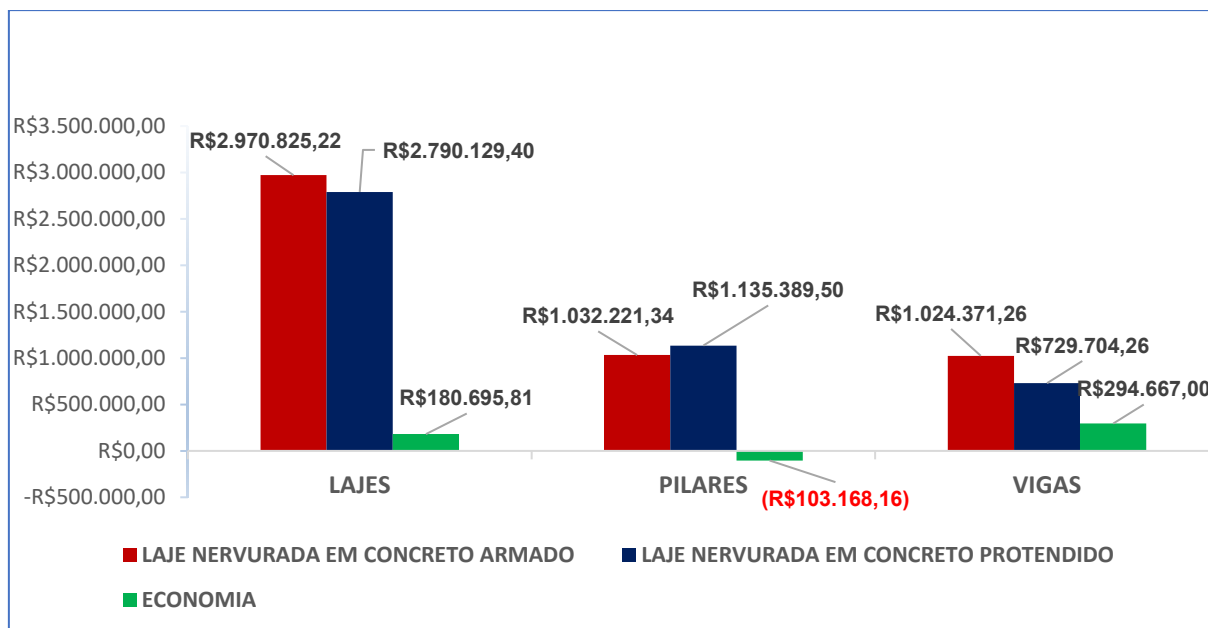


Fonte: Dos autores (2021)

4.1.8 Comparativo dos materiais por elemento estrutural

Realizando a separação dos elementos e comparando os gastos em materiais de seus respectivos sistemas, é possível observar distribuição no gráfico 25 bem como o percentual de economia de cada método.

Gráfico 25 - Comparativo dos materiais por elemento estrutural

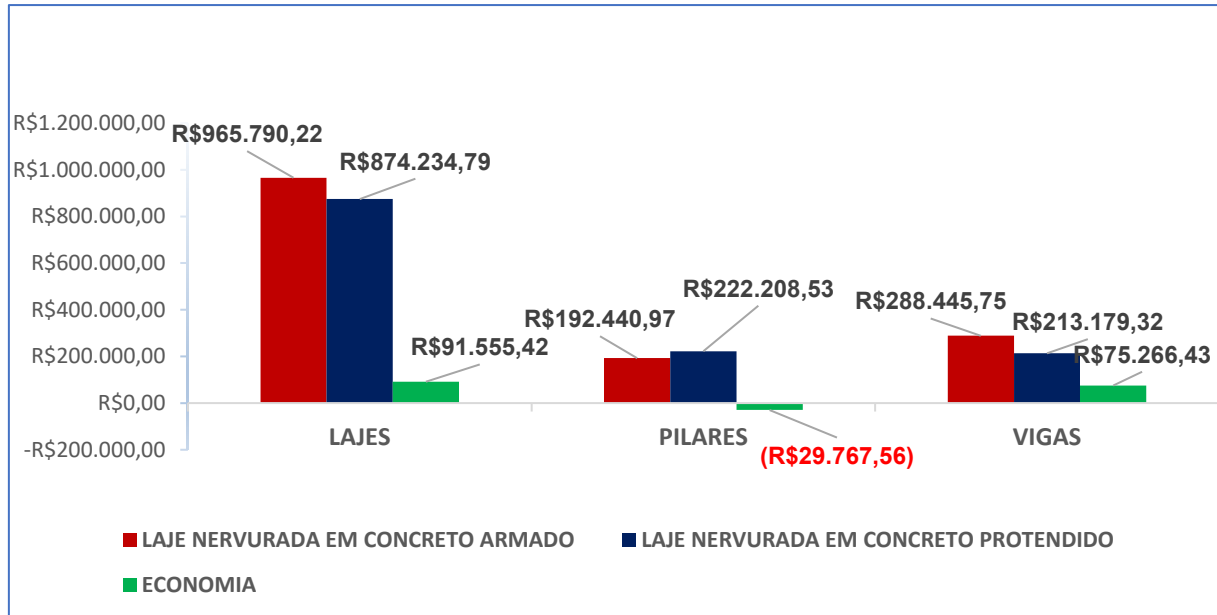


Fonte: Dos autores (2021)

4.1.9 Comparativo da mão de obra por elemento estrutural

Realizando a separação dos elementos e comparando os gastos em mão de obra de seus respectivos sistemas, é possível observar distribuição no gráfico x bem como o percentual de economia de cada método.

Gráfico 26 - Comparativo da mão de obra por elemento estrutural



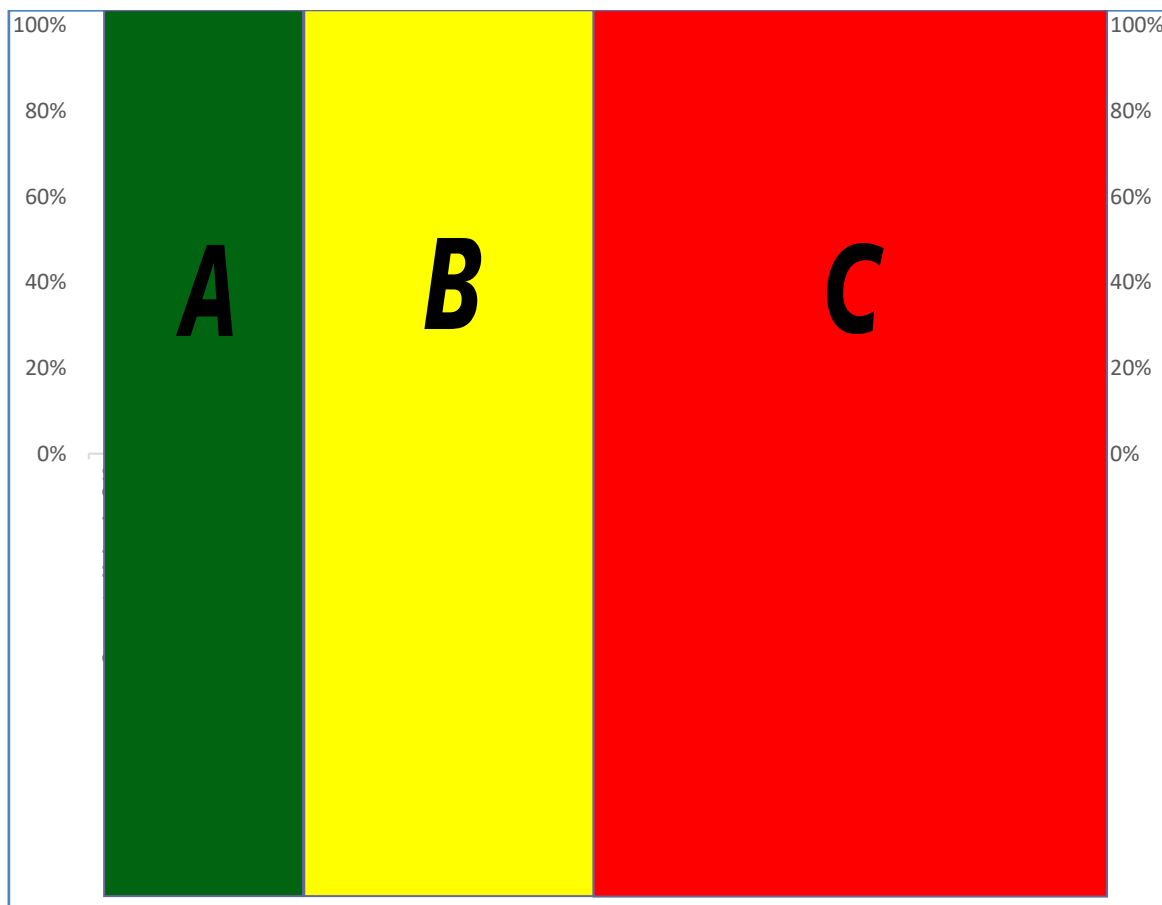
Fonte: Dos autores (2021)

4.2 DIAGRAMA DE PARETO (CURVA ABC)

Fazendo uso de uma das sete ferramentas da qualidade, o Diagrama de Pareto, foi possível obter uma outra maneira de observar a distribuição dos custos com insumos, podendo assim, determinar quais insumos provocam maior impacto no montante de custos.

