

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Nathália Schneider

**ESTUDO SOBRE OS COMPONENTES E ESCORAMENTO DE LAJES PRÉ-
MOLDADAS COM VIGOTAS EM CONCRETO PROTENDIDO**

Santa Cruz do Sul
2017

Nathália Schneider

**ESTUDO SOBRE OS COMPONENTES E ESCORAMENTO DE LAJES PRÉ-
MOLDADAS COM VIGOTAS EM CONCRETO PROTENDIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso II, na área de Estruturas, apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul, UNISC.

Orientador: Prof. M.Sc. Christian Donin

Santa Cruz do Sul
2017

Nathália Schneider

**ESTUDO SOBRE OS COMPONENTES E ESCORAMENTO DE LAJES PRÉ-
MOLDADAS COM VIGOTAS EM CONCRETO PROTENDIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso II, na área de
Estruturas, apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade de Santa Cruz do Sul, UNISC.

Prof. M.Sc. Christian Donin
Professor Orientador – UNISC

José Ricardo Donin de Lima
Professor Examinador – URI

Henrique Luiz Rupp
Professor Examinador – UNISC

Santa Cruz do Sul
2017

Às minhas avós Vanuta e Lozinha (*in memoriam*), que são grandes exemplos em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Arthur e Tânia por toda a paciência e incentivo.

À minha madrinha Cátia e meu padrinho Eloir, por todo o amor, carinho, conselhos remetidos a mim e por estarem sempre ao meu lado, me apoiando e estimulando.

Às minhas duas irmãs, Eduarda e Lara por toda a paciência que tiveram comigo nesses últimos meses.

Ao meu orientador Christian Donin, por todo o incentivo, ensinamentos repassados, e principalmente, pela paciência ao longo deste trabalho.

Aos laboratoristas Henrique Eichner e Rafael Fernando Henn por toda a ajuda e dedicação na realização dos ensaios que este trabalho exigiu.

Agradeço também ao meus amigos Hernando, Luana, Jesus, Régis e Professora Camila Crauss que me auxiliaram em determinados momentos.

Enfim, agradeço a todos os amigos da Fraternidade Espírita Dr. Bezerra de Menezes, que mesmo de longe lembraram de mim com muito carinho durante este momento tão importante em minha vida.

“Leve na sua memória para o resto de sua vida, as coisas boas que surgiram no meio das dificuldades. Elas serão uma prova de sua capacidade em vencer as provas e lhe darão confiança na presença divina, que nos auxilia em qualquer situação, em qualquer tempo, diante de qualquer obstáculo.”

(Chico Xavier)

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma visão geral do sistema de escoramento de lajes pré-moldadas com vigotas em concreto armado e dos demais materiais que as compõem. Primeiramente, traz uma revisão bibliográfica que apresenta conceitos fundamentais e determinações acerca dos componentes desse tipo de laje e do sistema de escoramento das mesmas, regidos pela ABNT NBR 15696:2009 e ABNT NBR 14859:2016. Os materiais que integram a estrutura das lajes pré-moldadas foram analisados com o objetivo de verificar se as dimensões dos mesmos estavam de acordo com o padrão normativo. Posteriormente realizou-se ensaios de ruptura por flexão nas vigotas e nos materiais de enchimento, para então determinar as combinações de cargas atuantes nas lajes durante o período de execução, bem como a necessidade de escoramento das mesmas durante esse intervalo de tempo.

Palavras-chave: Lajes pré-moldadas. sistema de escoramento.

ABSTRACT

The paper reviews the shoring system of precast slabs with beams in reinforced concrete and other materials that compose them. Firstly, it presents a bibliographic review that analyzes fundamental concepts and determinations about the components of this type of slab and its shoring system, regulated by ABNT NBR 15696: 2009 and ABNT NBR 14859: 2016. The materials that integrate the structure of the preformed slabs were analyzed in order to verify if the dimensions of the slabs were in accordance with the normative standard. Subsequently, bending rupture tests were performed on the beams and fillers, to determine the combinations of loads acting on the slabs during the execution period, as well as the need to shorten them during this interval.

