



**CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS - UNICHRISTUS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

ENNIO CARLOS BARBOSA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA O
DIMENSIONAMENTO DE LAJE TRELIÇADA COM ENCHIMENTOS
CONVENCIONAIS E COM AS FÔRMAS PLÁSTICAS DO SISTEMA PAVPRÉ**

FORTALEZA - CE

2021

ENNIO CARLOS BARBOSA SILVA

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA O
DIMENSIONAMENTO DE LAJE TRELIÇADA COM ENCHIMENTOS
CONVENCIONAIS E COM AS FÔRMAS PLÁSTICAS DO SISTEMA PAVPRÉ

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Christus como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Bergson da Silva Matias,
M. Sc

FORTALEZA - CE

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Centro Universitário Christus - Unichristus
Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do
Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586d Silva, Ennio Carlos Barbosa.
Desenvolvimento de ferramenta computacional para o dimensionamento de laje treliçada com enchimentos convencionais e com as fôrmas plásticas do sistema Pavpré / Ennio Carlos Barbosa Silva. - 2021.
54 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Me. Bergson da Silva Matias.

1. Ferramenta. 2. Estrutura. 3. Laje. 4. Pavpré. 5. Python. I.
Título.

CDD 624

ENNIO CARLOS BARBOSA SILVA

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA O
DIMENSIONAMENTO DE LAJE TRELIÇADA COM ENCHIMENTOS
CONVENCIONAIS E COM AS FÔRMAS PLÁSTICAS DO SISTEMA PAVPRÉ

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido à Coordenação do Curso de
Engenharia Civil do Centro Universitário
Christus, como parte integrante dos
requisitos para obtenção do grau de
bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas de
Concreto Armado

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Bergson da Silva Matias (Orientador)

Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Prof. Me. Erivano Lucio Passos

Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Prof. Me. Agérbon Cesár Cunha da Nobrega

Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, Antônio Carlos Sousa Silva e Maria do Socorro Barbosa Silva, que sempre fizeram tudo que podiam para que eu alcançasse meus objetivos. Agradeço pela compreensão, ensinamentos e paciência durante todos esses anos.

Aos meus colegas e amigos que estiveram comigo no decorrer do curso.

Ao meu orientador, Prof. Me. Bergson da Silva Matias, por sua orientação, paciência e ensinamentos durante toda a jornada de elaboração do trabalho de conclusão de curso.

À mim, por acreditar que valeria a pena, por todo trabalho duro, pelos dias não livres, por nunca desistir, por tentar ser melhor a cada dia e por ser quem sou.

Aos integrantes da banca avaliadora, por ter aceito ao convite.

À Universidade Christus e todos que fazem parte dessa equipe.

RESUMO

O avanço tecnológico dos últimos anos provocou impactos significativos em diversas áreas da engenharia. Através do desenvolvimento de ferramentas computacionais, cálculos, desenhos e análises que antes demoravam, dependendo do porte da edificação, semanas ou meses para serem desenvolvidos, tornaram-se muito mais ágeis de serem realizados. Uma das áreas que mais beneficiou-se com esse avanço foi a Engenharia de Estruturas. A utilização de ferramentas computacionais no estudo, desenvolvimento e dimensionamento das estruturas, atualmente, é de fundamental importância, sendo possível a elaboração de projetos cada vez mais eficientes, seguros e econômicos. Os *softwares* de cálculo estrutural atuais permitem o desenvolvimento e análise de modelos com alto grau de complexidade, entretanto essa tecnologia acaba afetando diretamente em seus custos de aquisição, tornando-os muitas vezes inacessíveis. Nesse contexto, o presente trabalho versa sobre o desenvolvimento de uma ferramenta computacional de código aberto e com resultados comprovados com a finalidade de dimensionar, de acordo com os requisitos da NBR 6118:2014, lajes treliçadas unidirecionais convencionais, além de lajes utilizando o sistema Pavpré. O sistema Pavpré se baseia na substituição dos materiais de enchimento mais utilizados no mercado, como o EPS e as lajotas cerâmicas, por cubetas plásticas reutilizáveis de tamanhos e alturas variáveis. As interfaces gráficas serão construídas utilizando o Glade, que é um construtor de interfaces gráficas RAD (Rapid Application Development), o qual é usado em um grande número de aplicações para agilizar o desenvolvimento e foi utilizando o Builder do Gtk para manipular os componentes da interface gráfica. A programação foi realizada utilizando a linguagem Python. A validade da ferramenta foi comprovada com a comparação dos seus resultados com os obtidos por um software amplamente difundido no mercado estrutural.

Palavras-chave: Ferramenta. Estrutura. Laje. Pavpré. Python.

ABSTRACT

Technological advances in recent years have had significant impacts in several areas of engineering. Through the development of computational tools, calculations, drawings and analyzes that used to take, depending on the size of the building, weeks or months to be developed, they became much more agile to be carried out. One of the areas that most benefited from this advance was Structural Engineering. The use of computational tools in the study, development and desing of structures is currently of fundamental importance, making it possible to design increasingly efficient, safe and economical projects. The current structural calculation software allows the development and analysis of models with a high degree of complexity, however this technology ends up directly affecting its acquisition costs, making them often inaccessible. In this context, the present work deals with the development of an open source computational tool with proven results in order to dimension, according to the requirements of NBR 6118:2014, conventional one-way ribbed slabs, in addition to slabs using the Pavpré system. The Pavpré system is based on the replacement of the most used filling materials on the market, such as EPS and ceramic blocks, with reusable plastic buckets of varying sizes and heights. The graphical interfaces will be built using Glade, which is a RAD (Rapid Application Development) graphical interface builder, which is used in a large number of applications to speed up development and was using the Gtk Builder to manipulate the interface components print shop. Programming was performed using the Python language. The validity of the tool was proven by comparing its results with those obtained by software widely used in the structural Market.

Keywords: Tool. Structure. Slab. Pavpré. Python.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema construtivo de laje formada por vigotas pré-moldadas.....	7
Figura 2 - Tipos de vigotas.....	8
Figura 3 - Detalhamento vigota treliçada.....	9
Figura 4 - Detalhamento da treliça	9
Figura 5 - Laje volterrana com enchimento cerâmico.....	10
Figura 6 - Laje treliçada com enchimento de EPS	11
Figura 7 - Caracterização da seção com a) T e como b) falso T.....	12
Figura 8 - a) Momento resistido pela alma e b) momento resistido pelas abas da mesa	14
Figura 9 - Variação do momento ao longo da viga.....	17
Figura 10 - Pavpré unidirecional com viga em concreto armado.....	18
Figura 11 - Treliça de aço, espaçadores plásticos e fôrma de aço zincado	19
Figura 12 - a) Altura das fôrmas plásticas b) fôrma apoiada em perfiz metálicos	20
Figura 13 - a) Placa plástica plana b) Execução de viga faixa protendida	20
Figura 14 - Comparação entre enchimento de EPS com a Cubeta Plástica	21
Figura 15 - Detalhamento das cubetas plásticas.....	22
Figura 16 - Cubetas plásticas com tapa nervura unidirecional.....	22
Figura 17 - Pseudocódigo – cálculo de IMC.....	24
Figura 18 - Fluxograma – viagem à Fortaleza.....	24
Figura 19 – Linhas de Código	25
Figura 20 - Linguagem Python	26
Figura 21 - Recursos Gráficos Disponíveis no GTK+.....	28
Figura 22 - Interface Inicial da Aplicação Glade	29
Figura 23 - Fluxograma para dimensionamento da armadura longitudinal	31
Figura 24 - Fluxograma para verificação da flecha	32
Figura 25 - Exemplo de laje unidirecional	33
Figura 26 - Seção transversal	33
Figura 27 - Janela inicial da ferramenta	34
Figura 28 - Janela dos elementos de enchimentos	35
Figura 29 - Janela principal da ferramenta.....	36
Figura 30 - Mensagem de erro	36

Figura 31 - Janela com resultados do dimensionamento	37
Figura 32 - Seleção da bitola adicional	37
Figura 33 - Cálculo das deformações.....	38
Figura 34 - Escolha de local para salvar arquivo.....	38
Figura 35 - Resultado simplificado de cálculo	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados dos cálculos realizados	40
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparação de resultados.....	41
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
1.1	Justificativa	5
1.2	Objetivos	6
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i>	6
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	6
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1	Lajes Treliçadas	7
2.1.1	<i>Vigota Treliçada</i>	8
2.1.2	<i>Elementos de enchimento</i>	10
2.1.2.1	<i>Lajota cerâmica</i>	10
2.1.2.2	<i>Poliestireno expandido (EPS)</i>	11
2.1.3.	<i>Dimensionamento de lajes treliçadas</i>	11
2.2	Sistema Pavpré	18
2.2.1	<i>Trelifácil</i>	19
2.2.2	<i>Fôrma plástica para viga.</i>	19
2.2.3	<i>Cubetas plásticas reutilizáveis</i>	20
2.3	Algoritmos	23
2.3.1	<i>Representação dos Algoritmos</i>	23
2.3.1.1	<i>Pseudocódigo</i>	23
2.3.1.2	<i>Fluxograma</i>	24
2.4	Linguagem de Programação	25
2.4.1	<i>Python</i>	26
2.5	GUI (Graphical User Interface)	27
2.5.1	<i>GTK+</i>	28
2.5.2	<i>Glade</i>	29
3	METODOLOGIA	30
3.1	Classificação da Pesquisa	30
3.2	Etapas de Desenvolvimento	30
3.3	Validação da Ferramenta	33
4	RESULTADOS E DISCURSSÕES	34
4.1	Apresentação da Ferramenta	34
4.2	Aplicação Numérica	40

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
	REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, houve um avanço significativo relacionado à evolução dos sistemas computacionais. Essa evolução acelerada foi fundamental no desenvolvimento da Engenharia de Estruturas, possibilitando uma modificação completa na forma de como projetos estruturais passaram a ser elaborados. A utilização de ferramentas computacionais no estudo, desenvolvimento e dimensionamento das estruturas é de fundamental importância, pois é possível a elaboração de projetos cada vez mais eficientes, seguros e econômicos.

Segundo Carvalho e Pinheiro (2009), mesmo com todo avanço tecnológico, cabe ao projetista a escolha do sistema estrutural mais adequado para determinada edificação, considerando assim, alguns parâmetros básicos como a sua finalidade, projeto arquitetônico, disponibilidade de equipamentos, entre outros.

Martha (2010) explica que a análise estrutural é a fase do projeto em que é analisado o comportamento da estrutura, esse comportamento pode ser expresso por diversos parâmetros, como, tensões, deformações e deslocamentos. Na Engenharia Civil as lajes, vigas, pilares e fundações formam um sistema estrutural no qual estes trabalham em conjunto para transmitir as cargas atuantes na edificação até o solo.

De acordo com Souza e Cunha (1994), as lajes têm como função transmitir as cargas de utilização, aplicadas diretamente nos pisos, para as vigas que as suportam. Vale salientar que outra função importante da laje é no contraventamento das estruturas, funcionando como diafragmas rígidos que distribuem as cargas horizontais entre as estruturas de contraventamento (pórticos ou paredes portantes).

O mercado da construção civil, atualmente, possui diversos tipos de lajes que se diferenciam tanto na execução, quanto no custo, mão de obra, materiais, entre outros. Dentre estas, destaca-se as lajes nervuradas unidirecionais com vigotas pré-moldadas, que devido a características importantes como a redução do peso próprio e a geração de economia de fôrmas e escoramentos, reduz o custo final da estrutura.

As lajes nervuradas dividem-se em nervuras armadas em duas direções e em uma direção. As armadas em uma direção apresentam, normalmente, as nervuras na direção do menor vão e estas têm o comportamento estrutural de uma viga com seção "T" simplesmente apoiada (CARVALHO; PINHEIRO 2009).

Carvalho e Figueiredo (2014) afirmam que a busca de pavimentos com execução mais simples e econômica, em projetos de edificações residenciais e comerciais de pequeno a médio porte, tem sido cada vez mais empregado o sistema de lajes nervuradas com vigotas pré-moldadas. Formadas geralmente por trilhos ou treliças no lugar das lajes maciças de concreto armado.

A ideia que levou ao surgimento desse tipo de laje é baseada no fato de que para vãos de grandes dimensões, as lajes maciças geralmente apresentam uma pequena região de concreto comprimido e há muito concreto abaixo da linha neutra tracionado, o que, não colabora para a resistência a flexão. Com isso, é possível substituir uma parte desse concreto por um material inerte, mais leve e mais barato que o concreto (CARVALHO; PINHEIRO 2009).

Os principais materiais utilizados, atualmente, como enchimentos em lajes treliçadas são, a lajota cerâmica e o poliestireno expandido (EPS). A Impacto Protensão, empresa do ramo de locação de formas, cimbramentos, entre outros produtos, recentemente desenvolveu um sistema denominado Pavpré. Este sistema possui como um de seus componentes principais uma cubeta plástica reutilizável para ser utilizada como elemento de enchimento.

1.1 Justificativa

Lajes do tipo treliçadas são amplamente utilizadas em todo o Brasil, o mercado atual possui vários *softwares* para cálculo de projeto estrutural, tais como, SAP2000, TQS, Eberick, entre outros. Esses *softwares* permitem o desenvolvimento e análise de modelos com alto grau de sofisticação, o que afeta diretamente em seus custos de aquisição, tornando-os inacessíveis para muitos.