4.2.1 Curva ABC dos materiais do sistema de laje em concreto protendido

Gráfico 27 - Curva ABC dos materiais do sistema de laje em concreto protendido



Fonte: Dos autores (2021)

Quadro 1 - Curva ABC dos materiais do sistema de laje em concreto protendido

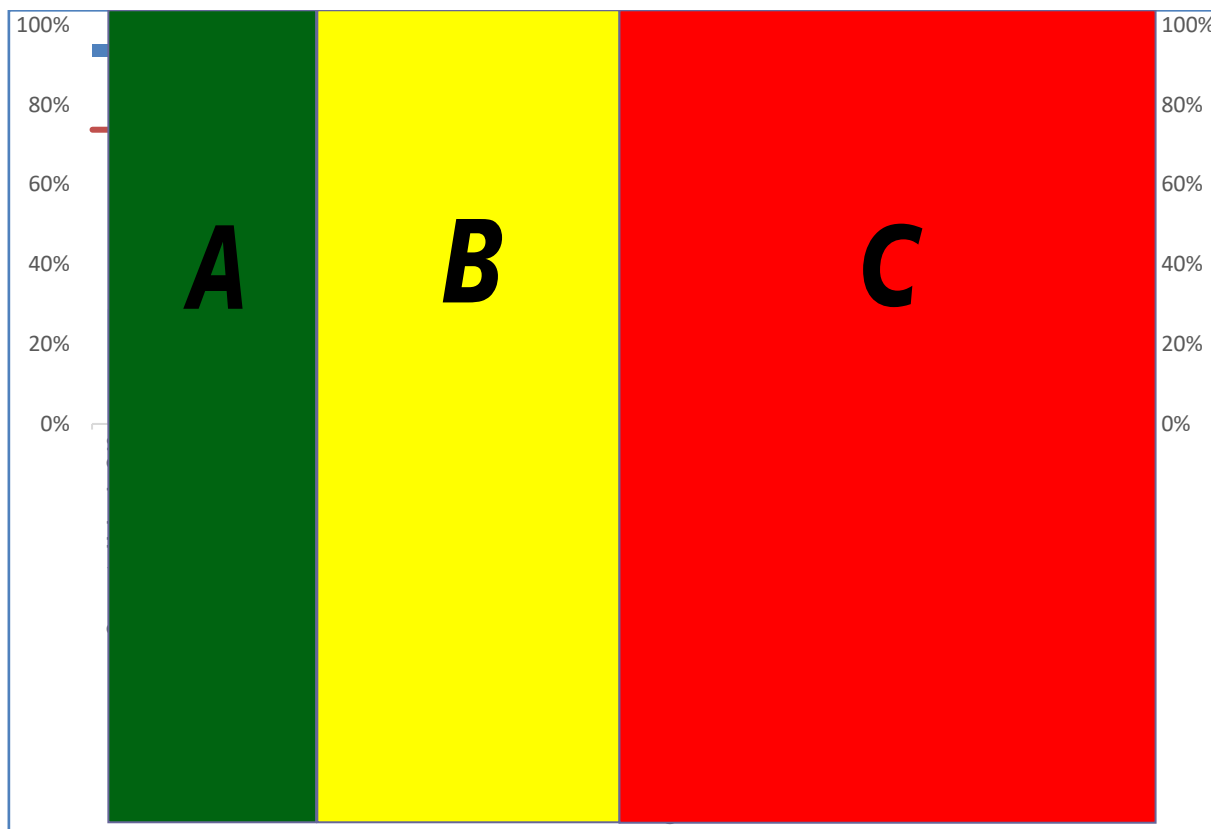
Insumo	%	% Acumulada	Classificação
Concreto Usinado C40	27,97%	27,97%	A
Vergalhão de aço 8,0 mm CA 50	11,41%	39,38%	A
Vergalhão de aço 6,30mm CA 50	9,24%	48,61%	A
Cordoalha Engraxada CP 190 RB 12,7 mm	7,87%	56,48%	A
Vergalhão de aço 16,0mm CA 50	7,74%	64,23%	A
Pontaleta de Cedrinho 7,5x7,5cm - 6 usos	6,93%	71,16%	B
Vergalhão de aço 12,5mm CA 50	4,72%	75,88%	B
Ancoragem protensão	3,38%	79,26%	B
Corte e dobra em aço CA 50	3,20%	82,46%	B
Vergalhão de aço 20,0mm CA 50	2,86%	85,33%	B

Forma Plástica, tipo Cubeta 61x61x21 cm	2,14%	87,46%	B
Prego com cabeça 15 x 15	2,02%	89,48%	B
Vergalhão de aço 10,0mm CA 50	1,62%	91,10%	C
Arame recozido 18 BWG	1,62%	92,72%	C
Compensada plastificado 1,10 x 2,20 m # 12 mm	1,60%	94,32%	C
Sarrafo 1 x 3" - 6 usos	1,27%	95,59%	C
Prego com cabeça 17 x 27	1,05%	96,64%	C
Tábua de cedrinho 1 x 8" - 6 usos	0,98%	97,63%	C
Prego com cabeça 17 x 21	0,80%	98,43%	C
Sistema de escoramento metálico para Lajes	0,79%	99,22%	C
Espaçador plástico para armaduras	0,37%	99,58%	C
Sistema de escoramento metálico para Pilares	0,18%	99,76%	C
Sistema de escoramento metálico para Vigas	0,17%	99,93%	C
Desmoldante para formas de madeira	0,07%	100,00%	C
TOTAL	100,00%		

Fonte: Dos autores (2021)

4.2.2 Curva ABC dos materiais do sistema de laje em concreto armado

Gráfico 28 - Curva ABC dos materiais do sistema de laje em concreto armado



Fonte: Dos autores (2021)

Quadro 2 - Curva ABC dos materiais do sistema de laje em concreto armado

Insumo	%	% Acumulada	Classificação
Concreto Usinado C40	28,75%	28,75%	A
Vergalhão de aço 12,5mm CA 50	12,87%	41,62%	A
Vergalhão de aço 16,0mm CA 50	8,80%	50,42%	A
Pontalete de Cedrinho 7,5x7,5cm - 6 usos	6,96%	57,38%	A
Vergalhão de aço 20,0mm CA 50	6,51%	63,89%	A
Vergalhão de aço 25,0mm CA 50	6,16%	70,04%	B
Vergalhão de aço 6,30mm CA 50	5,36%	75,40%	B
Vergalhão de aço 10,0mm CA 50	5,20%	80,60%	B
Corte e dobra em aço CA 50	3,78%	84,38%	B
Forma Plástica, tipo Cubeta 61x61x21 cm	2,34%	86,72%	B
Prego com cabeça 15 x 15	2,05%	88,77%	B

Vergalhão de aço 8,0 mm CA 50	2,03%	90,80%	C
Arame recozido 18 BWG	1,91%	92,71%	C
Compensado plastificado 1,10 x 2,20 m # 12 mm	1,68%	94,39%	C
Prego com cabeça 17 x 27	1,04%	95,43%	C
Tábua de cedrinho 1 x 8" - 6 usos	1,00%	96,43%	C
Sarrafo 1 x 3" - 6 usos	0,92%	97,35%	C
Prego com cabeça 17 x 21	0,87%	98,22%	C
Sistema de escoramento metálico para Lajes	0,73%	98,95%	C
Espaçador plástico para armaduras	0,43%	99,38%	C
Vergalhão de aço 5,0mm CA 50	0,23%	99,61%	C
Sistema de escoramento metálico para Pilares	0,17%	99,77%	C
Sistema de escoramento metálico para Vigas	0,15%	99,93%	C
Desmoldante para formas de madeira	0,07%	100,00%	C
TOTAL	100,00%		

Fonte: Dos autores (2021)

5 DISCUSSÃO

Permitiu-se observar a diferença econômica entre dois métodos construtivos para um mesmo empreendimento. Foi possível analisar os custos diretos globais da execução de cada sistema com o levantamento detalhado dos dados que obtivemos.