Keywords: Pre-cast slabs. Shoring system.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Escoramento em madeira	21
Figura 2 - Laje	23
Figura 3 - Vigota de concreto armado	25
Figura 4- Vigota com armadura protendida	26
Figura 5 - Lajota Cerâmica	28
Figura 6 - Lajota de EPS	29
Figura 7 - Vista frontal da montagem para ensaio	31
Figura 8 - Vista lateral da montagem para ensaio	32
Figura 9 - Dispositivo de ensaio	35
Figura 10 - Deformação aplicada em função da distância entre os apoios	38
Figura 11 - Diagrama para determinação da hS e da Pb	40
Figura 12 - Dimensões da lajota cerâmica (Fornecedor A)	44
Figura 13 – Dimensões da lajota cerâmica	45
Figura 14 – Verificação do peso de uma lajota cerâmica	46
Figura 15 – Verificação das dimensões de uma lajota cerâmica	46
Figura 16 - Equipamento Universal de Ensaio EMIC modelo DL 30000	47
Figura 17 - Esquema do posicionamento de lajota cerâmica sobre os apoios (Fornecedor A)	48
Figura 18 – Posicionamento de lajota cerâmica sobre os apoios (Fabricante A)	48
Figura 19 - Ensaio lajota cerâmica (Fabricante A)	49
Figura 20 - Medição de vigota	51
Figura 21 - Medição de vigota	51
Figura 22 - Dimensões da vigota protendida	52
Figura 23 - Representação do posicionamento da vigota para ensaio de ruptura por flexão	53
Figura 24 - Vigota recebendo carregamento	53
Figura 25 - Vigota em colapso	54
Figura 26 - Ensaio de tração em barra de aço de diâmetro 6,3 mm	56
Figura 27 - Laje em fase de construção	57
Figura 28 - Lajotas cerâmicas utilizadas	58
Figura 29 - Área das vigotas adotadas para cálculo	59
Figura 30 - Laje montada com vigotas protendidas e lajotas cerâmicas	61

Figura 31 - Ilustração de cargas atuantes na laje durante a fase de construção	Erro!
Indicador não definido.	
Figura 32 - Esquema de cargas atuantes na laje durante a fase de construção	62
Figura 33 - Esquema das cargas encontradas na primeira combinação	63
Figura 34 - Laje montada com vigotas protendidas e lajotas cerâmicas	64
Figura 35 - Ilustração de cargas atuantes na laje durante a fase de construção	65
Figura 36 - Esquema de cargas atuantes na laje durante a fase de construção	Erro!
Indicador não definido.	
Figura 37 - Esquema das cargas encontradas na segunda combinação	66
Quadro 1- Dimensões e tolerância padronizada para vigota comum (VC) Dimensão (mm)	26
Quadro 2 - Dimensões e tolerâncias para vigotas de armaduras protendidas	26
Quadro 3 - Aço para utilização em lajes pré-fabricadas	27
Quadro 4 - Dimensões dos materiais de acordo com seus respectivos fornecedores	45
Quadro 5 - Média das dimensões das lajotas cerâmicas	46
Quadro 6 - Tolerâncias e dimensões para lajotas cerâmicas	47
Quadro 7 - Força máxima resistida pelo material de enchimento de ruptura frágil	49
Quadro 8 - Propriedades das vigotas	50
Quadro 9 - Propriedades das vigotas	50
Quadro 10 - Momentos resistentes das vigotas ensaiadas	54
Quadro 11 - Momentos resistentes das vigotas ensaiadas	55
Quadro 12 - Vão máximo (L) suportado pela vigota sem a necessidade de escoramento	67

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa.....	13
1.2	Objetivos gerais.....	14
1.3	Objetivos específicos.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1	Escoramento.....	15
2.1.1	Projetos de escoramento.....	15
2.1.2	Cuidados na montagem do escoramento	16
2.1.3	Cuidados na retirada do escoramento	16
2.1.4	Recomendações para ensaios com equipamentos utilizados no sistema de escoramento.....	17
2.1.5	Tipos de escoramento	19
2.1.5.1	Escoramento metálico	19
2.1.5.1.1	Equipamentos metálicos	19
2.1.5.2	Escoramento em madeira.....	20
2.1.6	Reescoramento e escoramento remanescente	22
2.2	Lajes de concreto	23
2.3	Lajes pré-moldadas - Fundamentos	25
2.4	Parâmetros dos materiais e componentes empregados nas lajes pré-moldadas com vigotas de concreto.....	25
2.4.1	Vigota com armadura simples ou comum (VC).....	25
2.4.1.1	Concreto estrutural	26
2.4.1.2	Aço.....	27
2.4.1.3	Fibras.....	27
2.4.1.4	Espaçadores e distanciadores para armaduras para vigotas	27
2.4.2	Lajota cerâmica	28
2.4.2.2	Dimensões e tolerâncias para lajotas cerâmicas	28
2.4.3	Lajota de EPS- poliestireno expandido (LEPS).....	29
2.4.3.1	Dimensões e tolerâncias para de EPS (LEPS) – Ruptura dúctil.....	29
2.4.4	Aceitação e rejeição dos elementos	30