É possível utilizar a Tecnologia da Informação (TI), para desenvolver uma ferramenta computacional de código aberto e com resultados comprovados, com a finalidade de dimensionar lajes treliçadas convencionais, além do dimensionamento de lajes utilizando o sistema Pavpré. Esta ferramenta possibilitaria a verificação estrutural de lajes já executadas para garantir se estas atendem aos requisitos presentes nas normas. Além disto, seria possível a sua utilização como uma ferramenta didática auxiliando alunos do curso de Engenharia Civil no estudo de dimensionamento estrutural.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver, através de uma linguagem de programação, uma ferramenta computacional capaz de dimensionar lajes treliçadas de enchimentos variados (lajota cerâmica, poliestireno expandido e fôrmas plásticas reutilizáveis do sistema Pavpré), submetidas a diferentes cargas (acidental, permanentes e variadas), seguindo os requisitos da norma NBR 6118:2014.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho estão relacionados a seguir:

- a) Realizar uma pesquisa bibliográfica sobre lajes treliçadas e suas particularidades além de uma pesquisa sobre o sistema de formas utilizadas como enchimento do sistema Pavpré;
- b) Desenvolver, através de um código de programação baseado na linguagem Python, uma interface gráfica simples e intuitiva;
- c) Validar os resultados obtidos através dos cálculos realizados pela ferramenta computacional comparando estes com os resultados apresentados por um *software* estrutural comercial.

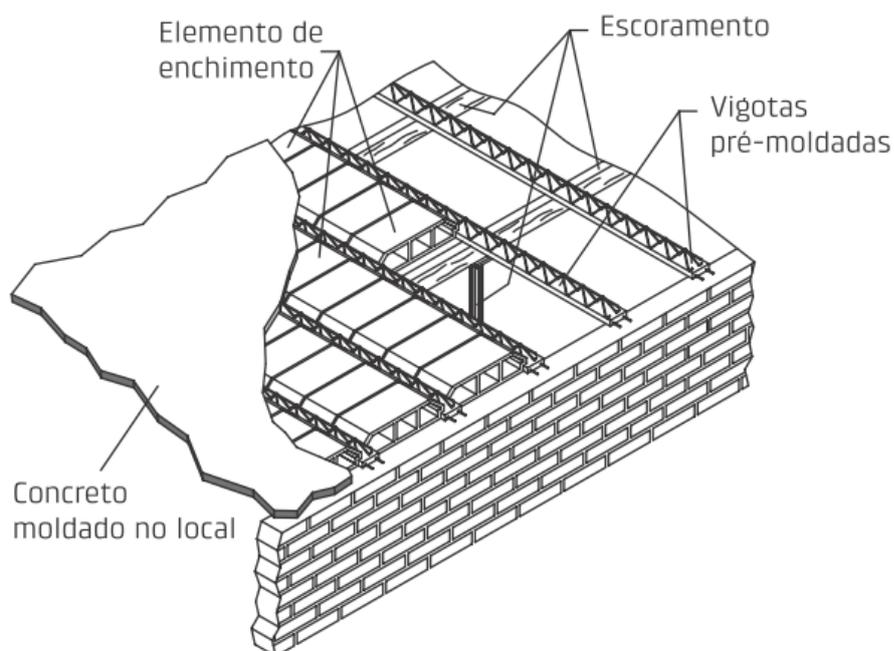
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Lajes Trelaçadas

A NBR 6118:2014 no item 14.7.7, define lajes nervuradas como “lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos está localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte”. Atualmente, em residências e comércios de pequeno a médio porte com cargas não muito elevadas, são comumente utilizadas lajes nervuradas unidirecionais, mais precisamente lajes com vigotas e painéis pré-moldadas com armação trelaçada.

El Debs (2017) destaca que, as lajes nervuradas são formadas por elementos pré-moldados correspondendo às nervuras, denominadas como vigotas pré-moldadas, dispostos espaçadamente em uma direção, elementos de enchimento, colocados sobre os elementos pré-moldados e pelo concreto que pode ser moldado no local (Figura 1).

Figura 1 - Esquema construtivo de laje formada por vigotas pré-moldadas



Fonte: El Debs (2017)

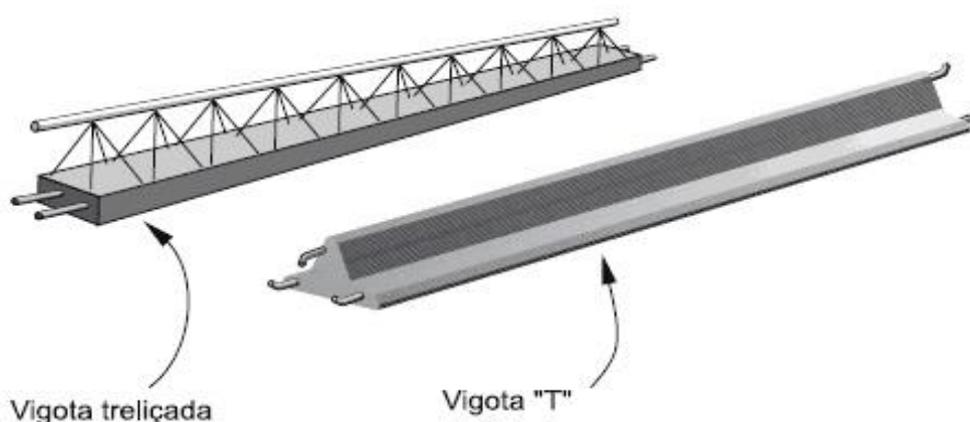
Esse tipo de laje é amplamente utilizado, visto que, além de agilizar o processo de montagem, as vigotas treliçadas juntamente com a utilização dos elementos de enchimentos, mais leves e mais baratos que o concreto, funcionam como fôrma para a capa de concreto que é moldada no local. As vigotas treliçadas, por serem elementos resistentes do sistema, possuem a capacidade de suportar seu peso próprio e o peso dos elementos que enchimentos, fazendo com que na execução da concretagem seja utilizada uma baixa quantidade de escoras quando comparada com outros tipos de laje.

Para Carvalho e Figueiredo (2014), a principal vantagem deste tipo de laje é a economia relativa ao escoramento e a não utilização de fôrma, proporcionando economia no custo final da obra. Como principais desvantagens podem ser destacadas a dificuldade na execução das instalações prediais e os custos dos deslocamentos, relacionado ao peso e extensão das vigotas treliçadas, bem maiores que os apresentados pelas lajes maciças.

2.1.1 Vigota Treliçada

A NBR 14859-1:2016 em seu item 3.1.1 diz que vigotas pré-fabricadas são “constituídas por concreto estrutural, executadas industrialmente fora do local de utilização definitivo da estrutura, ou mesmo em canteiros de obra, sob rigorosas condições de controle de qualidade”. No Brasil é possível encontrar no mercado vigotas utilizadas em forma de seção T invertido, utilizada em lajes conhecida como volterrana, ou com uma amadura em forma de treliça que se projeta para fora da seção podendo ser em concreto armado ou concreto protendido (Figura 2). Esta última utilizada nas lajes treliçadas sendo mais empregada nos dias atuais.

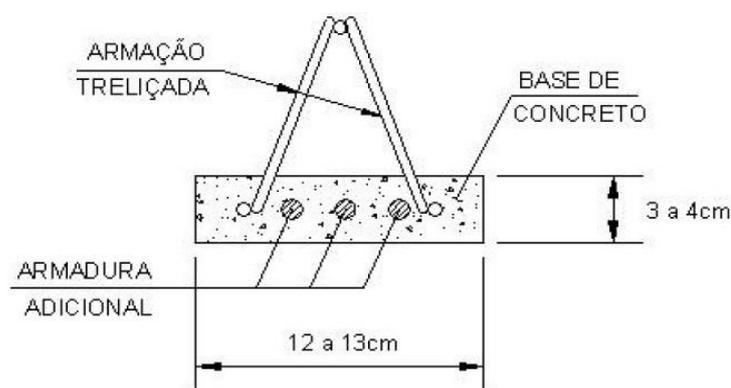
Figura 2 - Tipos de vigotas



Fonte: Adaptado de Lajes Premold

Segundo Cunha (2012), as vigotas treliçadas são formadas por uma base de concreto e armação treliçada (Figura 3) sendo possível, quando necessário, inserir uma armação adicional referente ao dimensionamento da laje. A medida da base de concreto das vigotas com armação treliçada varia de 12cm a 13cm de largura e 3 a 4cm altura.

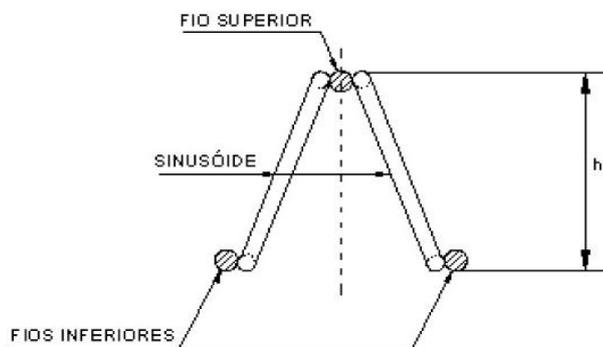
Figura 3 - Detalhamento vigota treliçada



Fonte: Cunha (2012)

As treliças utilizam fios de aço CA-60 soldados por eletrofusão¹ e são constituídas por um fio superior (banzo superior), que resiste às forças de compressão no processo montagem da laje treliçada, dois fios inferiores, (banzo inferior), que resistem às forças de tração causadas pelo momento fletor positivo, e pelos sinusóides², que agem como armadura resistente às forças cortantes e promove a aderência ao concreto pré-moldado da vigota, como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Detalhamento da treliça



¹ Processo de fusão ou soldagem por meio de um equipamento que fornece tensão elétrica controlada por tempo suficiente para fundir os materiais, sem solda.

² Armadura diagonal que liga os fios inferiores ao superior.

Fonte: Cunha (2012)

2.1.2 Elementos de enchimento

A NBR 14859-1:2016 define elementos de enchimento como componentes pré-fabricados com materiais inertes diversos, podendo ser maciços ou vazados, inseridos entre as vigotas. Sua principal função é reduzir o volume de concreto, o peso próprio da laje e servir como fôrma para o concreto complementar. Esses elementos são desconsiderados para efeito de cálculo estrutural. Os blocos de enchimento mais utilizados na atualidade são as lajotas cerâmicas e os blocos de poliestireno expandido (EPS).

2.1.2.1 Lajota cerâmica

Lajota cerâmica, é um elemento de enchimento, utilizada em lajes, apoiadas em vigotas ou treliças (Figura 5). Composta de material cerâmico (argila) e fabricado com configuração geométrica vazada. Esse tipo de enchimento apresenta inúmeras vantagens para o seu uso, como por exemplo resistência requerida pela norma, que gera uma menor perda no manuseio, no transporte e na aplicação, ótima aderência, que facilita a aplicação dos revestimentos, conforto térmico e acústico. Dentre as desvantagens destaca-se o peso elevado além de algumas empresas no mercado não passarem por fiscalização adequada fazendo com que não haja, muitas vezes, conformidades nos produtos. (BRAGA; FABBRO; REAIS, 2016).

Figura 5 - Laje volterrana com enchimento cerâmico



Fonte: Bezerra (2017)

2.1.2.2 Poliestireno expandido (EPS)

O EPS, sigla internacional para poliestireno expandido, é um material plástico na forma de espuma com microcélulas fechadas, composto basicamente de “vazios” contendo ar. De acordo com o catálogo técnico da Isoplast que produz produtos em EPS no Brasil, os elementos de enchimento em poliestireno expandido, após o processo de polimerização e expansão apresentam em seu volume 98% de ar e apenas 2% de poliestireno (material sólido). O peso específico deste material varia entre 10kg/m^3 a 19kg/m^3 e a economia em relação ao peso de material de enchimento em uma laje treliçada unidirecional de 200m^2 entre os enchimentos de EPS (FIGURA 6) e cerâmica é de 97,6% o que representa uma economia de 23% em relação ao peso total da laje, no entanto essa economia no peso tem como desvantagem o custo, que é mais elevado do que nas lajotas cerâmicas (CRUZ, 2019).

Figura 6 - Laje treliçada com enchimento de EPS



Fonte: Bezerra (2017)

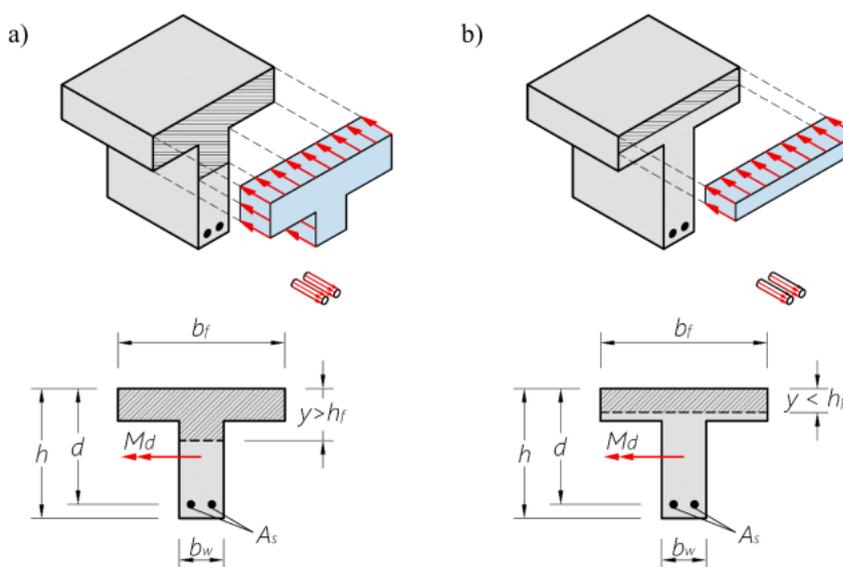
2.1.3. Dimensionamento de lajes treliçadas

O cálculo da área de aço requerida para assegurar a segurança de uma laje treliçada no Estado Limite Último (ELU) é realizado para cada nervura, a partir do equilíbrio das resultantes das tensões de tração e compressão de uma seção T sujeita à flexão simples, (BEZERRA, 2017).