O método que apresentou melhores resultados monetários foi o sistema de lajes nervuradas em concreto protendido, expressando uma redução de R\$509.248,94 que reflete uma economia de 7,9% quando comparado ao sistema de lajes nervuradas em concreto armado. Essa economia pode ser vista quando observada no âmbito de custos globais, que é reflexo da economia nos custos de materiais e de mão de obra também.

Fazendo a separação entre insumos e mão de obra, fica evidente que os insumos representam a maior parte do custo do empreendimento, o que necessariamente demanda mais atenção no momento da concepção do projeto, pois fatores como método construtivo e valores de mercado dos materiais são determinantes e influenciam drasticamente nos resultados.

O presente trabalho foi produzido em meio a uma crise sanitária provocada pelo Novo Corona Vírus (Covid-19), crise sanitária que desencadeou uma crise econômica e política, e essa condição global reverberou em todos os ramos da economia, e na economia nacional não foi diferente. O preço dos insumos em toda a cadeia produtiva sofrera uma aguda mudança como é o caso do aço, concreto entre outros, todavia o presente trabalho, se propôs a apresentar valores fidedignos, atualizados e principalmente relevantes para o setor, logo, os coeficientes de cálculo que o TCPO fornece não sofreram alterações comparados a anos anteriores, o que sofreu alteração foram os preços unitários dos componentes, o que varia naturalmente com a inflação e com a economia nacional.

5.1 ANÁLISE DOS DADOS

5.1.1 Laje nervurada em concreto armado

- Aço

No sistema de lajes nervuradas em concreto armado, o insumo aço no grupo de materiais é responsável pela soma de R\$2.677.669,45 que é 53,26% do total do grupo dos materiais e representa 41,36 % do custo total, o que mostra como ele é determinante para o empreendimento. O aço também tem grande representatividade nos custos de mão de obra, pois os serviços relacionados a ele estão classificados no grupo que representou maior custo de serviço, chegando ao montante de R\$ 802.924,28 que representa aproximadamente 56% dos custos totais de mão de obra e aproximadamente 12% do custo total da superestrutura do empreendimento.

Ao realizar a soma dos custos totais que o aço demanda, tem-se o valor de R\$ 3.480.593,73 que é 54% do custo total demandado pela superestrutura do empreendimento. E quando analisado o Diagrama de Pareto (Curva ABC) é visto que ele está no grupo A e B que representam aqueles itens que exercem maior impacto no custo total.

Ao dividir o custo para cada elemento estrutural, é possível observar que o elemento laje é destacado como o elemento mais oneroso, custando R\$ 3.936.615,43 o equivalente as 61% do custo total, e é possível deduzir que isso é decorrente da grande presença do aço no elemento. No sistema de laje nervurada em concreto armado a armadura principal é responsável pela resistência a tração nos elementos quando são solicitados, e para empreendimentos que solicitam vencer grandes vãos, a presença do aço é mais acentuada.

- Concreto

No sistema de lajes nervuradas em concreto armado, o concreto no grupo de materiais é responsável pela soma de R\$1.445.213,62 que é 28,75% do total do grupo dos materiais e representa 22,32 % do custo total. O concreto é responsável pelo segundo maior gasto em insumo no empreendimento, porém observando pelo aspecto de custos de mão de obra, ele é muito menos relevante, devido ao fato da contratação de concreto usinado, eliminando assim

os gastos de preparo em canteiro. Dessa forma os custos com mão de obra que estão relacionados com concreto são de R\$ R\$152.921,49, que é 10,57% do custo total de mão de obra e 2,36% do custo total da superestrutura do empreendimento.

Quando somados todos os custos relacionados com concreto, o montante é de R\$1.598.135,11 que é 24,69% do custo total da superestrutura do empreendimento. Isso está de acordo com o Diagrama de Pareto (Curva ABC) que inclui o concreto no grupo A.

- Formas de madeira

Seguindo a exploração dos resultados obtidos para o sistema de laje nervurada em concreto armado, o próximo item a ser averiguado são as formas de madeira, que na análise dos custos dos materiais corresponde a R\$ 733.803,81 do seu somatório, e expressa 14,60% do custo total de materiais, e 11,33% do custo total do empreendimento na execução da superestrutura. Quanto ao custo de mão de obra relacionado às formas de madeira, há grande relevância no grupo de análise de custos de serviço, ocupando o segundo lugar na escala dos maiores gastos com mão de obra custando R\$490.831,17 à empresa, o equivalente a 33,93% da mão de obra e 7,58% do custo total.

Somando todos os custos relacionados a formas de madeira, o valor é de R\$1.224.634,98 que é 18,92% do custo total gasto com superestrutura no empreendimento. No Diagrama de Pareto, seus componentes estão em grande parte no grupo C, exceto os pontalete de cedrinho e pregos, que fazem sua relevância mediar entre o grupo A (20% dos insumos que correspondem a 70% dos gastos), grupo B (30% dos insumos que correspondem a 20% dos gastos com material) e C (50% dos insumos que correspondem a 10% dos gastos com material) mostrando que o percentual de 14,60% está de acordo.

- Formas plásticas

As formas plásticas estão presentes no grupo B (30% dos insumos que correspondem a 20% dos gastos com material) expressando a soma de R\$ 117.765,00 que equivale a 2,34% do custo total dos insumos. Não havia índice de mão de obra relacionado exclusivamente a formas plásticas no TCPO, o que torna obrigatório usar unicamente o custo do insumo na composição do custo total da obra.

As formas plásticas representam 1,82% do custo total da superestrutura para o sistema de laje nervurada em concreto armado.

- **Cimbramento**

No cimbramento, o custo para os dois sistemas construtivos é o mesmo, pois é baseado na mesma área construída e no tempo de aluguel (11 meses) que é a estimativa para os dois sistemas. Também não foi possível fazer o levantamento pelo TCPO dos custos de mão de obra para o sistema de cimbramento adotado, de sorte que o que diferirá nos dois sistemas é somente o percentual quando comparado ao custo total.

Para o sistema de laje nervurada em concreto armado o custo foi de R\$52.965,94 o que representa 1,05% do total dos custos com insumos, pertencendo ao grupo C no Diagrama de Pareto (50% dos insumos que correspondem a 10% dos gastos com material), e 0,82% do total dos custos da superestrutura.

5.1.2 Laje nervurada em concreto protendido

- **Aço**

No sistema de lajes nervuradas em concreto protendido, o insumo aço no grupo de materiais é responsável pela soma de R\$1.991.374,39 que é 42,78% do total do grupo dos materiais e representa 33,39 % do custo total. No grupo de mão de obra ele representa o valor de R\$ R\$548.278,75 que é 41,87% da mão de obra e 9,19% do custo total da superestrutura.

Ao realizar a soma dos custos totais que o aço demanda, tem-se o valor de R\$ R\$2.539.653,14 que é 42,58% do custo total demandado pela superestrutura do empreendimento. E quando analisado o Diagrama de Pareto (Curva ABC) vemos que ele está no grupo A, B e C dos custos de material. No grupo A ele tem 28,39% dos 70% que compõe os custos o grupo, no grupo B ele é responsável por 7,58% dos 20% que o grupo representa e finalmente no grupo C o aço tem 3,24% dos 10% dos custos que o grupo representa.

É possível observar a grande redução nos custos de aço nas lajes devido a presença da armadura ativa (cordoalhas de proteção), onde elas substituem a função de armadura passiva na resistência a tração, reduzindo o consumo de aço.

- Concreto

No sistema de lajes nervuradas em concreto protendido o concreto no grupo de materiais é responsável pela soma de R\$1.302.138,69 que é 27,97% do total do grupo dos materiais e representa 21,83 % do custo total. Os custos com mão de obra que estão relacionados com concreto são de R\$ R\$137.782,40 que é 10,52% do custo total de mão de obra e 2,31% do custo total da superestrutura.