2.4.5	Determinação das cargas de ruptura por flexão para elementos de enchimento de ruptura frágil.....	30
2.4.5.1	Procedimento e relatório do ensaio.....	31
2.4.6	Determinação das cargas de deformação e de ruptura por flexão para elementos de enchimento de ruptura dúctil	33
2.4.6.1	Procedimento e relatório do ensaio.....	34
2.5	Cálculo do escoramento.....	35
2.5.1	Método dos estados-limites	35
2.5.1.1	Tensões de projeto utilizadas para madeira de acordo com a ABNT NBR 15696:2009.....	36
2.5.2	Estados-limites de utilização.....	38
2.5.3	CrITÉRIOS para o cálculo da pressão do concreto em formas verticais	39
2.5.4	Definição do valor da pressão do concreto fluido	39
2.6	Algumas pesquisas sobre o tema.....	41
3	METODOLOGIA	44
3.1	Verificação dos componentes das lajes pré-moldadas	44
3.1.1	Lajotas cerâmicas	44
3.1.1.1	Procedimento de ensaio	48
3.1.2	Vigotas com armadura protendida	50
3.1.2.1	Procedimento de ensaio	52
3.1.2.2	Ensaio de tração.....	56
3.2	Padrão para escoramento	56
3.2.1	Carregamento de construção.....	56
3.2.1.1	Cargas	58
3.2.1.1.1	Lajota cerâmica	58
3.2.1.1.2	Vigotas	58
3.2.1.1.3	Carrinho de transporte para concreto fresco	59
3.2.1.1.4	Tábua de pinho	59
3.3	Lajes montadas com vigotas de armadura protendida.....	61
4	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
	REFERÊNCIAS.....	70

ANEXO A – Lajota cerâmica (LC) – Ruptura Frágil.....	72
ANEXO B – Lajota de EPS (LEPS) – Ruptura Dúctil	74
ANEXO C – Verificação dos padrões conforme ABNT NBR 14859-2.	76
ANEXO D – Verificação das vigotas conforme ABNT NBR 14959-1 ..	77
ANEXO E - Relatório de ensaio de ruptura por flexão em vigotas	83
ANEXO F – Relatório de ensaio de ruptura por tração em barras de aço	84

1 INTRODUÇÃO

A construção civil passou por vários avanços em suas técnicas construtivas e métodos administrativos. Segundo Salvador (2013), o aperfeiçoamento das técnicas resulta em um menor prazo de realização das obras, o qual está diretamente ligado ao menor intervalo de tempo entre as concretagens de pavimentos subsequentes e retorno do capital investido. Com o emprego de novas tecnologias a produtividade aumenta, os gastos excessivos com mão de obra diminuem, bem como o desperdício dos materiais empregados. De fundamental importância para o processo construtivo, o sistema de escoramento exige atenção do responsável técnico, pois quando bem planejado e executado, este conjunto de elementos tende a distribuir corretamente os carregamentos aplicados sobre a estrutura de concreto, evitando o surgimento de futuras patologias na edificação.

O sistema de escoramento é definido por Weimer (2014) como um conjunto de estruturas provisórias que servem de apoio para as fôrmas das lajes e vigas, suportando o peso próprio do pavimento superior e os carregamentos oriundos da etapa construtiva enquanto o concreto ainda não atingiu a resistência prevista em projeto.

O sistema de fôrmas e escoramento também teve seus avanços e muitos profissionais da construção civil já optam pelo sistema de escoramento metálico, constituído por elementos de alumínio ou aço galvanizado ao invés do escoramento de madeira, entre os motivos na hora da escolha estão, a busca de um melhor acabamento na superfície das estruturas ou a opção de reutilizar o mesmo conjunto de elementos de escoramento mais de uma vez.

Tendo em vista a importância de se projetar e executar corretamente o sistema de escoramento das lajes, neste trabalho são analisadas as bibliografias acerca do sistema em questão, de modo a determinar as diretrizes necessárias para o dimensionamento deste sistema, especialmente no que se refere ao espaçamento das escoras em lajes pré-moldadas.

1.1 Justificativa

Apesar de ser indispensável o projeto do sistema de escoramento e reescoramento das estruturas, muitos profissionais da área da construção civil não

dão a devida importância ao assunto. Um bom projeto de escoramento com a distribuição correta das cargas evita que patologias futuras se manifestem nas estruturas.