Para o cálculo da armadura, é necessário verificar se a posição ficta da linha neutra ($y = 0,8x$), que delimita se o bloco de tensões, encontra-se na mesa ou na alma. Para isso é necessário definir a altura útil de comparação (d_0) da seção T, que segundo Clímaco (2016), é um valor teórico, obtido como um recurso para se estimar a posição da linha neutra da seção T e, dessa forma, definir em cada caso as situações de cálculo.

Bezerra (2017) explica que se a posição fictícia da linha neutra ($y = 0,8 x$) estiver dentro da mesa, o dimensionamento será feito como para uma seção retangular com largura b_f e altura h (falso T). Caso contrário, o dimensionamento deverá ser feito considerando que a mesa de largura b_f e uma parte da alma está sendo comprimida (seção T), como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Caracterização da seção com a) T e como b) falso T



Fonte: Bezerra (2017)

Para identificar se o cálculo será feito como seção T ou falso T, a altura útil (d) deverá ser comparada com a altura útil de comparação (d_0). Para encontrar sua expressão, basta aplicar o equilíbrio da seção e fazer $y = h_f$ (CLÍMACO, 2016):

$$d_0 = \frac{M_d}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_f \cdot h_f} + \frac{h_f}{2} \quad (1)$$

sendo M_d o momento fletor máximo de cálculo.

Obtido o valor da altura útil de comparação, sendo d a altura real da viga, pode-se verificar a posição da linha neutra fictícia comparando esses dois valores, podendo ocorrer as seguintes situações:

Se $d = d_0 \Rightarrow y = h_f$: linha neutra fictícia tangente à mesa

Se $d > d_0 \Rightarrow y < h_f$: linha neutra fictícia dentro da mesa

Se $d < d_0 \Rightarrow y > h_f$: linha neutra fictícia dentro da nervura

As duas primeiras situações significam que a linha neutra fictícia está dentro da mesa e o cálculo será feito como seção retangular. Nesse caso, o momento fletor adimensional (k_{Md}) é calculado por.

$$k_{Md} = \frac{M_d}{d^2 \cdot f_{cd} \cdot b_f} \quad (2)$$

A partir do cálculo do k_{Md} é possível encontrar a posição relativa à linha neutra (k_x) pela fórmula:

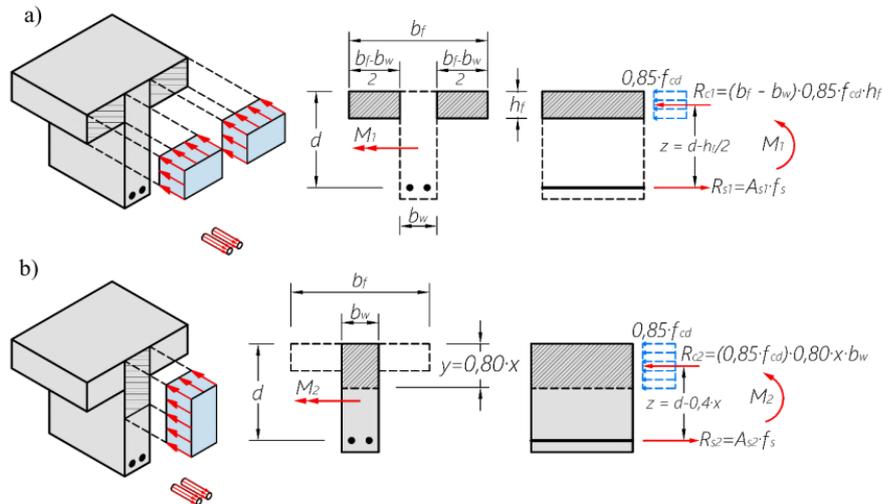
$$k_x = 1,25 - 1,9174 \cdot \sqrt{0,425 - k_{Md}} \quad (3)$$

Segundo a NBR 6118:2014, para proporcionar o adequado comportamento dútil em vigas e lajes, a posição da linha neutra no ELU deve obedecer aos limites de k_x menor ou igual a 0,45, para concretos com $f_{ck} \leq 50$ Mpa e k_x menor ou igual a 0,35, para concretos com $50 \text{ MPa} < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa}$. Bezerra (2017), para uma peça com ruptura dútil, a deformação na armadura será maior do que a deformação de escoamento de cálculo do aço (f_{yd}) e a área de aço requerida será

$$A_{s,req} = \frac{M_d}{(1 - 0,4k_x)d \cdot f_{yd}} \quad (4)$$

Quando $d < d_0$, a linha neutra fictícia está localizada na alma e o cálculo será realizado como um seção T. Será necessário separar momento absorvido pelas abas da mesa (M_1) e o que será absorvido pela alma (M_2), conforme a Figura 8.

Figura 8 - a) Momento resistido pela alma e b) momento resistido pelas abas da mesa



Fonte: Bezerra (2017)

O cálculo do momento (M_1) absorvido pelas abas será

$$M_1 = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot h_f \cdot (b_f - b_w) \cdot (d - 0,5h_f) \quad (5)$$

com $M_2 = M_d - M_1$, o momento adimensional absorvido pela alma será

$$K_{Md} = \frac{M_2}{d^2 \cdot f_{cd} \cdot b_w} \quad (6)$$

com o valor do K_{Md} , calcula-se K_x pela equação (3).

A área de aço requerida será obtida por

$$A_{s,req} = \frac{M_1}{(d - 0,5 \cdot h_f) \cdot f_{yd}} + \frac{M_2}{(1 - 0,4 \cdot K_x) \cdot d \cdot f_{yd}} \quad (7)$$

A seção deve possuir uma armadura suficiente para absorver um momento mínimo que causaria a ruptura da seção de concreto simples. Portanto, a área de aço mínima é igual a

$$A_{s,min} = \rho_{min} \cdot b_w \cdot (h + h_f) \quad (8)$$

sendo ρ_{min} a taxa de armadura mínima, dada por (ARAÚJO, 2014)

$$\rho_{min} = \frac{0,078 \cdot f_{ck}^{2/3}}{f_{yd}} \geq 0,15\% \quad (9)$$

Além disso, a área de aço deve ser limitada a uma taxa máxima de 4%.

Para dispensar a armadura transversal, a força cortante de cálculo (V_d), a uma distância d da face do apoio, deverá ser menor ou igual à força cortante resistente de cálculo V_{Rd1} , isto é

$$V_d \leq V_{Rd1} = \tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_1) \cdot b_w \cdot d \quad (10)$$

onde

$$\tau_{Rd} = 0,0375 \cdot f_{ck}^{2/3}, \text{ com } f_k \text{ em MPa;} \quad (11)$$

$$k = |1,6 - d| \geq 1, \text{ com } d \text{ em metros;} \quad (12)$$

$$\rho_1 = \frac{A_1}{b_w \cdot d} \leq 0,02 \quad (13)$$

A_{s1} armadura efetiva de tração na alma, já que esta se estende por toda a laje.

É necessário verificar se não haverá esmagamento das bielas comprimidas. Para tanto, V_d deverá ser menor do que V_{Rd2} , expresso por

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot \alpha_{v1} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9d \quad (14)$$

em que

$$\alpha_{v1} = \left(0,7 - \frac{f_{ck}}{200}\right) \leq 0,5, \text{ com } f_{ck} \text{ em MPa.} \quad (15)$$

A armadura de flexão da mesa funciona também como armadura de distribuição, que tem a função de distribuir melhor cargas concentradas, além de controlar a fissuração, e o efeito da retração (BEZERRA, 2017). Seu valor mínimo será dado por

$$A_{amesa,min} = \rho_{min} \cdot h_f \quad (16)$$

A flecha total máxima (δ), necessária para a verificação do Estado Limite de Deformações Excessivas (ELS-DEF), é dada pela soma da flecha imediata (δ_i) com a flecha diferida no tempo. Para as situações mais usuais, essa flecha não deverá ser maior do que $l_x/250$.

Quando o momento fletor solicitante (M) for maior que o momento de fissuração (M_r), haverá fissuração na peça, que deve ser considerada no cálculo de δ_i por contribuir no sentido desfavorável. Para a verificação do ELS-DEF de uma peça com seção T, M_r pode ser dado por

$$M_r = \frac{1,2 \cdot f_{ctm} \cdot I}{y_{cg}} \quad (17)$$

sendo a resistência do concreto à tração média (f_{ctm}) igual a $0,3 f_{ck}^{2/3}$, com f_{ck} em MPa.

Identificada a fissuração da seção, o momento de inércia deve ser calculado desconsiderando a parcela do concreto tracionado (Estádio II puro), o que

irá conferir ao elemento flechas mais acentuadas do que no cálculo elástico considerando a inércia da seção bruta (Estádio I). O momento de inércia no Estádio II puro (I_{II}) é obtido considerando a homogeneização da seção, (BEZERRA, 2017).

O momento de inércia no Estádio II de uma peça com seção T também irá depender se a posição da linha neutra nesse estágio (y_{II}) está contida na mesa ou na alma da seção. Tem-se

$$y_{II} = \frac{-a_2 + \sqrt{(a_2)^2 - (4 \cdot a_1 \cdot a_3)}}{2 \cdot a_1} \quad (18)$$

com

$$a_1 = \frac{bw}{2} \quad (19)$$

$$a_2 = h_f \cdot (b_f - b_w) + \eta \cdot A_s \quad (20)$$

$$a_3 = -d \cdot \eta \cdot A_s \cdot -\frac{h_f^2}{2} \cdot (b_f - b_w) \quad (21)$$

η (coeficiente de homogeneização da seção) obtido pela razão do módulo de elasticidade do aço ($E_s = 210$ GPa) pelo módulo de elasticidade do concreto (E_c).

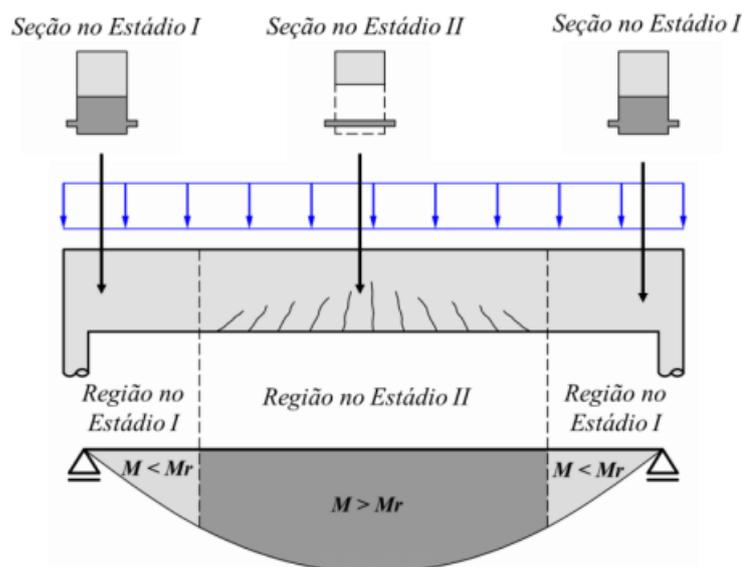
Se $y_{II} < h_f$, a linha neutra estará posicionada na mesa e

$$I_{II} = \frac{b_f \cdot y_{II}^3}{3} + \eta \cdot A_s (d - y_{II})^2 \quad (22)$$

Caso contrário, tem-se

$$I_{II} = \frac{(b_f - b_w) \cdot h_f^3}{12} + \frac{b_w \cdot y_{II}^3}{3} + (b_f - b_w) \cdot h_f \cdot \left(y_{II} - \frac{h_f}{2}\right)^2 + \eta \cdot A_s (d - y_{II})^2 \quad (23)$$

Figura 9 - Variação do momento ao longo da viga



Fonte: Bezerra (2017)

Segundo Bezerra (2017), como o momento fletor varia ao longo do vão, seções adjacentes à crítica podem estar íntegras (Figura 9), a peça terá alguns trechos no Estádio I e outros no Estádio II. Para considerar, de forma aproximada, essa variação do momento de inércia e estimar de forma mais realista as flechas imediatas, pode-se utilizar a inércia média (I_m), definida por

$$I_m = I \cdot \left(\frac{M_r}{M} \right) + I_{II} \cdot \left(1 - \left(\frac{M_r}{m} \right)^3 \right) \quad (24)$$

Para a flecha para combinação quase permanente (δ_{qp}) tem-se

$$\delta_{qp} = \delta_r \cdot \left(\frac{g + \Psi_2 \cdot q}{g + q} \right) \quad (25)$$

sendo Ψ_2 , para as situações usuais, igual a 0,3.