Quando somados todos os custos relacionados com concreto, o montante é de R\$1.439.921,09 que é 24,14% do custo total. Isso está em harmonia com o Diagrama de Pareto (Curva ABC) que inclui o concreto no grupo A.

- Formas de Madeira

As formas de madeira, quando observadas nos custos dos materiais corresponde a R\$ 685.660,97 e expressa 14,73% do custo total de materiais, e 11,50% do custo total do empreendimento na execução da superestrutura. Quanto ao custo de mão de obra relacionado às formas de madeira, há grande relevância no grupo de análise de custos de serviço, ocupando o primeiro lugar na escala dos maiores gastos com mão de obra custando R\$430.940,09 à empresa, o equivalente a 32,91% da mão de obra e 7,22% do custo total.

Somando todos os custos relacionados a formas de madeira, o valor é de R\$1.116.601,06 que é 18,72% do custo total gasto com superestrutura no empreendimento. No Diagrama de Pareto, seus componentes estão em grande parte no grupo C, exceto os pontalete de cedrinho e pregos, que fazem sua relevância mediar entre o grupo B (30% dos insumos que correspondem a 20% dos gastos com material) e C (50% dos insumos que correspondem a 10% dos gastos com material) mostrando que o percentual de 14,73% está de acordo.

- Formas Plásticas

As formas plásticas estão presentes no grupo B (30% dos insumos que correspondem a 20% dos gastos com material) expressando a soma de R\$ 99.450,00 que equivale a 2,14% do custo total dos insumos. Não havia índice de mão de obra relacionado exclusivamente a

Formas plásticas no TCPO, o que torna obrigatório usar unicamente o custo do insumo na composição do custo total da obra.

As formas plásticas representam 1,67% do custo total da superestrutura para o sistema de laje nervurada em concreto armado.

- Cimbramento

No cimbramento, o custo para os dois sistemas construtivos é o mesmo, pois baseasse na mesma área construída e no tempo de aluguel (11 meses) que é a estimativa para os dois sistemas. Também não foi possível fazer o levantamento pelo TCPO dos custos de mão de obra para o sistema de cimbramento adotado, de sorte que o que diferirá nos dois sistemas é somente o percentual quando comparado ao custo total.

Para o sistema de laje nervurada em concreto protendido o custo foi de R\$52.965,94 o que representa 1,14% do total dos custos com insumos pertencendo ao grupo C no Diagrama de Pareto (50% dos insumos que correspondem a 10% dos gastos com material), e 0,89% do total dos custos da superestrutura.

- Protensão

O sistema de protensão tem grande influência nos custos, pois está no grupo A e B do Diagrama de Pareto, onde seu valor de R\$523.633,18 representa diretamente 11,25% do custo total dos materiais e 8,78% do custo total da superestrutura. Na seção de mão de obra, ela é responsável pelo valor de R\$192.621,40 que representa 14,71% do custo total de mão de obra.

Quando somados todos os custos relacionados a protensão, o resultado é de R\$716.254,58 que em relação ao custo total da superestrutura equivale a 12% do custo total.

6 CONCLUSÃO

Após descrever e compreender os aspectos técnicos de cada sistema construtivo, buscando de maneira minuciosa esclarecer e destacar as diferenças em cada método com embasamento teórico, o trabalho progrediu para determinar qual seria o método de análise dos dados coletados, onde foi adotada a separação dos grandes grupos de material como ponto de partida, e dali derivou o detalhamento dos insumos e quantitativos, tal qual o detalhamento da mão de obra e o quantitativo de cada serviço atrelado aos grandes grupos de materiais.

A utilização do sistema TCPO – Tabela de Composição de Preços para Orçamentos foi fundamental para desenvolver a metodologia devido a sua abrangência regional e atualidade de preços, os coeficientes de cálculo fundamentados em pesquisa de mercado e o seu extenso detalhamento de materiais, serviços e mão de obra. Com os quantitativos obtidos do memorial descritivo e com os valores e coeficientes fornecido pelo sistema TCPO, foi então possível fazer o levantamento de indicadores que refletem a realidade de ambos os sistemas construtivos.

O resultado deste trabalho apontou o sistema de laje nervurada em concreto protendido como o mais vantajoso, sendo 7,9% mais econômico comparado ao sistema de laje nervurada em concreto armado, obtendo uma economia global de R\$509.248,94 na execução da superestrutura.

Foi possível apontar também a substituição da armadura passiva pela ativa como fator determinante para o resultado favorável ao sistema que utiliza a protensão. A redução drástica na utilização de aço CA50 proporcionou grande economia, pois esse insumo tem sofrido grandes oscilações com o mercado. E atrelado ao insumo, há a incidência da mão de obra, que no sistema de concreto armado para o aço é a mais onerosa, e no sistema protendido está em menor colocação, como é possível observar nos Gráficos 8 e 9.

Ao analisar de maneira indireta, a adoção do sistema de laje nervurada em concreto protendido obtém influência significativa nas formas de madeira e concreto, pois reduz a quantidade e seção de vigas, e consequentemente, os insumos que este elemento demanda, podendo ser observada a redução de 32,9% em área de formas de madeira e 47,36% no volume concreto, bem como a redução na mão de obra correlata com cada grupo de insumo.

No comparativo dos materiais por elemento estrutural demonstrado no Gráfico 25, é possível observar que houve aumento nos custos de pilares, devido ao aumento de seção, e consequentemente a maior presença de aço. O aumento da seção de pilares ocorre simultaneamente com a redução de quantidade de vigas, pois é possível vencer vãos maiores com o sistema de protensão, evitando vigas de transição e grande número de pilares. Também a seção dos pilares aumenta pelo fato de receber parte dos esforços de protensão, quando as cordoalhas exercem o papel de armadura negativa nos capiteis por exemplo. E novamente, os custos de mão de obra que são afins ao grupo de insumos acompanham a oscilação dos custos.

Por fim, ainda que o custo da armadura ativa e a mão de obra para executar possa incidir somente num dos métodos do comparativo, suas vantagens econômicas excedem o seu ônus.

REFERÊNCIAS

- CUNHA, Albino Joaquim Pimenta da; SOUZA, Vicente Custodio Moreira de. **Lajes em concreto armado e protendido**. Niteroi: Eduff, 1994. 584 p.
- VERÍSSIMO, Gustavo de Souza; CÉSAR JUNIOR, Kléos M Lens. **Concreto Protendido: fundamentos básicos**. 4. ed. Viçosa: Ufv, 1998. 73 p.
- PINHEIRO, Libânio M.; RAZENTE, Julio A.. **ESTRUTURAS DE CONCRETO: lajes nervuradas**. São Paulo: Usp – Eesc, 2003. 18 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 238 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. 2 ed. Rio de Janeiro: Anbt, 2019. 60 p.
- VIZOTTO, Itamar; SARTORI, Artur Lenz. **Soluções de lajes maciças, nervuradas com cuba plástica e nervuradas com vigotas treliçadas pré-moldadas: análise comparativa**. Limeira: Iltruk, 2010. 28 p.
- BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Oswaldemar. **Concreto Armado Eu Te Amo**. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2018. 536 p.
- CUSTÓDIO, Katia Regina. **Estruturas de Concreto Armado I**. Londrina: Educacional, 2018. 248 p.
- SOUZA, Caroline Gonçalves Silva e; LOPES, Rayane Campos. **Estudo comparativo entre laje maciça convencional e lajes nervuradas**. 2016. 132 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.
- VASCONCELOS, Kelliton da Silva. **Análise Comparativa entre Lajes Nervuradas em Concreto Armado e Concreto Protendido**. 2010. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SILVA, Alberto Ferreira da. **Projeto e Construção de Lajes Nervuradas em Concreto Armado**. 2005. 239 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

SPOHR, Valdi Henrique. **Análise Comparativa: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas**. 2008. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

HANAI, João Bento de. **Fundamentos do Concreto Protendido**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2005. 110 p.

PFEIL, Walter. **Concreto Protendido**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1984. 205 p.