Este trabalho justifica-se pela ausência de bibliografias e pesquisas a respeito dos projetos de escoramento e reescoramento, bem como a necessidade de direcionar através de testes experimentais e verificações por meio de cálculos, os profissionais que desejarem projetar e executar o sistema de escoramento.

A pesquisa será direcionada para o espaçamento das escoras em lajes pré-moldadas com vigotas em concreto armado, apontando os tipos de materiais que são utilizados neste sistema e as condições para projeto e execução exigidas pelas normas vigentes.

1.2 Objetivos gerais

O objetivo geral deste trabalho é estudar e apontar as diretrizes para a elaboração do projeto e a execução do escoramento de lajes pré-moldadas. Serão realizadas análises teóricas, testes experimentais e verificações de cálculos, levando em consideração as referências bibliográficas reconhecidas e as normas em vigor.

1.3 Objetivos específicos

O trabalho tem como finalidade, atingir os seguintes objetivos específicos:

- Realizar uma análise teórica, revisando a bibliografia referente ao tema em questão;
- Fazer um estudo sobre alguns tipos de escoras utilizadas na sustentação temporária de lajes pré-moldadas;
- Realizar testes experimentais com alguns dos elementos construtivos das lajes pré-moldadas e fazer as verificações necessárias com os dados obtidos;
- Verificar, através de cálculos, os espaçamentos dos apoios necessários no escoramento das lajes;
- Contribuir para análises e futuros estudos sobre o escoramento de lajes pré-moldadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Escoramento

Enquanto o concreto ainda não se tornou autoportante, são utilizadas estruturas temporárias, cujas funções são suportar e transmitir às suas bases de apoio todos os carregamentos permanentes e variáveis oriundos do lançamento de concreto fresco, a ABNT NBR 15696:2009 denomina tais estruturas provisórias de escoramentos.

2.1.1 Projetos de escoramento

A ABNT NBR 15696:2009 determina que os projetos de escoramento de estruturas sejam detalhados por meio de plantas, cortes e vistas, bem como outras particularidades que necessitem especificações, de modo que não haja dúvida alguma sobre o processo de execução deste sistema. No projeto ainda devem constar os valores de cargas admissíveis dos elementos utilizados, as cargas nas bases de cada apoio, e ainda, a definição precisa do posicionamento e espaçamento dos mesmos.

Os fornecedores de equipamentos para fôrmas e escoramentos devem seguir os requisitos impostos pela ABNT NBR 15696:2009 e pelos fiscalizadores, visto que muitos dos aspectos envolvidos na execução deste sistema não dependem diretamente do responsável técnico da obra. Os fornecedores de fôrmas e escoramentos devem verificar todas as peças antes da entrega, de modo que seja garantido o funcionamento das peças e capacidade de carga determinada em projeto. A empresa fornecedora deve disponibilizar treinamento para seus colaboradores e um manual interno sobre a execução de projetos e montagens de seus equipamentos, é necessário também, que a mesma possua entre seus funcionários um engenheiro responsável pelas atividades. Os equipamentos devem ter seus projetos apresentados com memoriais de cálculo, e sua resistência deve ser comprovada por meio de ensaios específicos.

2.1.2 Cuidados na montagem do escoramento

O sistema de escoramento necessita de alguns cuidados durante a sua montagem, para que não comprometa a segurança da estrutura que será concretada. Se o sistema empregado for industrializado, os fornecedores devem repassar as recomendações e instruções para a equipe, de modo que não haja dúvida na hora da montagem, o que não elimina a necessidade de acompanhamento do projetista estrutural durante o processo de montagem do escoramento. Além dessas recomendações, a ABNT NBR 15696:2009 sugere que:

a) a utilização de lastro, pranchões ou piso de concreto deve ser adotada quando for necessário realizar uma melhor distribuição das cargas e corrigir irregularidades, a fim de evitar a ocorrência de recalques no solo ou nas bases de apoio do escoramento, devido aos carregamentos transmitidos;

b) as recomendações da NR 18 devem ser seguidas para que o sistema de escoramento esteja protegido dos riscos de incêndio;

c) a geometria das peças não deve ser alterada durante o processo de concretagem, e devem resistir às possíveis contaminações sem comprometer a sua eficiência, a da armadura e a do concreto;

d) antes da concretagem as fôrmas e os escoramentos devem passar por verificações, para constatar que todas as peças estão posicionadas corretamente e que as estruturas estão em condições de resistir às movimentações de funcionários e equipamentos necessários no processo de concretagem.