Uma forma de considerar o efeito da fissuração no cálculo da flecha imediata para uma combinação quase permanente ($\delta_{i,qp}$) sem a necessidade de realizar uma análise pelo modelo de grelha é considerar

$$\delta_{i,qp} = \delta_{qp} \cdot \left(\frac{I}{I_m} \right) \quad (26)$$

A flecha diferida pode ser estimada multiplicando δ_i pelo coeficiente de fluência (α_f). Poderá ser estimado, de acordo com a NBR 6118/2014, pela expressão

$$\alpha_f = \frac{\xi(t) - \xi(t_0)}{1 + 50\rho'} \quad (27)$$

sendo ρ' a taxa de armadura de compressão e ξ um coeficiente função do tempo, que recebe o valor 2 quando o tempo for superior a 70 meses ou o valor obtido pela Equação (26) quando for inferior a este tempo.

$$\xi(t) = 0,68 \cdot (0,996)^t \cdot t^{0,32} \text{ com } t \text{ em meses.} \quad (28)$$

t é o tempo em que se deseja o valor da flecha diferida e t_0 é a idade em que será feita a aplicação da carha de lonfa duração. Dessa maneira, a flecha total será

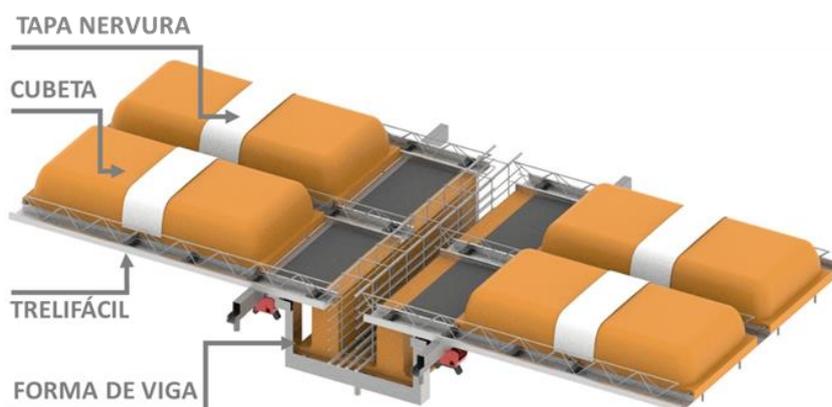
$$\delta = \delta_i \cdot (1 + \alpha_f) \quad (29)$$

2.2 Sistema Pavpré

O Sistema Pavpré foi desenvolvido com o objetivo de ganhar qualidade e rapidez na execução de lajes nervuradas treliçadas, modernizando esse processo. Essa solução une a facilidade de aplicação de um sistema denominado trelifácil com o uso de cubetas plásticas reutilizáveis, além de outros produtos que compõem o sistema como, fôrmas plásticas para vigas convencionais e placas plásticas planas para vigas faixas, em concreto armado ou protendido, proporcionando um sistema completo para execução de lajes e vigas.

Dias (2018) explica que o Pavpré se baseia em substituir os materiais de enchimento mais utilizados no mercado, como o EPS e as lajotas cerâmicas, por cubetas plásticas reutilizáveis gerando redução de gastos e aumento da produtividade Figura (10).

Figura 10 - Pavpré unidirecional com viga em concreto armado



Fonte: IMPACTO – Catálogo sistema Pavpré, (2017)

2.2.1 Trelifácil

A Trelifácil é um produto constituído por uma fôrma metálica, espaçadores plásticos e treliça (Figura 11). A fôrma é constituída de aço zincado, que confere maior resistência à oxidação e à corrosão, ARCELORMITTAL (2017). O sistema possui espaçadores plásticos dentro da fôrma, onde a armadura treliçada é posicionada. O conjunto também permite a colocação, caso necessário, de armadura adicional.

Figura 11 - Treliça de aço, espaçadores plásticos e fôrma de aço zincado

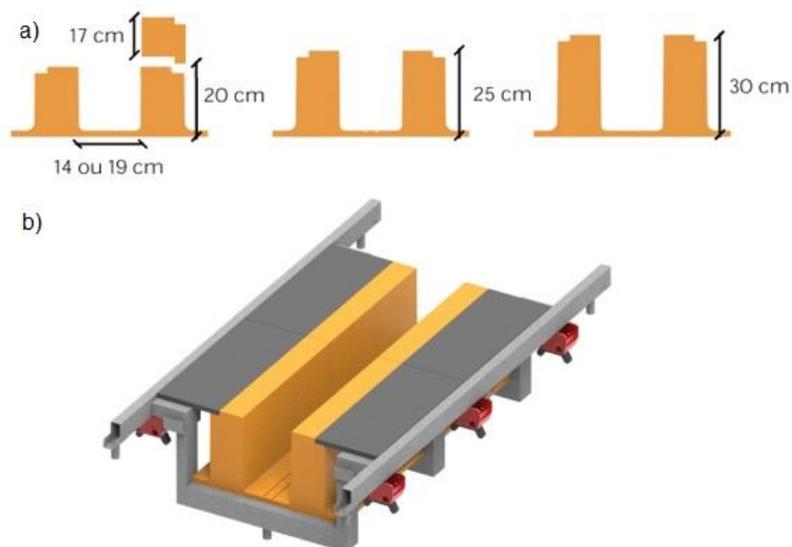


Fonte: ArcelorMittal

2.2.2 Fôrma plástica para viga.

Visando desenvolver um sistema completo, o Pavpré possui uma fôrma plástica reutilizável para viga. Segundo a Impacto (2017), a fôrma contempla as alturas de 20, 25 e 30 cm, podendo inserir um adicional de 17 cm que permite atender as dimensões de 37, 42 e 47 cm. Seu apoio é realizado por perfis metálicos que sustentam os módulos (Figura 12).

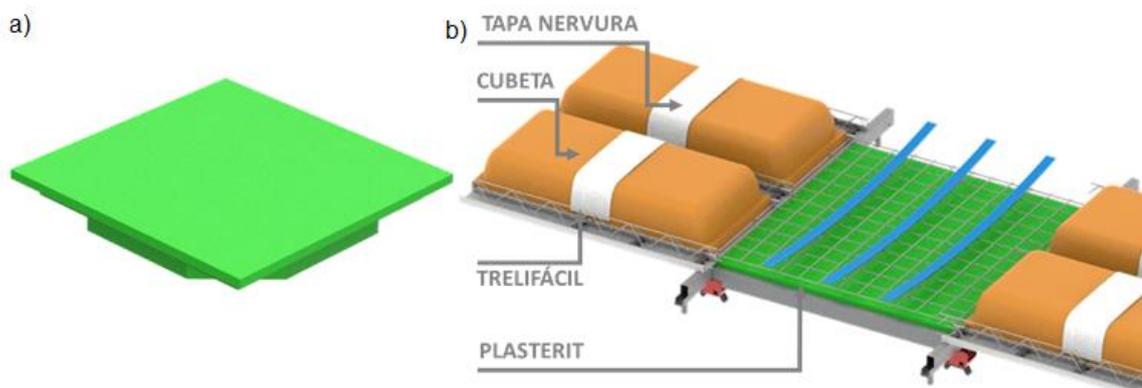
Figura 12 - a) Altura das fôrmas plásticas b) fôrma apoiada em perfiz metálicos



Fonte: Adaptado de IMPACTO – Catálogo sistema Pavpré, (2017)

Visando atender diversas soluções estruturais, o sistema conta também com placas plásticas planas para a execução de vigas faixas, conforme a Figura 13.

Figura 13 - a) Placa plástica plana b) Execução de viga faixa protendida

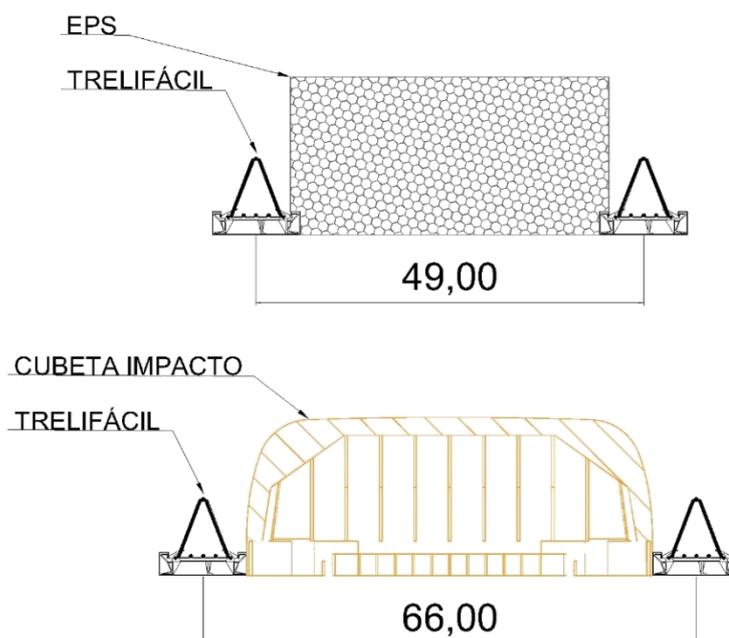


Fonte: Adaptado de IMPACTO – Catálogo sistema Pavpré, (2017)

2.2.3 Cubetas plásticas reutilizáveis

As cubetas plásticas reutilizáveis, um dos principais componentes do sistema Pavpré, foram desenvolvidas visando a substituição dos elementos de enchimentos convencionais em lajes treliçadas (Figura 14). É importante destacar que o sistema sugere a utilização das cubetas plásticas com a trelifácil, mas estas podem ser alugadas separadamente podendo ser utilizadas com vigotas treliçadas convencionais.

Figura 14 - Comparação entre enchimento de EPS com a Cubeta Plástica



Fonte: IMPACTO – Catálogo sistema Pavpré, (2017)

É importante destacar que devido ao maior espaçamento entre as nervuras é possível reduzir a quantidade de treliças na execução da laje, porém, segundo a NBR 6118:2014, para lajes com o intereixo (espaçamento entre os eixos das nervuras) menor ou igual a 65 cm, como é o caso dos enchimentos convencionais, pode-se dispensar a verificação da flexão da mesa e a verificação do cisalhamento da região das nervuras, no entanto para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras entre 65 cm e 110 cm (sistema Pavpré), exige-se a verificação da flexão da mesa e as nervuras devem ser verificadas ao cisalhamento como vigas.

As cubetas do sistema patenteado Pavpré possuem um dispositivo de travas embutidas (Figura 15) que permitem a desforma completa da laje, sem a perda de nenhum elemento, (IMPACTO, 2017).

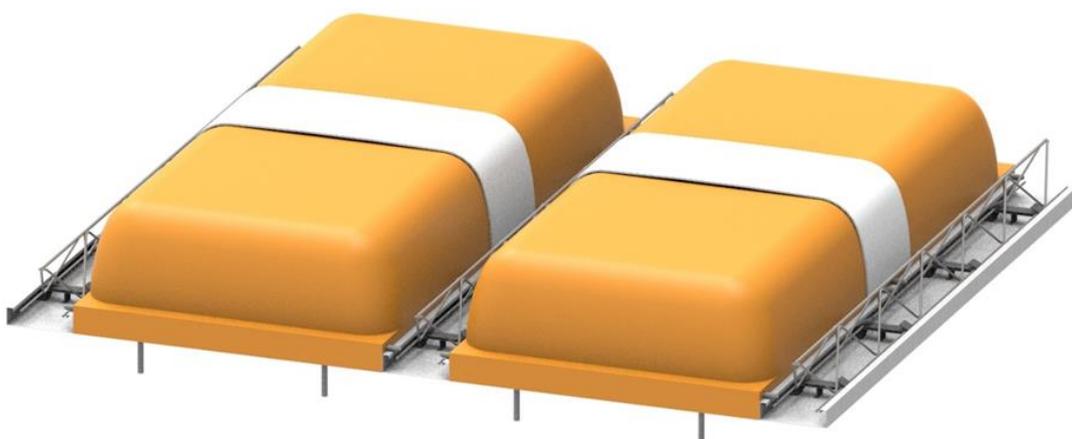
Figura 15 - Detalhamento das cubetas plásticas



Fonte: IMPACTO – Catálogo sistema Pavpré, (2017)

Elas também contam com um componente plástico que elimina as nervuras em uma direção, tornando a laje unidirecional, o tapa nervura (Figura 16)

Figura 16 - Cubetas plásticas com tapa nervura unidirecional



Fonte: Adaptado de IMPACTO – Catálogo sistema Pavpré, (2017)

2.3 Algoritmos

Para Edelweiss e Livi (2014) um algoritmo é definido como uma sequência finita de operações que, sendo executadas na ordem estabelecida, atingem um objetivo determinado em um tempo finito. Nada mais é do que um roteiro, um passo a passo, utilizado para a resolução de uma determinada tarefa ou problema. Pode-se afirmar que:

Algoritmos têm natureza teórica e correspondem a planejamentos estruturados de algo que se deseja realizar, como fazer uma viagem, preparar um prato especial, montar uma bicicleta ou solucionar as pendências de uma empresa. Para cumprir um algoritmo decisões precisam ser tomadas, ações precisam ser realizadas e recursos restritos precisam ser gerenciados. O processo de realização de um algoritmo é conhecido como execução do algoritmo. (PEREIRA; SOUZA; BEZERRA, 2015, p. 10).

Segundo Teixeira (2015), todo algoritmo computacional ou não, apresenta três características básicas: Parte de um ponto inicial e tem que chegar a um ponto final; não pode conter mais de um sentido (ser ambíguo) e tem que ter todas suas etapas alcançáveis em algum momento da sua execução. Além de definir algoritmos para realizar tarefas do dia a dia, pode-se também desenvolver algoritmos para serem transformados, total ou parcialmente, em programas e executados em computadores.

2.3.1 Representação dos Algoritmos

Teixeira (2015) explica que os algoritmos computacionais representam um roteiro de resolução de problemas independentemente da plataforma tecnológica. Para representar os roteiros a serem seguidos pelo computador na resolução de problemas foram inventadas diversas maneiras de representar os algoritmos, sendo os principais o pseudocódigo e o fluxograma.

2.3.1.1 Pseudocódigo

O pseudocódigo é uma representação de um algoritmo que se apresenta como um texto contendo diversas linhas de código (Figura 17). Uma mesma linha pode conter um ou mais comandos ou ainda estruturas de controle. Várias linhas de código podem estar encapsuladas por um conceito lógico denominado bloco. O código

de um bloco possui dessa forma início e fim e representa um sub-processo do processo geral de execução do algoritmo (PEREIRA; SOUZA; BEZERRA, 2015).