SOUZA, João Pedro Vivolo Lopes e; MACEDO, Murilo Guilherme Gontijo. **LAJES LISAS EM CONCRETO PROTENDIDO: análise e dimensionamento estrutural**. 2016. 83 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

EMERICK, Alexandre Anozé. **Projeto e Execução de Lajes Protendidas**. Brasília: Interciência, 2002. 116 p.

CASTRO, Sérgio Vannucci de. **Concreto Protendido - Vantagens e desvantagens dos diferentes processos de protensão do concreto nas estruturas**. 2011. 46 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

BATISTA, Felipe Hundertmark. **ESTUDO COMPARATIVO DE LAJES PLANAS DE CONCRETO ARMADO E CONCRETO PROTENDIDO: um estudo de caso**. 2018. 91 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

CAUDURO, E. L., **Manual para a Boa Execução de Estruturas Protendidas usando Cordoalhas de Aço Engraxadas e Plastificadas**, 2a edição, 2002, 109 p.

APÊNDICE A – DADOS QUANTITATIVOS TOTAIS DOS MATERIAIS

Tabela 1 - Consumo total de materiais do sistema de lajes em concreto protendido

Consumo de Materiais - Pavimento Térreo											
Bitola	6.30	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	Aço	Cordoalha	Concreto (40 Mpa)	Forma	fck
-	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	m³	m²	Mpa
Pilares	653	0	153	676	2743	1746	5971	0	29,5	331,5	40
Vigas	2305	106	518	1456	2056	2636	9077	0	79,5	967,5	40
Lajes	2587	0	0	0	0	0	2587	0	108,5	164,5	40
Totais	5545	106	671	2132	4799	4382	17635	0	217,5	1463,5	-
Consumo de Materiais - 1º Pavimento											
Bitola	6.30	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	Aço	Cordoalha	Concreto (40 Mpa)	Forma	fck
-	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	m³	m²	Mpa
Pilares	1324	0	286	1070	6599	2970	12249	0	58	645,5	40
Vigas	1785	338	197	846	1214	0	4380	0	44	569	40
Lajes	1998	4725	245	0	0	0	6968	3731	201,8	1370	40
Totais	5107	5063	728	1916	7813	2970	23597	3731	303,8	2584,5	-
Consumo de Materiais - 2º Pavimento											
Bitola	6.30	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	Aço	Cordoalha	Concreto (40 Mpa)	Forma	fck
-	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	m³	m²	Mpa
Pilares	967	0	289	1246	2790	2213	7505	0	52	568,5	40
Vigas	1233	77	207	1211	2074	259	5061	0	49	442,5	40
Lajes	2412	5842	243	0	0	0	8497	4121	210,2	1431	40
Totais	4612	5919	739	2457	4864	2472	21063	4121	311,2	2442	-
Consumo de Materiais - 3º Pavimento											
Bitola	6.30	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	Aço	Cordoalha	Concreto (40 Mpa)	Forma	fck
-	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	m³	m²	Mpa
Pilares	962	0	453	2055	1281	1460	6211	0	41,5	459,5	40
Vigas	652	49	239	619	1528	0	3087	0	24	315	40
Lajes	2588	6931	247	0	0	0	9766	4805	230,5	1562	40
Totais	4202	6980	939	2674	2809	1460	19064	4805	296	2336,5	-
Consumo de Materiais - 4º Pavimento											
Bitola	6.30	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	Aço	Cordoalha	Concreto (40 Mpa)	Forma	fck
-	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	m³	m²	Mpa
Pilares	1088	0	601	2258	1162	894	6003	0	44	488	40
Vigas	667	52	232	577	1596	0	3124	0	24	317	40
Lajes	2590	7017	247	0	0	0	9854	4851	232,4	1572	40
Totais	4345	7069	1080	2835	2758	894	18981	4851	300,4	2377	-

Consumo de Materiais - 5º Pavimento											
Bitola	6.30	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	Aço	Cordoalha	Concreto (40 Mpa)	Forma	fck
-	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	m³	m²	Mpa
Pilares	1017	0	446	2299	1388	0	5150	0	41	459	40
Vigas	1386	292	782	872	1832	2526	7690	0	61,5	616	40
Lajes	1923	4212	767	0	0	0	6902	3406	163,4	1081	40
Totais	4326	4504	1995	3171	3220	2526	19742	3406	265,9	2156	-
Consumo de Materiais - Pavimento Tipo (6º ao 11º) (6x)											
Bitola	6.30	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	Aço	Cordoalha	Concreto (40 Mpa)	Forma	fck
-	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	m³	m²	Mpa
Pilares	659	0	174	1371	1771	0	3975	0	24,5	299	40
Vigas	505	47	29	155	489	0	1225	0	12,5	152	40
Lajes	1574	3789	112	0	0	0	5475	2515	124,5	807	40
Totais	2738	3836	315	1526	2260	0	10675	2515	161,5	1258	-
Consumo de Materiais - Total Obra											
Bitola	6.30	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	Aço	Cordoalha	Concreto (40 Mpa)	Forma	fck
-	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	m³	m²	Mpa
Pilares	9965	0	3272	17830	26589	9283	66939	0	413	4746	40
Vigas	11058	1196	2349	6511	13234	5421	39769	0	357	4139	40
Lajes	23542	51461	2421	0	0	0	77424	36004	1893,8	12022,5	40
Totais	44565	52657	8042	24341	39823	14704	184132	36004	2663,8	20907,5	-

Fonte: Dos autores (2021)

Tabela 2 - Consumo total de materiais do sistema de lajes em concreto armado

Consumo de Materiais - Pavimento Térreo												
Bitola	5.0	6.30	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	25	Aço	Concreto (40 Mpa)	Forma	fck
-	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	m³	m²	Mpa
Pilares	0	1239	208	0	2612	2156	2832	1919	10966	85,64	875,98	40
Vigas	0	1843	207	1433	1112	1198	1367	1956	9116	151,19	1338,72	40
Lajes	2	134	77	49	0	0	0	0	262	239,39	1594,25	40
Totais	2	3216	492	1482	3724	3354	4199	3875	20344	476,22	3808,95	-
Consumo de Materiais - 1º Pavimento												
Bitola	5.0	6.30	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	25	Aço	Concreto (40 Mpa)	Forma	fck
-	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	m³	m²	Mpa
Pilares	0	1340	251	0	2316	1999	2785	2023	10714	35,01	369,49	40
Vigas	0	1214	56	792	1354	630	1165	2180	7391	72,05	676,95	40
Lajes	25	465	716	2011	2920	2549	722	1137	10545	190,98	1348,67	40
Totais	25	3019	1023	2803	6590	5178	4672	5340	28650	298,04	2395,11	-

Consumo de Materiais - 2º Pavimento												
Bitola	5.0	6.30	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	25	Aço	Concreto (40 Mpa)	Forma	fck
-	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	m³	m²	Mpa
Pilares	0	1087	160	113	2246	867	956	65	5494	34,21	354,61	40
Vigas	0	752	49	574	464	188	673	57	2757	59,37	500,98	40
Lajes	0	654	1175	2391	3947	2882	1040	994	13083	230,83	1743,33	40
Totais	0	2493	1384	3078	6657	3937	2669	1116	21334	324,41	2598,92	-
Consumo de Materiais - 3º Pavimento												
Bitola	5.0	6.30	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	25	Aço	Concreto (40 Mpa)	Forma	fck
-	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	m³	m²	Mpa
Pilares	0	970	25	0	2268	494	156	0	3913	35,07	365,35	40
Vigas	0	708	55	568	375	229	637	68	2640	34,74	389,91	40
Lajes	0	647	1095	2385	4291	2713	1298	926	13355	229,30	1606,12	40
Totais	0	2325	1175	2953	6934	3436	2091	994	19908	299,11	2361,38	-
Consumo de Materiais - 4º Pavimento												
Bitola	5.0	6.30	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	25	Aço	Concreto (40 Mpa)	Forma	fck
-	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	m³	m²	Mpa
Pilares	0	973	25	39	2288	402	87	0	3814	35,03	364,91	40
Vigas	0	761	71	503	472	190	567	204	2768	30,18	336,86	40
Lajes	0	586	1083	2544	4335	2773	1383	854	13558	219,87	1540,34	40
Totais	0	2320	1179	3086	7095	3365	2037	1058	20140	285,08	2242,11	-
Consumo de Materiais - 5º Pavimento												
Bitola	5.0	6.30	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	25	Aço	Concreto (40 Mpa)	Forma	fck
-	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	m³	m²	Mpa
Pilares	0	1189	0	116	2353	313	93	0	4064	36,66	382,50	40
Vigas	0	1255	562	716	420	285	510	2186	5934	96,46	841,37	40
Lajes	0	651	906	2555	4535	3387	1843	938	14815	151,41	1040,58	40
Totais	0	3095	1468	3387	7308	3985	2446	3124	24813	284,53	2264,45	-
Consumo de Materiais - Pavimento Tipo (6º ao 11º) (6x)												
Bitola	5.0	6.30	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	25	Aço	Concreto (40 Mpa)	Forma	fck
-	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	m³	m²	Mpa
Pilares	0	771	29	59	1605	138	142	0	2744	22,15	248,28	40
Vigas	0	646	87	376	348	307	354	121	2239	39,03	347,82	40
Lajes	184	281	447	1078	2339	2982	1884	2401	11596	103,67	722,69	40
Totais	184	1698	563	1513	4292	3427	2380	2522	16579	164,85	1318,79	-