2.1.3 Cuidados na retirada do escoramento

Assim como o processo de montagem do sistema de escoramento exige planejamento e acompanhamento do projetista estrutural, a retirada desse sistema também necessita ser planejada, é o que se chama de projeto de desforma, o mesmo deve ser fornecido pelo responsável técnico da obra, apontando as recomendações e cuidados para que a segurança e o desempenho da estrutura não sejam prejudicados. No que se refere aos cuidados na retirada do escoramento, a ABNT NBR 15696:2009 ainda sugere que:

a) para a retirada do escoramento deve-se ter certeza de que a nova estrutura possui capacidade suficiente de suportar os carregamentos e ações solicitados de forma segura;

b) a estrutura de escoramento não deverá receber cargas adicionais, que não tenham sido consideradas em projeto ou no plano de concretagem, a menos que se tenha certeza de que o sistema terá capacidade de resistir com segurança às ações provenientes destes carregamentos;

c) as considerações acerca da deformabilidade, bem como da resistência do concreto e a análise estrutural devem ser disponibilizadas pelo projetista estrutural ou pelo responsável da obra, para que possam ser utilizados na hora de planejar a estrutura de reescoramento;

d) a estrutura de concreto deve ser verificada para que se tenha certeza da sua capacidade de suportar os carregamentos definidos em projeto, levando em consideração os dados de resistência do concreto, a deformabilidade e ainda, a capacidade de resistência do sistema do escoramento;

e) a nova estrutura deve ser submetida aos esforços de forma gradual, bem como a retirada do sistema de escoramento, que deve ser feita paulatinamente, sem colisões, de acordo com o programa implementado para cada tipo de estrutura;

f) o tempo especificado para a retirada do sistema de escoramento deve ser respeitado, sendo de no mínimo 14 dias, para que não prejudiquem a movimentação das juntas de dilatação ou retração. Se o concreto for capaz de adquirir a resistência prevista mais rapidamente, o sistema de escoramento pode ser analisado e esse tempo poderá ser reduzido.

g) dados como o módulo de elasticidade, o valor mínimo de resistência a compressão, devem ser fornecidos pelo projetista da estrutura, para que sejam respeitados durante a retirada dos elementos de escoramento.

2.1.4 Recomendações para ensaios com equipamentos utilizados no sistema de escoramento

Os ensaios devem ser realizados em laboratórios para que a resistência das peças, conexões ou estruturas utilizadas no sistema de fôrmas e escoramentos seja determinada, caso não seja possível determinar a resistência dos mesmos de acordo com as devidas normas.

A ABNT NBR 15696:2009 faz algumas recomendações para a realização dos ensaios de acordo com o tipo de equipamento:

a) Escoras - o ensaio da escora deve ser realizado para as aberturas máximas e mínimas, e ainda para duas aberturas intermediárias. A escora deve ser posicionada verticalmente e devem ser aplicadas cargas axiais. Os apoios devem ser nivelados, podendo ser de aço ou de concreto. Deve-se aumentar o carregamento até que o elemento ensaiado se rompa ou até não ter mais aumento de carregamento com aumento de deformação. As deformações verticais e horizontais devem ser anotadas, bem como o valor das cargas aplicadas.

b) Torres de carga - o ensaio da torre deve ser realizado com a mesma montada verticalmente, com altura mínima de 6 metros, para as peças de ajuste de altura devem ser ensaiadas em compressão centrada na abertura máxima. O carregamento deve ser aplicado no ponto médio da torre em planta, o mesmo deve ser aumentado até que o elemento se rompa ou até não ter aumento do carregamento com aumento de deformação. As deformações verticais e horizontais devem ser anotadas, bem como o valor das cargas aplicadas.

c) Viga de madeira - para o ensaio de verificação do cortante deve ter dois apoios com 50 cm de distância, para o ensaio de esmagamento, carga pontual na largura da viga x 10 cm contra o apoio da mesma medida. Para o ensaio de flexão a ABNT NBR 15696:2009 recomenda que sejam seguidas as recomendações da ABNT NBR 7190:1997, sendo a carga concentrada, vão de $2l$ e havendo medição deformação/carga.

d) Viga metálica - para o ensaio de verificação do cortante devem ter dois apoios com 50 cm de distância, para o ensaio do esmagamento, carga pontual na largura da viga x 10 cm contra o apoio da mesma medida. Para o ensaio de flexão o carregamento deve ser aplicado no ponto médio do vão da viga, a qual deve ser biapoiada por duas chapas que devem possuir 10 cm de comprimento pela largura da viga.

e) Painéis de fôrma - os painéis devem possuir apoios nos locais previstos de tirantes, o carregamento aplicado deve ser distribuído e os elementos devem ser ensaiados horizontalmente.

f) Conjunto de tirante e porca - as porcas devem ser montadas no tirante e deve-se aplicar carga de tração nas mesmas até a ruptura.