Figura 17 - Pseudocódigo – cálculo de IMC

```

declare
    peso, altura, imc: real
    escreva 'Fornecer peso e altura: '
    leia peso, altura
    imc ← peso /(altura*altura)
    se (imc<20) então
        escreva 'Você está magro!'
    senão
        se (imc>25) então
            escreva 'Você está gordo!'
        senão
            escreva 'Você está num bom peso!'

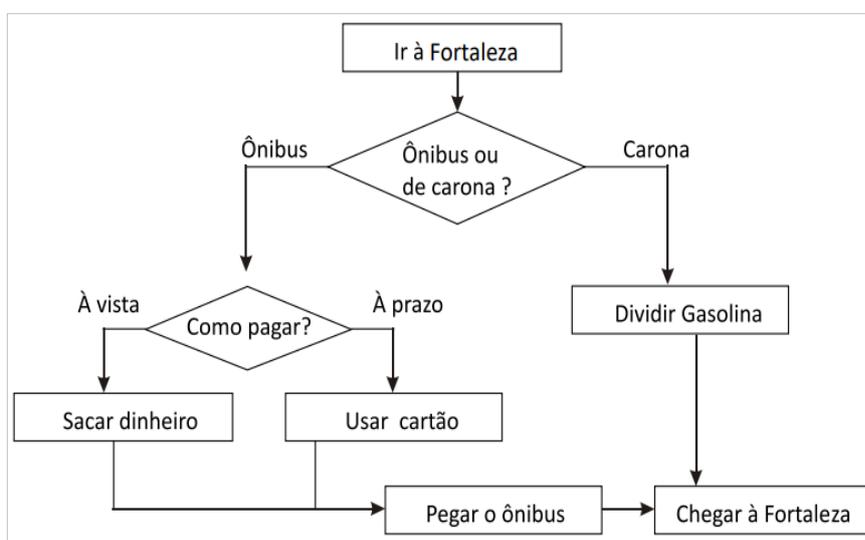
```

Fonte: PEREIRA; SOUZA; BEZERRA (2015)

2.3.1.2 Fluxograma

Um fluxograma é um dispositivo gráfico, usado para representar um caminho de execução ou a sequência de ações para executar uma tarefa, não se limitando apenas a representação de algoritmos, (TEIXEIRA, 2015). Cada etapa é representada por um elemento geométrico (retângulo, losango, círculo...) todos estes são conectados seguindo uma sequência lógica, como mostra a Figura 18.

Figura 18 - Fluxograma – viagem à Fortaleza



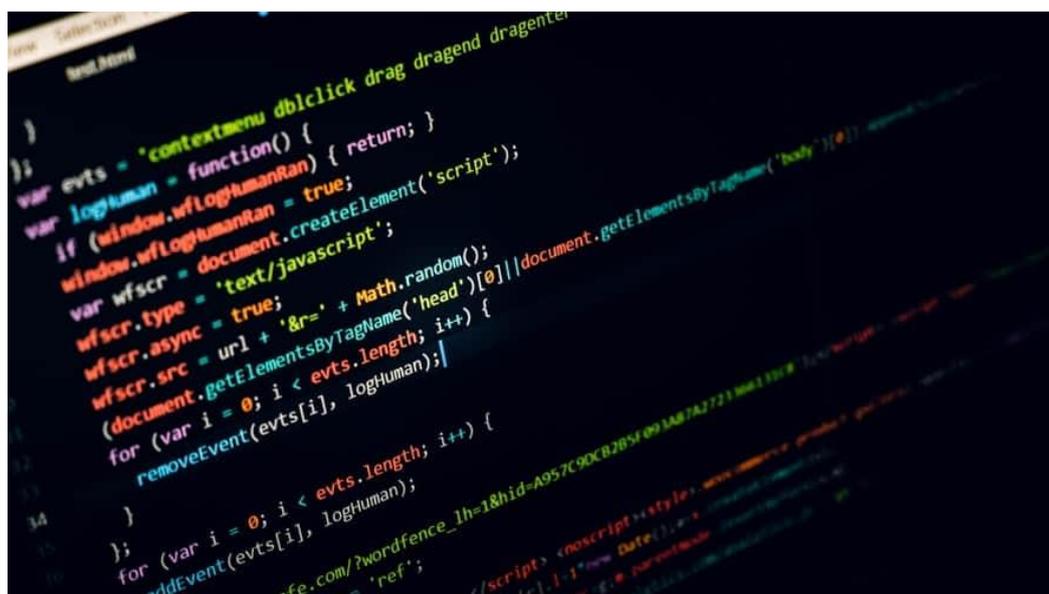
Fonte: PEREIRA; SOUZA; BEZERRA (2015)

2.4 Linguagem de Programação

Um algoritmo necessita ser transformado em um programa para que possa ser executado por um computador. Essa transformação consiste numa tradução do algoritmo para uma linguagem de programação. Uma linguagem de programação é uma linguagem escrita e formal que especifica um conjunto de instruções e regras usadas para gerar programas (PEREIRA; SOUZA; BEZERRA, 2015).

Segundo Teixeira (2015), linguagens de programação descrevem de maneira formal um algoritmo (Figura 19), sendo transformadas em ações no computador, por programas específicos. Existem várias linguagens de programação, cada uma com suas características próprias, como, por exemplo: Java, C, C++, Delphi, Python, entre outras. A linguagem Python será utilizada neste trabalho.

Figura 19 – Linhas de Código



Fonte: Rosa (2016)

Ao se construir uma ferramenta computacional, além da definição da linguagem, é necessário determinar qual programação será utilizada. Atualmente, os dois tipos mais usuais são a Programação Estruturada (PE) e a Programação Orientada a Objetos (POO). Cada uma tem suas especificidades e características que melhor se adequam a cada objetivo.

Santos (2013) explica que a programação estruturada é formada apenas por três estruturas, que são sequência, onde uma tarefa é executada logo após a outra; decisão, quando um teste lógico é executado ou não, e iteração que a partir do teste lógico algum trecho do código pode ser repetido finitas vezes. Nesse método os

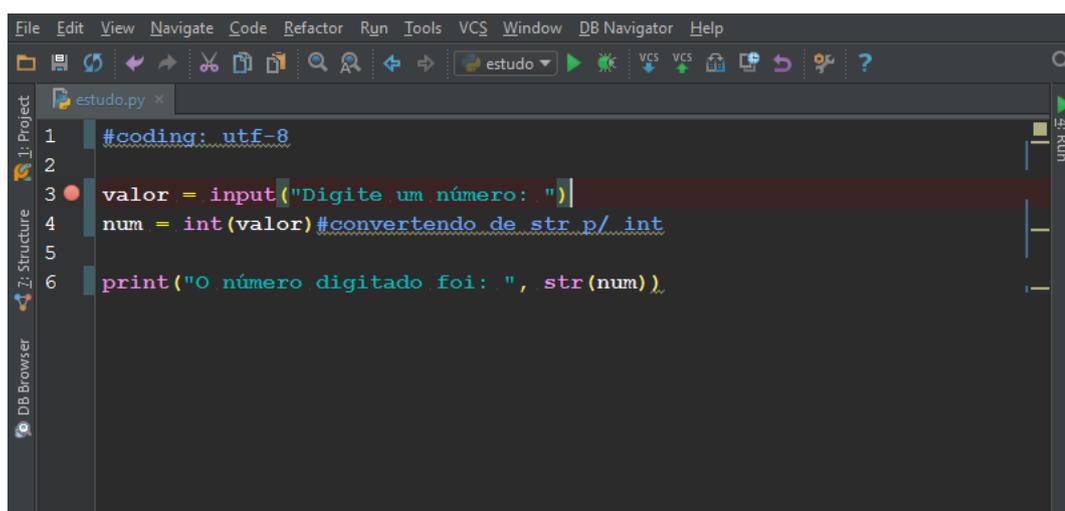
códigos ficam em um mesmo bloco, sendo mais difícil e demorado fazer uma alteração.

Já a Programação Orientada a Objetos (POO), para Gonçalves (2018), o principal objetivo da sua criação, baseou-se numa aproximação do mundo virtual com o mundo real. Como meio para se alcançar tal objetivo, longas linhas de códigos foram separadas e transformadas em vários objetos, possibilitando que o desenvolvedor possa pensar em um objeto por vez e posteriormente conectá-lo aos demais, ao invés de pensar em uma única lógica que envolvesse todo o código, a qual era utilizada anteriormente na programação estruturada..

2.4.1 Python

Python é uma linguagem de programação de computadores de alto nível que vem sendo desenvolvida, ampliada e utilizada desde sua criação (Figura 20). A comunidade mundial de colaboradores e usuários do Python é grande, dinâmica e bastante engajada possuindo um modelo de desenvolvimento aberto, comunitário e gerenciado pela Python Software Foundation (organização sem fins lucrativos) que, atualmente, é apoiada por grandes empresas como o Google, Microsoft e a Globo.com que também utiliza o Python nos seus sistemas (MARCONDES, 2018).

Figura 20 - Linguagem Python



```
File Edit View Navigate Code Refactor Run Tools VCS Window DB Navigator Help
estudo.py x
1 #coding: utf-8
2
3 valor = input("Digite um número: ")
4 num = int(valor)#convertendo de str p/ int
5
6 print("O número digitado foi: ", str(num)).
```

Fonte: Carvalho Filho (2016)

Banin (2018) explica que a linguagem Python foi criada entre o fim de 1889 e o início dos anos 1990 como projeto pessoal de Guido van Rossum, no Instituto Nacional de Pesquisa para Matemática e Ciência da Computação da Holanda (CWI),

e tinha originalmente foco em usuários como físicos e engenheiros. Até hoje Rossum continua liderando seu desenvolvimento, contando com a colaboração de muitos desenvolvedores ao redor do mundo, em uma contínua trajetória evolutiva.

Para Silva, S. e Silva, O. (2019), atualmente, o Python se encontra no cotidiano de muitos usuários, já que está presente em vários lugares como, por exemplo, nos buscadores do Google processando pesquisas, ou nas transmissões de vídeo do YouTube, e também nos algoritmos bem elaborados da Netflix. A linguagem também faz parte de diversas outras grandes empresas como Dropbox, Yahoo, Walt Disney Feature Animation, Pixar, NASA, entre outras.

Banin (2018) diz que o Python pode ser utilizado em diversas áreas do desenvolvimento de *software*, dentre estas estacam-se: ferramentas para administração e interface com sistemas operacionais; aplicações que trabalhem com grandes volume de dados armazenados em sistemas gerenciadores de bancos de dados, desenvolvimento de jogos digitais, desenvolvimento de *software* para engenharia, entre outros.

2.5 GUI (*Graphical User Interface*)

Damiani (2016), explica que a GUI (*Graphical User Interface*) ou interface gráfica do usuário é um elemento que fornece feedback e opções de interação adicionais ao usuário, como menu de configurações ou uma opção para iniciar um processo em um programa. Para Serson (2007). Ao disponibilizar aos programas componentes sejam consistentes e intuitivos possibilita, de certo modo, que ele se familiarize com uma aplicação, possibilitando compreendê-la mais rapidamente e utilizá-la com mais produtividade.

No processo de desenvolvimento de software aplicativo, a construção de interfaces gráfica é uma etapa comumente presente. Através do uso de componentes gráficos, os desenvolvedores de ferramentas computacionais procuram criar interfaces que tornam o uso do seu produto uma tarefa simples e intuitiva (ZIMERMAN, 2011).

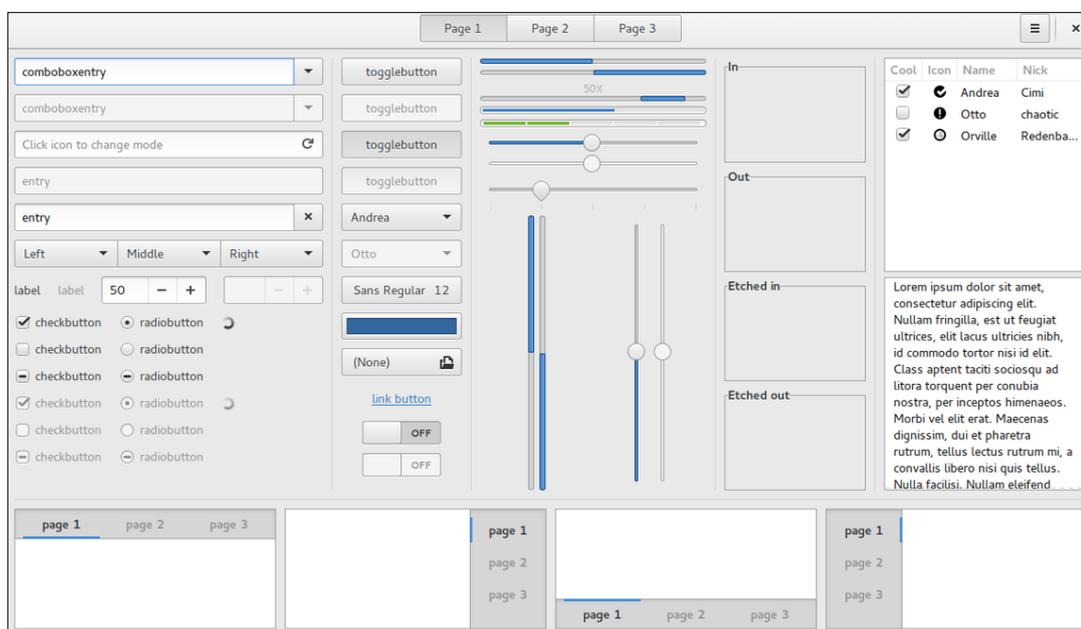
Ainda segundo Zimerman (2011), auxiliando os criadores de *softwares*, têm-se as bibliotecas para criação de interfaces gráficas do usuário. Estas bibliotecas fornecem aos seus utilizadores um conjunto de componentes gráficos e funções. Pode-se citar como exemplo as bibliotecas Qt3 e GTK+, ambas multiplataformas que

são utilizadas no desenvolvimento dos ambientes de desktop, esta última sendo utilizada neste trabalho

2.5.1 GTK+

Harlow (1999) descreve a GTK+ como uma biblioteca para desenvolvimento de aplicações com interface gráfica do usuário. Apesar se ter sido originada no sistema operacional Linux, a biblioteca tem sido expandida para suportar outros sistemas operacionais, tais como: Microsoft Windows, BeOS, Solaris, Mac OS X e outros (KRAUSE, 2007).