Consumo de Materiais - Total Obra												
Bitola	5.0	6.30	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	25	Aço	Concreto (40 Mpa)	Forma	fck
-	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	m³	m²	Mpa
Pilares	0	11424	843	622	23713	7059	7761	4007	55429	394,52	4202,52	40
Vigas	0	10409	1522	6842	6285	4562	7043	7377	44040	678,17	6171,71	40
Lajes	1131	4823	7734	18403	34062	32196	17590	19255	135194	1883,80	13209,43	40
Totais	1131	26656	10099	25867	64060	43817	32394	30639	234663	2956,49	23583,66	-

Fonte: Dos autores (2021)

APÊNDICE B – COMPOSIÇÃO DE MATERIAIS DO SISTEMA DE LAJES EM CONCRETO PROTENDIDO

Tabela 3 - Composição dos materiais das formas de madeira do sistema de lajes em concreto protendido

	Qtde (m²)	Insumos	Un.	Coef.	Preço Unit (R\$)	Total (R\$)	Total Pavimento (R\$)
Laje	12022,5	Desmoldante para formas de madeira	L	0,02	7,78	0,16	1870,70
		Tábua de cedrinho 1 x 8" - 6 usos	m	0,22	17,58	3,81	45793,70
		Prego com cabeça 15 x 15	kg	0,30	26,04	7,81	93919,77
		Pontalete de Cedrinho 7,5x7,5cm - 6 usos	m	0,43	26,20	11,35	136495,45
		Chapa de madeira compensada plastificada 1,10 x 2,20 m # 12 mm - 12 desformas	m²	0,11	31,40	3,57	42898,47
Pilar	4746	Chapa de madeira compensada plastificada 1,10 x 2,20 m # 12 mm - 12 desformas	m²	0,11	31,4	3,57	16934,59
		Pontalete de Cedrinho 7,5x7,5cm - 6 usos	m	1,03	26,2	27,07	128490,04
		Sarrafo 1 x 3" - 6 usos	m	1,37	6,38	8,72	41381,96
		Prego com cabeça 17 x 21	kg	0,20	20,98	4,20	19914,22
		Prego com cabeça 17 x 27	kg	0,20	35,95	7,19	34123,74
		Desmoldante para formas de madeira	L	0,02	7,78	0,16	738,48
Viga	4139	Chapa de madeira compensada plastificada 1,10 x 2,20 m # 12 mm - 12 desformas	m²	0,11	31,4	3,57	14768,70
		Pontalete de Cedrinho 7,5x7,5cm - 6 usos	m	0,53	26,2	13,97	57835,63
		Sarrafo 1 x 3" - 6 usos	m	0,67	6,38	4,25	17604,55
		Prego com cabeça 17 x 21	kg	0,20	20,98	4,20	17367,24
		Prego com cabeça 17 x 27	kg	0,10	35,95	3,60	14879,71

		Desmoldante para formas de madeira	L	0,02	7,78	0,16	644,03
					Total Geral (R\$)		685660,97

Fonte: Dos autores (2021)

Tabela 4 - Composição dos materiais do cimbramento do sistema de lajes em concreto protendido

	Qtde (meses)	Insumos	Un.	Coef.	Preço Unit (R\$)	Total (R\$)	Total Pavimento (R\$)
Vigas ¹	11 ²	Sistema de escoramento metálico para Vigas ACOTOP® BKS composto por vigas principais e secundarias com reescoramento de 50%	loc/mês	1,1	637,85	701,6	7717,99
Pilares	11	Sistema de escoramento metálico para Pilares ACOTOP® BKS composto por vigas principais e secundarias com reescoramento de 50%	loc/mês	1,1	694,76	764,2	8406,60
Lajes	11	Sistema de escoramento metálico para Lajes ACOTOP® BKS composto por vigas principais e secundarias com reescoramento de 50%	loc/mês	1,1	3044,74	3349	36841,35
					Total Geral (R\$)		52965,94

Fonte: Dos autores (2021)

¹ Não considerado redução do uso dos equipamentos nas lajes de menor áreas para simplificação dos cálculos, considerado o uso de 100% dos equipamentos em todo período da execução.

² Considerado o custo de R\$52.965,94 para execução de todos os 11 pavimentos e calculado o índice para locação de 1 pavimento.

Tabela 5 - Composição dos materiais das armaduras das lajes do sistema de lajes em concreto protendido

Qtde (kg)	Insumos	Un.	Coef.	Preço Unit (R\$)	Total (R\$)	Total Pavimento (R\$)
23542	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	2175,28
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	9619,26
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	19069,02
	Vergalhão de aço 6,30mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	237774,20
51461	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	4755,00
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	21026,96
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	41683,41
	Vergalhão de aço 8,0 mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	519756,10
2421	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	223,70
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	989,22
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	1961,01
	Vergalhão de aço 10,0mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	24452,10
0	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	0,00
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	0,00
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	0,00
	Vergalhão de aço 12,5mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	0,00
0	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	0,00
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	0,00
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	0,00
	Vergalhão de aço 16,0mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	0,00
0	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	0,00
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	0,00
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	0,00
	Vergalhão de aço 20,0mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	0,00
				Total Geral (R\$)	883485,26	

Fonte: Dos autores (2021)

Tabela 6 - Composição dos materiais das armaduras das vigas do sistema de lajes em concreto protendido

Qtde (kg)	Insumos	Un.	Coef.	Preço Unit (R\$)	Total (R\$)	Total Pavimento (R\$)
11058	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	1021,76
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	4518,30
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	8956,98
	Vergalhão de aço 6,30mm CA 50	kg	1	9,36	9,36	103502,88
1196	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	110,51
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	488,69
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	968,76
	Vergalhão de aço 8,0 mm CA 50	kg	1	9,36	9,36	11194,56
2349	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	217,05
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	959,80
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	1902,69
	Vergalhão de aço 10,0mm CA 50	kg	1	9,36	9,36	21986,64
6511	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	601,62
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	2660,39
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	5273,91
	Vergalhão de aço 12,5mm CA 50	kg	1	9,36	9,36	60942,96
13234	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	1222,82
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	5407,41
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	10719,54
	Vergalhão de aço 16,0mm CA 50	kg	1	9,36	9,36	123870,24
5421	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	500,90
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	2215,02
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	4391,01
	Vergalhão de aço 20,0mm CA 50	kg	1	9,36	9,36	50740,56
				Total Geral (R\$)	424375,00	

Fonte: Dos autores (2021)

Tabela 7 - Composição dos materiais das armaduras dos pilares do sistema de lajes em concreto protendido

Qtde (kg)	Insumos	Un.	Coef.	Preço Unit (R\$)	Total (R\$)	Total Pavimento (R\$)
9965	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	920,77
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	4071,70
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	8071,65
	Vergalhão de aço 6,30mm CA 50	kg	1	8,9	8,90	88688,50
0	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	0,00
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	0,00
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	0,00
	Vergalhão de aço 8,0 mm CA 50	kg	1	8,9	8,90	0,00
3272	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	302,33
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	1336,94
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	2650,32
	Vergalhão de aço 10,0mm CA 50	kg	1	8,9	8,90	29120,80
17830	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	1647,49
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	7285,34
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	14442,30
	Vergalhão de aço 12,5mm CA 50	kg	1	8,9	8,90	158687,00
26589	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	2456,82
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	10864,27
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	21537,09
	Vergalhão de aço 16,0mm CA 50	kg	1	8,9	8,90	236642,10
9283	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	857,75
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	3793,03
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	7519,23
	Vergalhão de aço 20,0mm CA 50	kg	1	8,9	8,90	82618,70
				Total Geral (R\$)	683514,13	