Conforme recomenda a ABNT NBR 15696:2009, os coeficientes de segurança específicos para cada tipo de equipamento devem ser considerados. No relatório dos ensaios de todos os elementos a curva tensão x deformação, juntamente com os limites de resistência de todos os casos devem ser apresentados.

2.1.5 Tipos de escoramento

Nazar (2007) sugere que na hora da escolha do material mais adequado para o sistema de fôrmas e escoramentos, o principal critério a ser considerado seja o período de execução da estrutura, pois influencia diretamente no custo do material a ser adotado.

2.1.5.1 Escoramento metálico

De acordo com Carmo (2007), este sistema de escoramento é adequado para casos em que as deformações das lajes não são aceitas, e geralmente é locado ou vendido por empresas especializadas na área. Os materiais que constituem esse sistema possuem regulagens mais precisas, flexibilidade e são mais resistentes. O acompanhamento de um responsável técnico durante o processo de montagem do sistema de escoramento metálico é de extrema importância, a fim de evitar problemas decorrentes da utilização incorreta do sistema nas estruturas concretadas.

Os elementos metálicos devem ser descartados se apresentarem imperfeições como corrosão, soldas quebradas, empenamento e outras alterações que possam comprometer o desempenho da estrutura. A ABNT NBR 15696:2009 sugere também que sejam observadas as recomendações para elementos de aço, determinadas pela ABNT NBR 8800:2008, ABNT NBR 6355:2012 e ABNT NBR 14762:2010, no caso da utilização de elementos de alumínio, as devidas recomendações de utilização constam na ABNT NBR 14229:2012.

2.1.5.1.1 Equipamentos metálicos

A utilização do sistema composto por equipamentos metálicos é bastante indicada no processo construtivo das edificações, onde algumas etapas da obra são

repetitivas. O custo deste sistema é mais elevado do que o sistema convencional de madeira, porém este custo é compensado pela facilidade, precisão e rapidez com que o sistema é montado e desmontado. A ABNT NBR 15696:2009 define os equipamentos utilizados no sistema de escoramento metálico da seguinte forma:

a) Escoras metálicas - elementos constituídos por quatro peças principais: tubo externo com placa soldada e rosca externa, tubo interno (telescópico) com placa soldada e luva de regulagem com pinos conectados. As escoras metálicas possuem duas opções de regulagem, a regulagem grossa é feita por meio da colocação de pinos nos furos do tubo interno e a regulagem fina é feita através da luva de regulagem;

b) Torres metálicas - estruturas de formato tubular, formadas por quadros metálicos soldados e hastes reguláveis por meio de roscas, base inferior, suportes para as vigas e acessórios de ligação;

c) Vigas metálicas - peças do sistema de escoramento que podem ser executadas em aço ou alumínio, fabricadas em perfis laminados, dobrados, extrudados e podem apresentar elementos em madeira para que seja feita a fixação do compensado com pregos, sem alterar a resistência das peças;

d) Painéis e fôrmas - peças de aço ou alumínio, que possuem superfícies que entram em contato com o concreto, as quais podem ser feitas de chapas em madeira compensada, PVC, chapas plásticas ou até chapas de aço e alumínio;

e) Acessórios - são peças adicionais, são atribuídas a estes acessórios as funções de apoiar os componentes das fôrmas e escoramentos, auxiliar na montagem e desmontagem e fazer ligação entre as peças que constituem o sistema;

f) Barra de ancoragem - esta peça também é conhecida como tirante, a qual auxilia e garante a absorção das ações provenientes da pressão do concreto na estrutura de fôrmas.