Figura 21 - Recursos Gráficos Disponíveis no GTK+



Fonte: gtk.org

A GTK+ oferece ao desenvolvedor um conjunto completo de funcionalidades para criação de interfaces gráficas (Figura 21), realizar esta tarefa manualmente (escrevendo as instruções para criação da interface gráfica com todos os seus componentes, incluindo seu comportamento e disposição na tela) é um processo longo e desgastante, e muitas vezes o resultado é longe do esperado (ZIMERMAN, 2011). Por esse motivo houve a necessidade de criar uma ferramenta para auxiliar a criação de interfaces gráficas para a biblioteca GTK+, o Glade.

3 METODOLOGIA

Abaixo estão descritos os procedimentos adotados para a realização deste trabalho.

3.1 Classificação da Pesquisa

O procedimento metodológico realizado nesse trabalho consiste em uma revisão bibliográfica em livros, artigos, dissertações e normas nacionais que tratam desse tema. Em seguida, quanto aos objetivos, realizou-se uma pesquisa exploratória levantando as definições, especificações e características das lajes treliçadas convencionais e das lajes que utilizam o sistema Pavpré com intuito de proporcionar maior familiaridade com este assunto.

Após conhecer as características desses tipos de lajes, utilizando uma abordagem quali-quantitativa estudou-se as etapas do seu dimensionamento, que consistem na determinação dos efeitos das ações na estrutura, efetuando as verificações de estados-limites último e de serviço. Quanto a natureza, o presente trabalho, pode ser classificado como uma pesquisa aplicada.

3.2 Etapas de Desenvolvimento

Com o roteiro de cálculo definido, o desenvolvimento da ferramenta foi dividido em duas etapas, sendo que na primeira etapa desenvolveu-se os algoritmos para execução das rotinas computacionais e na segunda etapa desenvolveu-se todas as telas, construindo interfaces simples e intuitivas para o usuário. A interface gráfica, cuja principal funcionalidade é permitir a fácil interação com o *software* recebendo as informações providas pelo usuário e exibindo os resultados, foi construída utilizando o GTK+ o qual é usado em um grande número de aplicações possuindo diversos componentes gráficos e também foi utilizado o Glade, que é um construtor de interfaces gráficas do GTK. Além do desempenho dessas duas ferramentas ser excelente, estas não apresentam problemas de incompatibilidade com o Python que foi utilizado para o processamento de dados da ferramenta.

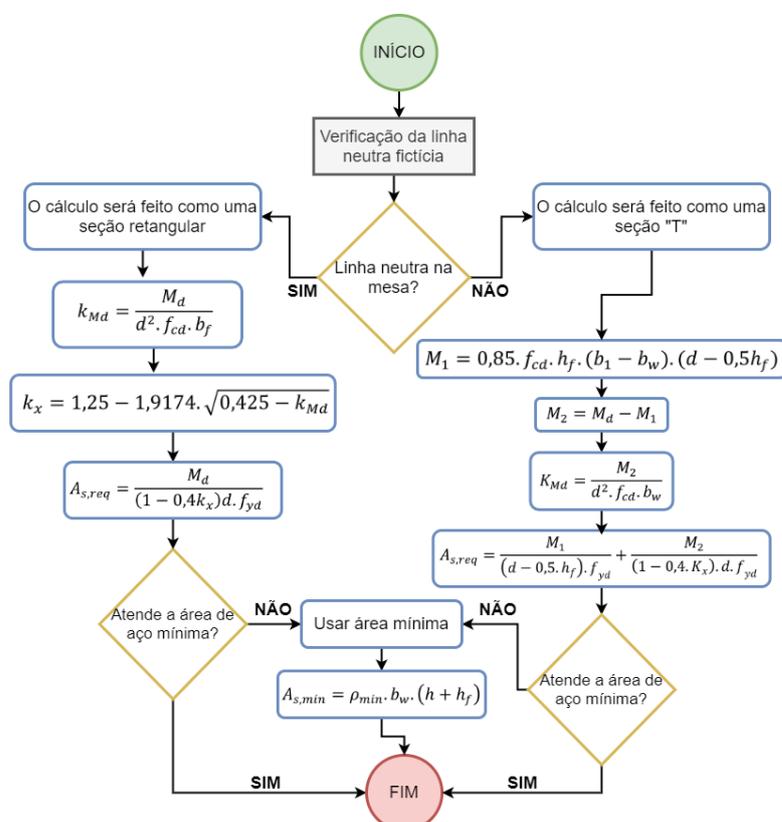
A ferramenta computacional tem como principal funcionalidade o cálculo da armadura necessária para resistir a um momento fletor solicitante. Para realizar o dimensionamento é necessário inserir alguns dados iniciais, estes são divididos em três seções: parâmetros gerais, dados do elemento de enchimento e dados da vigota

treliçada. Em cada campo de preenchimento é disponibilizado um botão de ajuda, que descreve cada parâmetro que precisa ser inserido e, caso necessário, as recomendações presentes na norma.

Na seção Parâmetros Gerais é solicitado as dimensões da laje, a especificação do concreto e aço utilizados além das solicitações que a laje está sujeita. Na seção de Enchimentos constam valores pré-definidos altura, largura, comprimento para cada tipo de enchimento podendo estes serem alterados quando for necessário. Por fim, na seção da Vigota Treliçada o usuário informa o tipo de treliça utilizada, dimensões da base da vigota, classe de resistência, cobrimento e capa do concreto.

Antes de realizar o cálculo, a partir das informações fornecidas, a ferramenta avalia se todos os campos estão devidamente preenchidos. Se algum campo estiver em branco ou preenchido de forma inadequada, uma mensagem de erro é mostrada na tela. O dimensionamento é feito no estado-limite último de ruína, onde a armadura longitudinal da nervura é calculada na seção mais solicitada à flexão, como é mostrado na Figura 23.

Figura 23 - Fluxograma para dimensionamento da armadura longitudinal

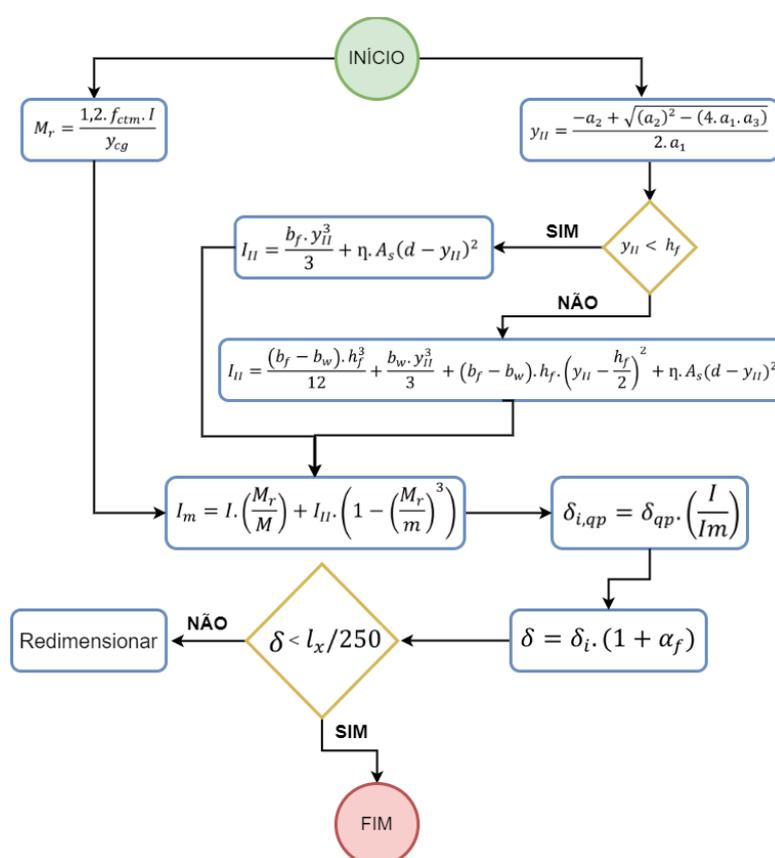


Fonte: Elaborado pelo autor

A área de aço requerida na seção é calculada, possibilitando que a seção seja capaz de resistir às solicitações atuantes mais desfavoráveis, e verificada se esta atende aos valores máximos e mínimos estabelecidos pela NBR 6118:2014.

Determinada a área de aço e com base na treliça utilizada na montagem da laje, a ferramenta calcula a taxa e armadura que deverá ser adicionada, caso necessário. Após a definição da armadura será calculado os valores referentes aos limites de deformação (Figura 24), informando ao usuário caso estes não atendam aos limites da norma NBR 6118:2014.

Figura 24 - Fluxograma para verificação da flecha



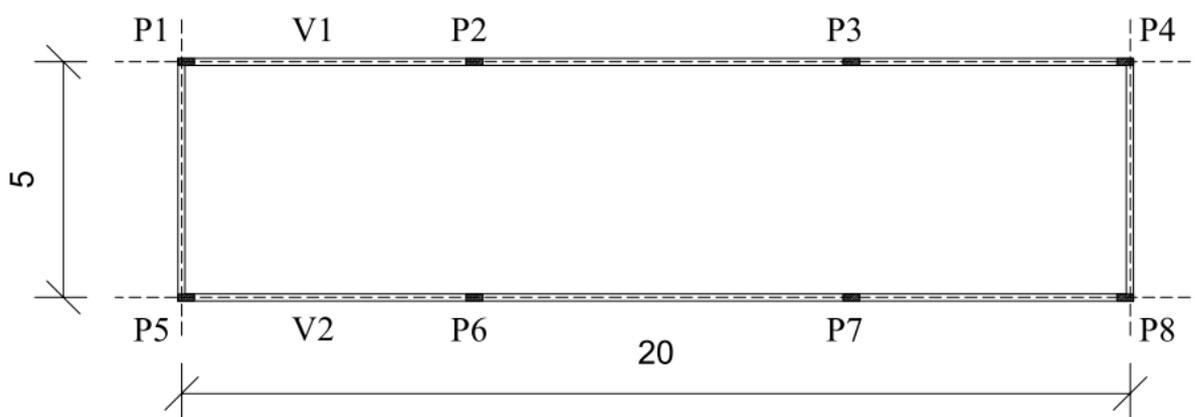
Fonte: Elaborado pelo autor

Além dos procedimentos apresentados nas Figuras 20 e 21, o programa também realizará as verificações relacionadas à resistência da biela de compressão, a necessidade de acréscimo de armadura transversal. Os resultados fornecidos pela ferramenta serão exibidos em uma interface que apresentará um PDF com os resultados dos cálculos realizados.

3.3 Validação da Ferramenta

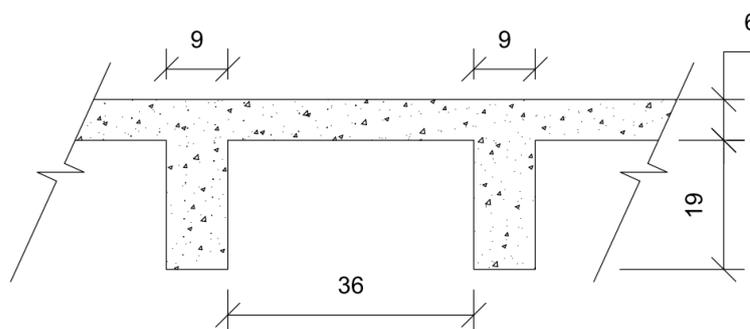
Com intuito de validar a ferramenta e mostrar sua eficácia no dimensionamento de lajes nervurada unidirecionais, será resolvido um exemplo, adaptado, proposto por CARVALHO E PINHEIRO (2009) e em seguida comparado a solução proposta por estes com as soluções encontradas pela ferramenta e pelo *software* comercial, amplamente utilizado no dimensionamento de estruturas de concreto, Eberick. As Figuras 25 e 26 mostram a geometria da laje proposta, esta é composta por blocos de enchimentos cerâmicos H19 / 36 / 30 com peso específico de 13kN/m^3 , as vigotas treliçadas simplesmente apoiadas estão dispostas paralelas ao menor vão (5 m), considera-se a agressividade do ambiente fraca, a carga do revestimento, contrapiso e piso é igual a $1,0\text{ kN/m}^2$ e a carga acidental é de 3 kN/m^2 . O aço utilizado é o CA-50, concreto com $f_{ck} = 20\text{ Mpa}$ e um cobrimento das armaduras de 2,0 cm.