Fonte: Dos autores (2021)

Tabela 8 - Composição dos materiais de concreto do sistema de lajes em concreto protendido

	Qtde (m³)	Insumos	Un.	Coef.	Preço Unit (R\$)	Total (R\$)	Total Pavimento (R\$)
Laje	1893,8	Concreto Usinado C40	m³	1,05	465,55	488,83	925741,52
Pilar	413	Concreto Usinado C40	m³	1,05	465,55	488,83	201885,76
Viga	357	Concreto Usinado C40	m³	1,05	465,55	488,83	174511,42
Total Geral (R\$)							1302138,69

Fonte: Dos autores (2021)

Tabela 9 - Composição dos materiais da protensão do sistema de lajes em concreto protendido

	Qtde (kg)	Insumos	Un.	Coef.	Preço Unit (R\$)	Total (R\$)	Total Pavimento (R\$)
Laje	36004	Ancoragem base, cunha 1/2", Adaptador, Pocket, Tirantes, Apoios, corte, enrolação, pré blocagem, e identificação	kg	1	4,37	4,37	157310,477
	36004	Cordoalha Engraxada CP 190 RB 12,7 mm	kg	1	10,17	10,17	366323
Total Geral (R\$)							523633,175

Fonte: Dos autores (2021)

Tabela 10 - Composição dos materiais das formas plásticas do sistema de lajes em concreto protendido

Qtde (un.)	Qtde (dias de uso pvto)³	Insumos	Un.	Coef.	Preço Unit (R\$)	Total (R\$)	Total Pavimento (R\$)
19890	20	Forma Plástica, tipo Cubeta 61x61x21 cm	loc/dia	1	0,25	0,25	99450
Total Geral (R\$)							99450

Fonte: Dos autores (2021)

³ Considerado a execução de 2 lajes/mês até o 5º pavimento e 3 lajes/mês nos pavimentos tipos.

APÊNDICE C – COMPOSIÇÃO DE MATERIAIS DO SISTEMA DE LAJES EM CONCRETO ARMADO

Tabela 11 - Composição dos materiais das formas de madeira do sistema de lajes em concreto armado

	Qtde (m²)	Insumos	Un.	Coef.	Preço Unit (R\$)	Total (R\$)	Total Pavimento (R\$)
Laje	13209,43	Desmoldante para formas de madeira	L	0,02	7,78	0,16	2055,39
		Tábua de cedrinho 1 x 8" - 6 usos	m	0,22	17,58	3,81	50314,72
		Prego com cabeça 15 x 15	kg	0,30	26,04	7,81	103192,07
		Pontalete de Cedrinho 7,5x7,5cm - 6 usos	m	0,43	26,20	11,35	149971,06
		Chapa de madeira compensada plastificada 1,10 x 2,20 m # 18 mm - 12 desformas	m²	0,11	31,40	3,57	47133,65
Pilar	4202,52	Chapa de madeira compensada plastificada 1,10 x 2,20 m # 18 mm - 12 desformas	m²	0,12	31,4	3,85	16194,98
		Pontalete de Cedrinho 7,5x7,5cm - 6 usos	m	1,03	26,2	27,07	113776,22
		Sarrafo 1 x 3" - 6 usos	m	0,75	6,38	4,76	19987,19
		Prego com cabeça 17 x 21	kg	0,20	20,98	4,20	17633,77
		Prego com cabeça 17 x 27	kg	0,20	35,95	7,19	30216,12
		Desmoldante para formas de madeira	L	0,02	7,78	0,16	653,91
Viga	6171,71	Chapa de madeira compensada plastificada 1,10 x 2,20 m # 18 mm - 12 desformas	m²	0,11	31,4	3,43	21140,91
		Pontalete de Cedrinho 7,5x7,5cm - 6 usos	m	0,53	26,2	13,97	86239,36

		Sarrafo 1 x 3" - 6 usos	m	0,67	6,38	4,25	26250,34
		Prego com cabeça 17 x 21	kg	0,20	20,98	4,20	25896,50
		Prego com cabeça 17 x 27	kg	0,10	35,95	3,60	22187,30
		Desmoldante para formas de madeira	L	0,02	7,78	0,16	960,32
Total Geral (R\$)							733803,81

Fonte: Dos autores (2021)

Tabela 12 - Composição dos materiais do cimbramento do sistema de lajes em concreto armado

	Qtde (meses)	Insumos	Un.	Coef.	Preço Unit (R\$)	Total (R\$)	Total Pavimento (R\$)
Vigas ⁴	11 ⁵	Sistema de escoramento metálico para Vigas ACOTOP® BKS composto por vigas principais e secundarias com reescoramento de 50%	loc/mês	1,1	637,85	701,64	7717,99
Pilares	11	Sistema de escoramento metálico para Pilares ACOTOP® BKS composto por vigas principais e secundarias com reescoramento de 50%	loc/mês	1,1	694,76	764,24	8406,60

⁴ Não considerado redução do uso dos equipamentos nas lajes de menor área, considerado o uso de 100% dos equipamentos em todo período da execução.

⁵ Considerado o custo de R\$52.965,94 para execução de todos os 11 pavimentos e calculado o índice para locação de 1 pavimento.

Lajes	11	Sistema de escoramento metálico para Lajes ACOTOP® BKS composto por vigas principais e secundarias com reescoramento de 50%	loc/mês	1,1	3044,74	3349,2	36841,35
						Total Geral (R\$)	52965,94

Fonte: Dos autores (2021)

Tabela 13 - Composição dos materiais das armaduras das lajes do sistema de lajes em concreto armado

Qtde (kg)	Insumos	Un.	Coef.	Preço Unit (R\$)	Total (R\$)	Total Pavimento (R\$)
1131	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	104,50
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	462,13
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	916,11
	Vergalhão de aço 5,0 mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	11423,10
4823	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	445,65
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	1970,68
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	3906,63
	Vergalhão de aço 6,30mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	48712,30
7734	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	714,62
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	3160,11
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	6264,54
	Vergalhão de aço 8,0 mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	78113,40
18403	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	1700,44
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	7519,47
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	14906,43
	Vergalhão de aço 10,0mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	185870,30

34062	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	3147,33
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	13917,73
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	27590,22
	Vergalhão de aço 12,5mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	344026,20
32196	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	2974,91
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	13155,29
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	26078,76
	Vergalhão de aço 16,0mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	325179,60
17590	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	1625,32
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	7187,27
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	14247,90
	Vergalhão de aço 20,0mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	177659,00
19255	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	1779,16
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	7867,59
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	15596,55
	Vergalhão de aço 25,0mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	194475,50
Total Geral (R\$)						1542698,73

Fonte: Dos autores (2021)

Tabela 14 - Composição dos materiais das armaduras das vigas do sistema de lajes em concreto armado

Qtde (kg)	Insumos	Un.	Coef.	Preço Unit (R\$)	Total (R\$)	Total Pavimento (R\$)
0	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	0,00
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	0,00
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	0,00
	Vergalhão de aço 5,0mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	0,00
10409	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	961,79

	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	4253,12
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	8431,29
	Vergalhão de aço 6,30mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	105130,90
1522	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	140,63
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	621,89
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	1232,82
	Vergalhão de aço 8,0 mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	15372,20
6842	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	632,20
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	2795,64
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	5542,02
	Vergalhão de aço 10,0mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	69104,20
6285	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	580,73
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	2568,05
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	5090,85
	Vergalhão de aço 12,5mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	63478,50
4562	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	580,73
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	1864,03
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	3695,22
	Vergalhão de aço 16,0mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	46076,20
7043	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	421,53
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	2877,77
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	5704,83
	Vergalhão de aço 20,0mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	71134,30
7377	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	681,63
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	3014,24
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	5975,37
	Vergalhão de aço 25,0mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	74507,70
Total Geral (R\$)						502470,40

Fonte: Dos autores (2021)

Tabela 15 - Composição dos materiais das armaduras dos pilares do sistema de lajes em concreto armado