2.1.5.2 Escoramento em madeira

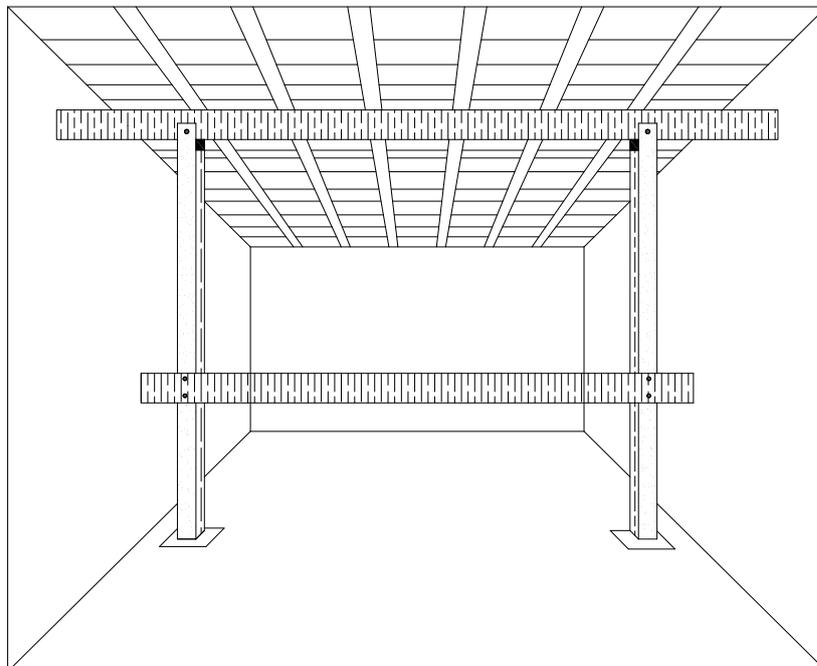
De acordo com Nazar (2007), são comumente empregadas na construção civil no Brasil, madeiras de Pínus e Araucária, classificadas como plantas coníferas que pertencem ao grupo das Gimnospermas, internacionalmente conhecidas como “*softwoods*”. No grupo das Angiospermas encontra-se a categoria das Dicotiledôneas, que possuem as principais espécies de madeiras duras empregadas

na construção civil no Brasil, conhecidas como “*hardwoods*”.

As madeiras indicadas para o sistema de fôrmas e escoramentos das estruturas (Figura 1) podem ser industrializadas ou em bruto. O escoramento em madeira bruta pode ser constituído por materiais serrados ou não, a ABNT NBR 15696:2009 cita que os critérios para a escolha dos mesmos, tal como outras recomendações necessárias, são definidos na ABNT NBR 7190:1997.

Segundo a ABNT NBR 15696:2009, as madeiras industrializadas, diferente das madeiras em bruto, são de espécies já ensaiadas em laboratório, de modo que suas propriedades físicas e mecânicas sejam conhecidas e estudadas, e sua temperatura e umidade controladas.

Figura 1 - Escoramento em madeira



Fonte: adaptado de Souza e Cunha (1998).

Nazar (2007) especifica três características físicas principais para o controle de qualidade das madeiras utilizadas na construção civil, são elas:

a) Densidade - a determinação da densidade básica da madeira se dá por meio da relação entre a massa absolutamente seca (a 0% de umidade) e o volume saturado com água;

b) Umidade - o estudo e conhecimento do teor de umidade das madeiras são de suma importância para que sua utilização industrial seja feita de maneira correta, visto que o processo de secagem influencia diretamente nas dimensões finais que

serão empregadas. Conforme a ABNT NBR 7190:1997, para fins de cálculo estrutural, o teor de umidade padrão a ser adotado nos ensaios e valores de resistência é de 12%;

c) Retratibilidade - de acordo com Rezende, Saglietti e Guerrini (1995), citado por Nazar (2007), a madeira é um material anisotrópico, o qual apresenta variação de retração nas três direções.

2.1.6 Reescoramento e escoramento remanescente

Quando uma estrutura de concreto não é capaz de suportar as ações solicitadas, sejam elas permanentes ou variáveis, é necessária a utilização de sistemas auxiliares de escoras, denominado pela ABNT NBR 15696:2009 de escoramento remanescente e reescoramento.

Salvador (2013) define o escoramento remanescente como um sistema auxiliar de escoramento temporário que atua na sustentação dos carregamentos da estrutura de concreto armado posteriormente à desmontagem do sistema de fôrmas e escoramento. O reescoramento é um sistema auxiliar de escoramento temporário que é colocado novamente sob a estrutura de concreto armado depois que a concretagem foi executada, cuja função é substituir o escoramento, este procedimento requer o ajuste dos pontaletes metálicos que se localizam sob a estrutura de concreto ou sob as chapas de madeira.