Figura 25 - Exemplo de laje unidirecional



Fonte: Adaptado pelo autor

Figura 26 - Seção transversal



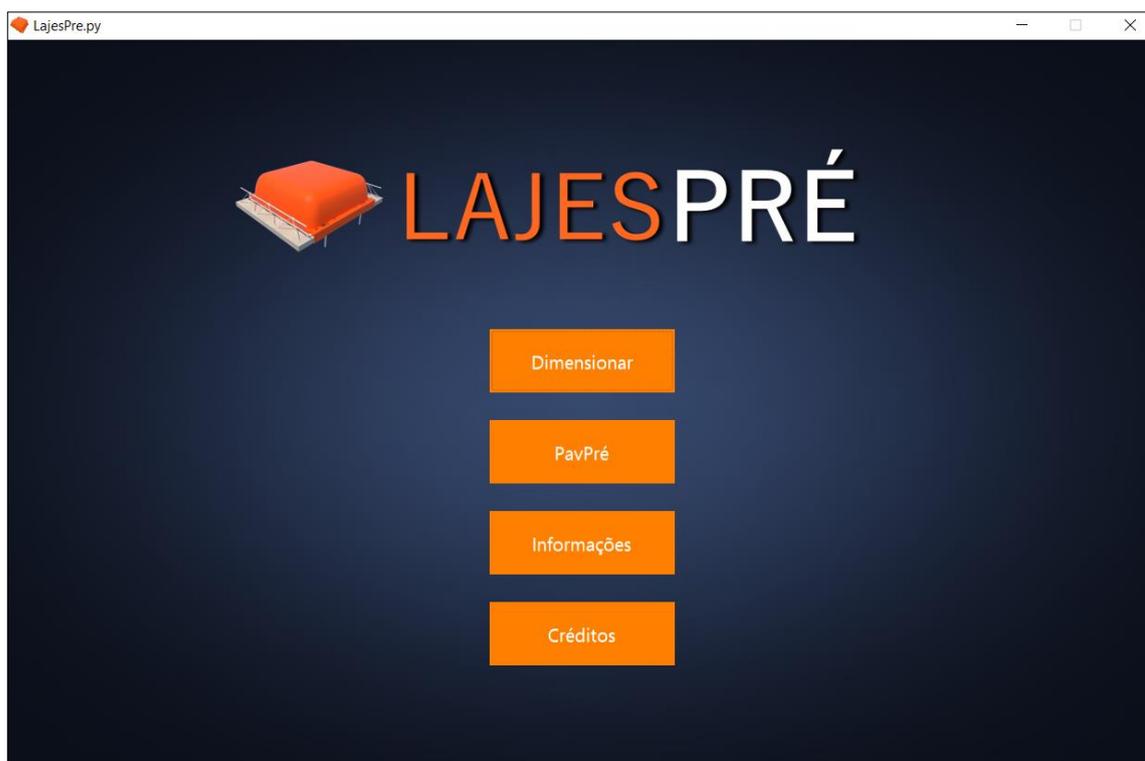
Fonte: Adaptado pelo autor

4 RESULTADOS E DISCURSSÕES

4.1 Apresentação da Ferramenta

A ferramenta computacional LajesPré é fornecida através de um instalador desenvolvido para ser executado em um ambiente com sistema operacional Windows. Após a instalação e execução da ferramenta, na interface inicial, mostrada na Figura 27, é possível visualizar o nome do programa (LajesPré) e, logo abaixo deste, são dispostos quatro botões: o primeiro (DIMENSIONAMENTO) leva o usuário para uma tela em que poderá escolher o tipo de elemento que enchimento que será utilizado em seu projeto; o segundo botão (PAVPRÉ) dá acesso a uma pequena janela com informações sobre o sistema Pavpré, o terceiro (INFORMAÇÕES) apresenta ao usuário informações sobre a ferramenta e, por último, o quarto botão (CRÉDITOS) informa os nomes dos desenvolvedores da ferramenta.

Figura 27 - Janela inicial da ferramenta



Fonte: Elaborada pelo autor

A Figura 28 mostra a janela dos elementos de enchimentos, clicando nas imagens referentes a cada enchimento o usuário será levado para a janela principal de dimensionamento.

Figura 28 - Janela dos elementos de enchimentos



Fonte: Elaborada pelo autor

Na janela principal de dimensionamento (Figura 29), a princípio, o usuário deverá fornecer as dimensões da laje, especificação dos materiais utilizados, cargas atuantes, capa de concreto e dados relativos a dimensões dos componentes (elementos de enchimentos e vigotas treliçadas). É importante frisar que o programa contém uma série de dimensões de elementos que enchimentos já criados e caso nenhum destes atenda a necessidade do usuário é possível modificá-los criando novos padrões de enchimentos.

É possível escolher também a da classe de agressividade do ambiente, e assim a ferramenta irá sugerir um valor para o cobrimento mínimo recomendado pela norma. Ao clicar em DIMENSIONAR a ferramenta avalia se todas as informações inseridas atendem as prescrições da norma além de verificar se algum dado foi inserido incorretamente, caso haja alguma incoerência, a ferramenta irá alertar ao usuário do erro e se necessário solicitará que este seja revisado (Figura 30).

Figura 29 - Janela principal da ferramenta

The screenshot shows the main configuration window of the LajesPre.py software. The window title is 'LajesPre.py'. The main heading is 'Parâmetros Gerais' (General Parameters) for a 'Vigota Biapoiada' (Bipartite Slab). The interface is divided into several sections:

- Materials (Materiais):** Concrete (fck) is set to 20, and Additional Steel (Aço Adicional) is set to CA 50.
- Loads (Cargas):** Revestimento (kgf/m²) is 100, Acidental (kgf/m²) is 300, and ψ_2 is 0.3.
- Dimensions:** Comprimento - Opcional (cm) is 0, and Vão Efetivo (cm) is 500.
- Enchimento (Filling):** Shows a 3D model of a concrete block with dimensions: hb = 19, be = 36, ah = 1.5, av = 3.0, and ce = 19. The selected block is 'H19 / 36 / 19'.
- Treliça (Reinforcement):** Shows a 3D model of a reinforcement mesh with dimensions: hv = 3, bv = 12, and hv = 3. The selected mesh is 'TR 8644'.
- Other Parameters:** Classe de Agressividade is 'I - Fraca', Cobrimento (cm) is 2, Dias de escoramento is 7.5, and Capa de concreto is 6.

Buttons for 'Voltar' (Back) and 'Dimensionar' (Calculate) are visible at the bottom.

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 30 - Mensagem de erro

The screenshot shows the same software interface as Figure 29, but with an error message dialog box overlaid. The dialog box is titled 'Aviso!' (Warning!) and contains the text 'Caro Usuário' (Dear User) and 'Preencha todos os campos!' (Fill in all fields!). The dialog box has an 'OK' button. The background interface is partially obscured by the dialog box, but the 'Enchimento' and 'Treliça' sections are still visible.

Fonte: Elaborado pelo autor

Estando todos os dados preenchidos corretamente, o usuário será direcionado para tela de Resultados (Figura 31) a qual constará informações relacionadas ao dimensionamento.

Figura 31 - Janela com resultados do dimensionamento

Resultado Simplificado de Cálculo

Parâmetros Gerais

Nome da Laje:	Laje 1	fck (MPa):	20
Vão Efetivo (cm):	500.00	Aço Adicional:	CA 50
Comprimento do Vão (cm):	0.00	Dias de Escoramento:	7.5

Cargas

Peso Próprio Calculado (kgf/m ²):	445.00
Carga de Revestimento (kgf/m ²):	100
Carga adicional (kgf/m ²):	300.00
Carga Total (kgf/m ²):	845.00
Momento - Md (kgf.m/m):	3696.88

Enchimento e Aço

Enchimento Escolhido:	Lajota Cerâmica -> H19/36/19
Treliça Escolhida:	TR 8644
Área de Aço mínima (cm ² /nervura):	0.59
Área de Aço Total (cm ² /nervura):	1.73
Área de Aço Adicional (cm ² /nervura):	1.45
Diâmetro do Aço Adicional:	...
Quantidade de barras p/nervura:	...
Armadura transversal:	Redimensionar
Esmagamento das bielas comprimidas?	Não

Quantitativo Aproximado

Concreto (m ³):	Necessita do comprimeto!
Bloco de Enchimento (un):	Necessita do comprimeto!
Vigota Treliçada (un):	Necessita do comprimeto!

Deformação

Flecha imediata (cm):	-	Flecha Limite para Carga Total - L/250 (cm):	-
Flecha Diferida no Tempo (cm):	-	Contra Flecha Sugerida (cm):	-
Flecha Total (cm):	-		

Voltar Salvar PDF

Fonte: Elaborada pelo autor

Após a escolha do diâmetro do aço adicional (Figura 32), é calculado as deformações, como mostrado na Figura 33.

Figura 32 - Seleção da bitola adicional

Momento - Md (kgf.m/m): 3696.88

Área de Aço Adicional (cm²/nervura): 1.45

Diâmetro do Aço Adicional: Ø 8

Quantidade de barras p/nervura: 1

Armadura transversal: Redimensionar

Esmagamento das bielas comprimidas? Não

Quantitativo Aproximado

Concreto (m ³):	Necessita do comprimeto!
Bloco de Enchimento (un):	Necessita do comprimeto!
Vigota Treliçada (un):	Necessita do comprimeto!

Deformação

Flecha imediata (cm):	-	Flecha Limite para Carga Total - L/250 (cm):	-
Flecha Diferida no Tempo (cm):	-	Contra Flecha Sugerida (cm):	-
Flecha Total (cm):	-		

Voltar Salvar PDF

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 33 - Cálculo das deformações

Resultado Simplificado de Cálculo

Parâmetros Gerais

Nome da Laje: Laje 1 f_{ck} (MPa): 20
Vão Efetivo (cm): 500 Aço Adicional: CA 50
Comprimento do Vão (cm): 0 Dias de Escoramento: 7.5

Cargas

Peso Próprio Calculado (kgf/m^2): 445.00
Carga de Revestimento (kgf/m^2): 100
Carga adicional (kgf/m^2): 300.00
Carga Total (kgf/m^2): 845.00
Momento - Md ($kgf.m/m$): 3696.88

Enchimento e Aço

Enchimento Escolhido: Lajota Cerâmica -> H19/36/19
Trelça Escolhida: TR 8644
Área de Aço mínima ($cm^2/nervura$): 0.59
Área de Aço Total ($cm^2/nervura$): 1.73
Área de Aço Adicional ($cm^2/nervura$): 1.45
Diâmetro do Aço Adicional: Ø 8
Quantidade de barras p/nervura: 3.00
Armadura transversal: Redimensionar
Esmagamento das bielas comprimidas? Não

Quantitativo Aproximado

Concreto (m^3): 0.00
Bloco de Enchimento (un): 0.00
Vigota Trelçada (un): 0.00

Deformação

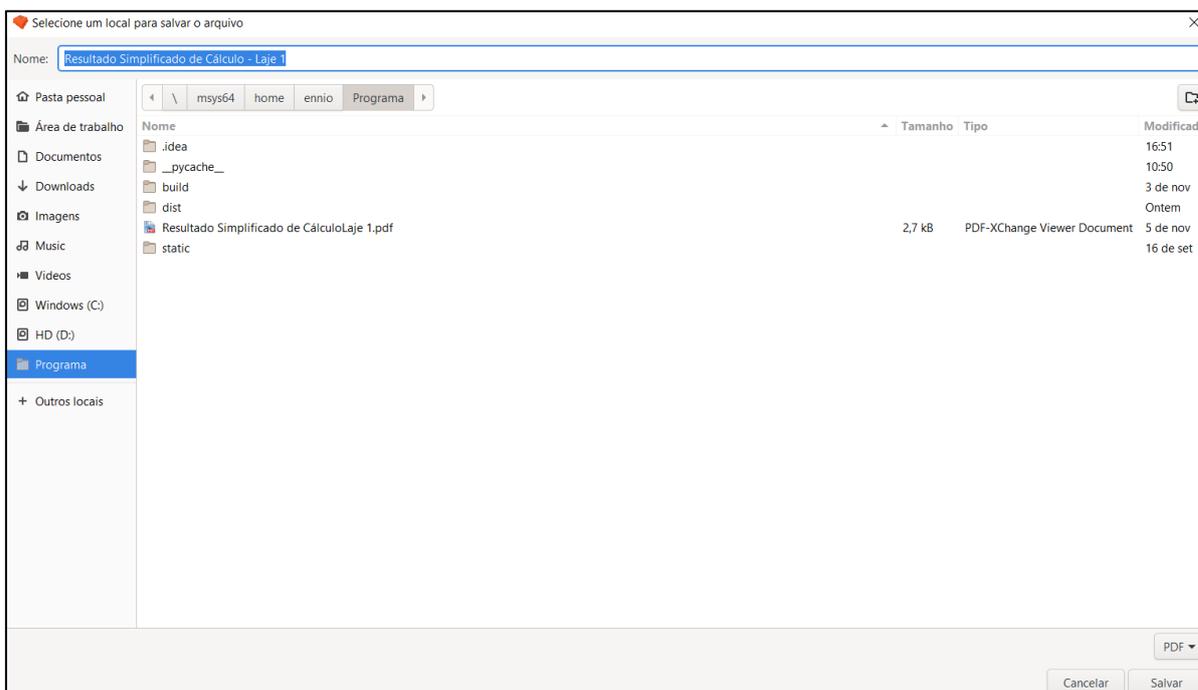
Flecha imediata (cm): 1.35 Flecha Limite para Carga Total - L/250 (cm): 2.00
Flecha Diferida no Tempo (cm): 2.12 Contra Flecha Sugerida (cm): Limite atingido (L/350)
Flecha Total (cm): 3.47

Voltar Salvar PDF

Fonte: Elaborado pelo autor

Clicando no botão “Salvar PDF” é aberta uma janela (Figura 34) em que se deve indicar uma pasta para salvar o Resultado Simplificado de Cálculo (Figura 35).