Qtde (kg)	Insumos	Un.	Coef.	Preço Unit (R\$)	Total (R\$)	Total Pavimento (R\$)
0	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	0,00
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	0,00
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	0,00
	Vergalhão de aço 5,0mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	0,00
11424	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	1055,58
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	4667,85
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	9253,44
	Vergalhão de aço 6,30mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	115382,40
843	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	77,89
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	344,45
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	682,83
	Vergalhão de aço 8,0 mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	8514,30
622	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	57,47
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	254,15
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	503,82
	Vergalhão de aço 10,0mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	6282,20
23713	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	2191,08
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	9689,13
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	19207,53
	Vergalhão de aço 12,5mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	239501,30
7059	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	652,25
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	2884,31
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	5717,79

	Vergalhão de aço 16,0mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	71295,90
7761	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	717,12
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	3171,14
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	6286,41
	Vergalhão de aço 20,0mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	78386,10
4007	Espaçador plástico para armaduras	un.	0,26	0,35	0,09	370,25
	Arame recozido 18 BWG	kg	0,02	20,43	0,41	1637,26
	Corte e dobra em aço CA 50	kg	1	0,81	0,81	3245,67
	Vergalhão de aço 25,0mm CA 50	kg	1	10,1	10,10	40470,70
Total Geral (R\$)						632500,32

Fonte: Dos autores (2021)

Tabela 16 - Composição dos materiais do concreto do sistema de lajes em concreto armado

	Qtde (m³)	Insumos	Un.	Coef.	Preço Unit (R\$)	Total (R\$)	Total Pavimento (R\$)
Laje	1883,80	Concreto Usinado C40	m³	1,05	465,55	488,83	920853,24
Pilar	394,52	Concreto Usinado C40	m³	1,05	465,55	488,83	192852,23
Viga	678,17	Concreto Usinado C40	m³	1,05	465,55	488,83	331508,15
Total Geral (R\$)							1445213,62

Fonte: Dos autores (2021)

Tabela 17 - Composição dos materiais das formas plásticas do sistema de lajes em concreto armado

	Qtde (un.)	Qtde (dias de uso pvto)⁶	Insumos	Un.	Coef.	Preço Unit (R\$)	Total (R\$)	Total Pavimento (R\$)
Formas Plásticas	23553	20	Forma Plástica, tipo Cubeta 61x61x21 cm	loc/mês	1	0,25	0,25	117765
Total Geral (R\$)								117765

Fonte: Dos autores (2021)

⁶ Considerado a execução de 2 lajes/mês até o 5º pavimento e 3 lajes/mês nos pavimentos tipos.

APÊNDICE D – COMPOSIÇÃO DA MÃO DE OBRA DO SISTEMA DE LAJES EM CONCRETO PROTENDIDO

Tabela 18 - Composição da mão de obra das formas de madeira do sistema de lajes em concreto protendido

	Qtde (m²)	Profissionais	Un. .	Coef. . Fab	Coef. Mon	Coef. . Des	Coef. Total	Preço Unit (R\$)	Total I (R\$)	Total Pavimento o (R\$)
Lajes	12022,50	Ajudante de Carpinteiro	h	0,30	0,07	0,03	0,41	7,36	2,99	35925,15
		Carpinteiro	h	1,20	0,30	0,13	1,62	10,09	16,39	197002,61
Pilares	4746,00	Ajudante de Carpinteiro	h	0,30	0,10	0,04	0,44	7,36	3,24	15369,45
		Carpinteiro	h	1,20	0,39	0,17	1,76	10,09	17,76	84281,37
Vigas	4139,00	Ajudante de Carpinteiro	h	0,30	0,14	0,06	0,50	7,36	3,67	15170,59
		Carpinteiro	h	1,20	0,55	0,24	1,99	10,09	20,10	83190,92
							Total Geral (R\$)		430940,09	

Fonte: Dos autores (2021)

Tabela 19 - Composição da mão de obra das armaduras do sistema de lajes em concreto protendido

	Qtde (kg)	Profissionais	Un.	Coef.	Preço Unit (R\$)	Total (R\$)	Total Pavimento (R\$)
Lajes	77424	Armador	h	0,03	9,60	0,30	23041,38
		Ajudante de Armador	h	0,47	7,36	3,42	264975,90
		Serviço de corte e dobra industrializados	h	1,00	0,81	0,81	62713,44
Pilares	66939	Armador	h	0,03	9,60	0,33	21848,89
		Ajudante de Armador	h	0,05	7,36	0,38	25126,22
		Serviço de corte e dobra industrializados	h	1,00	0,81	0,81	54220,59
Vigas	39769	Armador	h	0,05	9,60	0,51	20234,47
		Ajudante de Armador	h	0,15	7,36	1,10	43904,98
		Serviço de corte e dobra industrializados	h	1,00	0,81	0,81	32212,89

APÊNDICE E – COMPOSIÇÃO DA MÃO DE OBRA DO SISTEMA DE LAJES EM CONCRETO ARMADO

Tabela 22 - Composição da mão de obra das formas de madeiras do sistema de lajes em concreto armado

	Qtde (m²)	Profissionais	Un.	Coef. Fab	Coef. Mon	Coef. Des	Coef. Total	Preço Unit (R\$)	Total (R\$)	Total Pavimento (R\$)
Lajes	13209,43	Ajudante de Carpinteiro	h	0,30	0,07	0,03	0,41	7,36	R\$2,99	R\$39.471,89
		Carpinteiro	h	1,20	0,30	0,13	1,62	10,09	R\$16,39	R\$216.451,83
Pilares	4202,52	Ajudante de Carpinteiro	h	0,30	0,10	0,04	0,44	7,36	R\$3,24	R\$13.609,44
		Carpinteiro	h	1,20	0,39	0,17	1,76	10,09	R\$17,76	R\$74.630,03
Vigas	6171,71	Ajudante de Carpinteiro	h	0,30	0,14	0,06	0,50	7,36	R\$3,67	R\$22.621,05
		Carpinteiro	h	1,20	0,55	0,24	1,99	10,09	R\$20,10	R\$124.046,93
							Total Geral (R\$)		R\$490.831,17	

Fonte: Dos autores (2021)

Tabela 23 - Composição da mão de obra das armaduras do sistema de lajes em concreto armado

	Qtde (kg)	Profissionais	Un.	Coef.	Preço Unit (R\$)	Total (R\$)	Total Pavimento (R\$)
Lajes	135194	Armador	h	0,03	9,60	0,30	R\$40.233,73
		Ajudante de Armador	h	0,47	7,36	3,42	R\$462.687,95
		Serviço de corte e dobra industrializados	h	1,00	0,81	0,81	R\$109.507,14
Pilares	55429	Armador	h	0,03	9,60	0,33	R\$18.092,03
		Ajudante de Armador	h	0,05	7,36	0,38	R\$20.805,83
		Serviço de corte e dobra industrializados	h	1,00	0,81	0,81	R\$44.897,49
Vigas	44040	Armador	h	0,05	9,60	0,51	R\$22.407,55
		Ajudante de Armador	h	0,15	7,36	1,10	R\$48.620,16

		Serviço de corte e dobra industrializados	h	1,00	0,81	0,81	R\$35.672,40
Total Geral (R\$)							R\$802.924,28

Tabela 24 - Composição da mão de obra das concretagens do sistema de lajes em concreto armado

	Qtde (m³)	Profissionais	Un.	Coef.	Preço Unit (R\$)	Total (R\$)	Total Pavimento (R\$)
Laje	1883,80	Pedreiro	h	1,6	10,08	16,13	R\$30.381,93
		Servente	h	4,5	6,72	30,24	R\$56.966,11
		Vibrador de imersão elétrico, 2 CV, mangote Ø 45 mm	h prod	0,65	8,24	5,36	R\$10.089,63
Pilares	394,52	Pedreiro	h	1,6	10,08	16,13	R\$6.362,82
		Servente	h	4,5	6,72	30,24	R\$11.930,28
		Vibrador de imersão elétrico, 2 CV, mangote Ø 45 mm	h prod	0,65	8,24	5,36	R\$2.113,05
Vigas	678,17	Pedreiro	h	1,6	10,08	16,13	R\$10.937,53
		Servente	h	4,5	6,72	30,24	R\$20.507,86
		Vibrador de imersão elétrico, 2 CV, mangote Ø 45 mm	h prod	0,65	8,24	5,36	R\$3.632,28
				Total Geral (R\$)		R\$152.921,49	

Fonte: Dos autores (2021)