Figura 34 - Escolha de local para salvar arquivo



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 35 - Resultado simplificado de cálculo

Resultado Simplificado de Cálculo	
Parâmetros Gerais	
Nome da Laje: Laje 1	fck (MPa): 20
Vão Efetivo (cm): 500	Aço Adicional: CA 50
Comprimento do Vão (cm): 0	Dias de Escoramento: 7.5
Cargas	Enchimento e Aço
Peso Próprio (kgf/m²): 445.00	Enchimento Escolhido: H 19/36/19
Revestimento (kgf/m²): 100	Treliça Escolhida: TR 8644
Adicional (kgf/m²): 300.00	Area de aço mínima (cm²/N): 0.59
Carga Total (kgf/m²): 845.00	Área de Aço Total (cm²/N): 1.73
Momento - Md (kgf.m/m): 3696.88	Área de Aço Adicional (cm²/N): 1.45
Quantitativo Aproximado	Diâmetro de Aço Adicional: Ø 8
Concreto (m³): 0.00	Quantidade de barras p/ nerv.: 3.00
Bloco de Enchimento (un): 0.00	Armadura Transversal: Redimensionar
Vigota Treliçada (un): 0.00	Esmagamento das bielas? Não
Deformação	
Flecha Imediata (cm): 1.35	Flecha Limite - L/250 (cm): 2.00
Flecha Diferida no Tempo (cm): 2.12	Contra Flecha (cm): Limite atingido (L/350)
Flecha Total (cm): 3.47	

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 Aplicação Numérica

Utilizando-se do exemplo de CARVALHO E PINHEIRO (2009), foram comparados os resultados destes com os obtidos pelo *software* Eberick e os resultados calculados com a ferramenta computacional LajesPré. A comparação dos resultados é demonstrada na Tabela 1, abaixo.

Tabela 1 - Resultados dos cálculos realizados

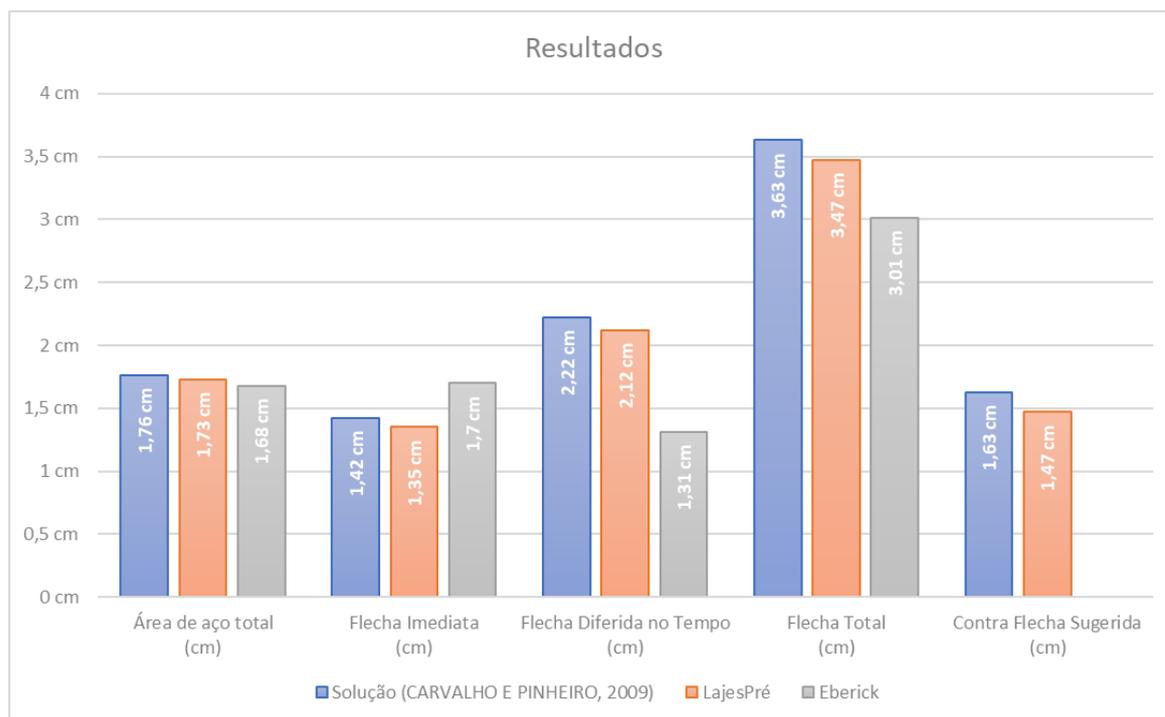
Resultados	Área de aço total (cm)	Armadura adicional (φ)	Flecha Imediata (cm)	Flecha Diferida no Tempo (cm)	Flecha Total (cm)	Contra Flecha Sugerida (cm)	Armadura Transversal	Esmagamento de Bielias Comprimidas
Solução (CARVALHO E PINHEIRO, 2009)	1,76	1 φ 8,0 mm 1 φ 12,5 mm	1,42	2,22	3,63	1,63	Necessária	Não
Eberick	1,68	3 φ 8,0 mm	1,7	1,31	3,01	-	-	-
LajesPré	1,73	3 φ 8,0 mm	1,35	2,12	3,47	1,47	Necessária	Não

Fonte: Elaborada pelo autor

Analisando a tabela apresentada, nota-se que a diferença entre a solução proposta por CARVALHO E PINHEIRO (2009) e a ferramenta LajesPré é mínima, visto que a solução proposta pela bibliografia apresenta o mesmo método de dimensionamento da ferramenta computacional, essas pequenas divergências ocorrem que por conta dos arredondamentos feitos pelos autores. A maior divergência ocorre entre os resultados obtidos por estes e o Eberick, o que já era esperado, visto que o método de cálculo adotado pelo *software* é diferente do adotado no desenvolvimento da ferramenta.

No entanto ressalta-se que apesar da divergência os resultados obtidos a ferramenta LajesPré mostram-se mais conservadores (Gráfico 1), em relação ao Eberick, proporcionando maior segurança. Com isto, considerando os resultados apresentados e a facilidade no uso da ferramenta produzida, esta mostra-se com potencial para ser utilizada tanto no âmbito profissional quanto acadêmico considerando-se validada.

Gráfico 1 - Comparação de resultados



Fonte: Elaborado pelo autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de *softwares* tornou-se uma importante ferramenta para o desenvolvimento de diversas atividades em diferentes áreas do conhecimento. Com isso, desenvolveu-se neste trabalho uma importante ferramenta destinada a auxiliar engenheiros civis, arquitetos e estudantes no dimensionamento de lajes nervuradas unidirecionais de vigotas treliçadas com diferentes tipos de enchimentos.

A ferramenta desenvolvida apresenta uma interface intuitiva, de fácil utilização, permitindo reduzir o tempo e a chance de erros que poderiam ocorrer realizando cálculos manuais. A partir da inserção dos dados na tela principal de dimensionamento da ferramenta, os resultados são fornecidos rapidamente e de forma clara, possibilitando também a consulta a um relatório simplificados com os resultados em formato PDF.

A partir do exemplo estudado e através dos resultados encontrados neste trabalho é possível concluir que o presente trabalho alcançou seus objetivos propostos apresentando uma ferramenta computacional satisfatória e eficiente no dimensionamento de lajes, com resultados condizentes aos apresentados pela bibliografia e por *software* estrutural comercial.

Durante o desenvolvimento do presente trabalho, observou-se a possibilidade, para trabalhos futuros, de ampliação e melhoria da programação com a inclusão, no código, de uma opção para cálculo de armaduras negativas no caso de vigotas engastadas e a possibilidade de adicionar cargas de parede.

Além disso, pode ser desenvolvido ações com memoriais de cálculo mais refinados e incluir também um detalhamento das armaduras. Sugere-se também a adição de novas entradas para que o usuário tenha mais controle das considerações realizadas na ferramenta.

Por fim, destaca-se a necessidade de ferramentas simples e eficientes (como a desenvolvida neste trabalho) para auxiliar profissionais que buscam resultados eficientes em seus projetos e estudantes que buscam uma melhor compreensão de análise do comportamento de elementos estruturais.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Norma Técnicas. **NBR 14859-1: Lajes pré-fabricadas – Requisitos, Parte 1: Lajes unidirecionais**. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT – Associação Brasileira de Norma Técnicas. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ARCELORMITTAL - **Trelifácil®: muito mais facilidade para construir lajes**. 2017. Disponível em: < <http://blog.arcelormittal.com.br/trelifacil-muito-mais-facilidade-para-construir-lajes/> Acesso em: 29 mar. 2020.

ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado**. 3. ed. v. 4. Rio Grande: Dunas, 2014.

BANIN, Sérgio Luiz. **Python 3: conceitos e aplicações uma abordagem didática**. São Paulo: Saraiva, 2018.

BASTOS, P. S. S. **Lajes de Concreto**. Notas de Aula da disciplina de Estruturas de Concreto I. Bauru: Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, UNESP, 2015.

BEZERRA, E. M. F. **Otimização multiobjetivo de lajes nervuradas em concreto armado**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

BRAGA, Carlos; FABBRO, Thainá dal; REAIS, Elton Aparecido Prado dos. **Cerâmica Vermelha: definição e aplicação**. Definição e aplicação. São Paulo: Toledo, 2016.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 5. ed. São Carlos: Edufscar, 2014.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: volume 2**. São Paulo: Pini, 2009.

CARVALHO FILHO, Cláudio Rogério. **Curso de Python: Depurando código python**. 2016. Disponível em: <http://excript.com/python/depuracao-pycharm-python.html>. Acesso em: 01 maio 2020.

CLÍMACO, J. C. T. S. **Estruturas de Concreto Armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação**. 3. ed. Brasília: Campus, 2016.

CRUZ, Kleyton Lisboa da. **Estudo comparativo de dimensionamento e custos entre projetos estruturais com utilização de laje pré-moldadas com bloco cerâmico e EPS como elementos de enchimento**. São Luís: Ipog, 2018. Disponível em: <https://assets.ipog.edu.br/wp-content/uploads/2019/12/07015622/kleyton-lisboa-da-cruz-1913111215.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2020.

CUNHA, Mateus Ortigosa. **Recomendações para projeto de lajes formadas por vigotas com armação treliçada**. 2012. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos - Usp, São Paulo, 2012

DAMIANI, Edgard B. **Crie Seu Próprio Game Engine: Programação de jogos android**. São Paulo: Novatec, 2016

DIAS, Marianne Medeiros. **Estudo comparativo de produtividade entre lajes treliçadas com enchimento e com cubeta plástica**. 2019. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Christus, Fortaleza, 2019.

EL DEBS, Mounir Khalil. **Concreto Pré-moldado: fundamentos e aplicações**. Fundamentos e aplicações. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.
GONÇALVES, Matheus Vieira. Programação Orientada a Objetos. **Revista Ada Lovelace**, Anápolis, v. 2, n. 2, p. 106-110, jan. 2018.

GTK. **Create apps that users just love**, 2021. Disponível em:
< <https://www.gtk.org/>>. Acesso em: 18 jan. 2021.

HARLOW, Eric. **Developing Linux applications with GTK+ and GDK**. Indianapolis: New Riders, 1999.

IMPACTO – **Catálogo de fôrmas**. Fortaleza – CE, 2017. Disponível em:
<<http://impactoprotensao.com.br/servicos/formas/>>. Acesso em: 29 mar. 2020.

ISOPLAST. **Catálogos**. Disponível em: <<http://isoplast.ind.br/16/catalogos/>> Acesso em: 24 fev. 2020.

KRAUSE, Andrew. **Foundations of GTK+ development**. New York: Apress, 2007.

LAJES PREMOLD. **Premoldados**. Disponível em: <<http://premoldados-premold.blogspot.com/>> Acesso em: 17 fev. 2020.

LEMOS, Aline Dayany de et al. **Algoritmos e Programação**. 2018. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Computação, Centro Universitário UnievangÉlica, Anápolis, 2018.

MARCONDES, Guilherme A. Barucke. **Matemática com Python: um guia prático**. São Paulo: Novatec, 2018.

MAGALHÃES, Regis. **SlideShare: logica algoritmo**. Logica Algoritmo. 2009. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/regispires/logica-algoritmo-02-algoritmo-presentation>. Acesso em: 05 abr. 2020.

MARTHA, Luiz Fernando. **Análise de Estruturas: conceitos e métodos básicos**. Conceitos e Métodos Básicos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; CUNHA, Albino Joaquim Pimenta da. **Lajes em concreto armado e protendido**. Niterói: Eduff, 1994.

OBERLEITNER, Allen; SILVA, Luís Carlos S.. **Desenvolvimento de Sistemas**. São Paulo: Senac, 2020.

PEREIRA, Ricardo Reis; SOUZA, Jerffeson Teixeira de; BEZERRA, Jeandro de Mesquita. **Computação: algoritmo e programação**. 3. ed. Fortaleza: Eduece, 2015.

ROSA, **Clarissa Manfrinato Pedrotti da. Linguagens de programação e suas aplicações: qual a melhor?** 2016. Disponível em: <https://fluxoconsultoria.poli.ufrj.br/blog/linguagem-de-programacao-aplicacoes/>. Acesso em: 18 jan. 2021.

SANTOS, Adriel Perez. **Programação Estruturada Versus Programação Orientada a Objetos**. 2013. Disponível em: <http://fabrica.ms.senac.br/2013/04/programacao-estruturada-versus-programacao-orientada-a-objetos/>. Acesso em: 28 abr. 2020.

SERSON, Roberto Rubistein. **Programação orientada a objetos com Java**. Brasport, 2007.

SILVA, Igor Rodrigues Sousa; SILVA, Rogério Oliveira da. Linguagem de Programação Python. **Revista Tecnologia em Projeção**, Brasília, v. 10, n. 1, p. 55-71, 14 ago. 2019.

SOUZA, V.C.M.; CUNHA, A.J.P. (1994). **Lajes em Concreto Armado e Protendido**. Niterói, Ed. da Universidade Federal Fluminense, 580p.

TEIXEIRA, Cesar Bezerra. **Construção de Algoritmos no Século XXI**. São Paulo: Independentes, 2015.

THE GLADE PROJECT. **Glade: a user interface designer**. [S.l.], 2020. Disponível em: <<http://glade.gnome.org/>>. Acesso em: 04 ago. 2020.

ZIMERMAN, Josimar. **Ferramenta para conversão de interfaces gráficas desenvolvidas em delphi para a biblioteca gtk+**. Blumenau, 2011