Segundo a ABNT NBR 15696:2009, alguns aspectos devem ser considerados no planejamento dos sistemas de reescoramento/escoramento remanescente, tais como:

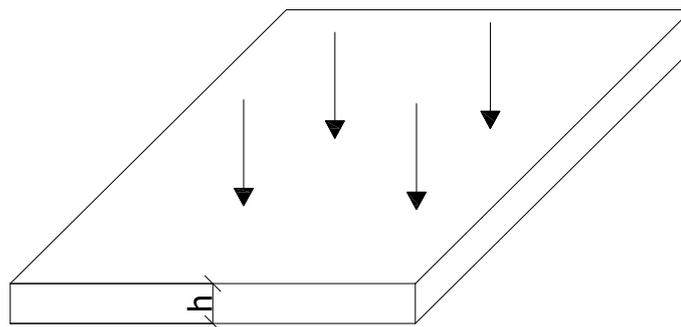
- a) o peso próprio de todos os elementos que compõem o pavimento;
- b) as medidas dos panos de lajes que constituem o pavimento;
- c) as etapas de concretagem dos pavimentos seguintes;
- d) o valor da sobrecarga de utilização de cada um dos pavimentos, durante a concretagem e nas etapas subsequentes;
- e) sobrecargas de uso e carregamentos permanentes;
- f) resistência e módulo de elasticidade ao longo da retirada do reescoramento e da concretagem de novas lajes;
- g) aos 28 dias, a resistência e o módulo de elasticidade adquiridos pelo concreto;

h) sinais de deformação vertical provenientes dos carregamentos aplicados nas escoras.

De acordo com a ABNT NBR 15696:2009, nos projetos devem constar informações sobre o posicionamento exato dos elementos que constituem o sistema, a capacidade de resistência e a deformabilidade das peças resistentes. Deve ser realizada a conferência da capacidade de carga dos pavimentos inferiores nas diversas etapas em que as cargas oriundas de concretagens seguintes estiverem sendo aplicadas, bem como a verificação da capacidade de carga dos pavimentos superiores nas diversas etapas de aplicação de cargas oriundas da retirada dos escoramentos remanescentes de um pavimento inferior.

2.2 Lajes de concreto

Figura 2 - Laje



Fonte: adaptado de Souza e Cunha (1998).

Segundo Araújo (2014), as lajes são elementos responsáveis por sustentar as cargas de utilização da estrutura e transmiti-las para as vigas, a partir destas, o carregamento é transferido para os pilares e só então será transmitido para as fundações. As lajes podem ser definidas como estruturas planas bidimensionais que possuem uma espessura h inferior às suas demais dimensões.

As lajes mais utilizadas são as de concreto armado, de acordo com Souza e Cunha (1998), o carregamento atuante nessas estruturas é predominantemente transversal ao seu plano (Figura 2).

Conforme Guerrin e Lavour (2002), as lajes também possuem a função de isolamento, quando devem isolar térmica e acusticamente os diferentes pavimentos das edificações. Podem ser definidas como estruturas planas bidimensionais que possuem uma espessura h inferior às suas demais dimensões.

Segundo Souza e Cunha (1998), as lajes podem ser classificadas de acordo com a sua natureza da seguinte forma:

a) Lajes Maciças - Placas maciças em concreto armado ou protendido constituem este tipo de laje. São consideradas as lajes mais comuns, presentes na estrutura de pontes e edificações.

b) Lajes Nervuradas - As lajes nervuradas são utilizadas quando grandes vãos precisam ser vencidos. Nesse tipo de laje, as armaduras ficam na zona de tração, e entre as nervuras costuma-se substituir o concreto por materiais inertes, de peso próprio inferior, reduzindo o peso total da laje.

c) Lajes Mistas - Apesar de este tipo de laje ter semelhanças com as nervuradas, a presença da mesa de concreto na região comprimida não é obrigatória. Nas lajes mistas o espaço presente entre as nervuras deve ser preenchido com material cerâmico de alta resistência, tornando a estrutura mais resistente à flexão.

d) Lajes em grelha - Um caso particular das lajes nervuradas, porém a distância entre as nervuras deve ser superior a 1m. O cálculo deste tipo de laje é obtido por meio dos conceitos das lajes maciças contínuas e cálculo do viga obtido pelos conceitos de grelhas. São lajes normalmente utilizadas em edificações comerciais e industriais.

e) Lajes duplas - Este tipo de laje também pode ser considerado um caso particular de laje nervurada, normalmente as lajes duplas são utilizadas em pavimentos de transição das edificações ou como pilotis. Neste caso específico as nervuras estão entre dois painéis de lajes.

f) Lajes cogumelo - Estas lajes transmitem os carregamentos de modo direto sobre os pilares, sem a presença de vigas. Quando houver grandes carregamentos para serem suportados ou longos vãos a serem vencidos, o pilar possui um alargamento na sua seção superior, denominado de capitel, o qual tem como finalidade aumentar a resistência à punção da laje.

g) Lajes pré-fabricadas - Os dois tipos mais comuns são as lajes com vigotas e blocos cerâmicos, que são constituídas por nervuras pré-fabricadas de concreto armado onde serão colocados blocos cerâmicos para completar o piso, e as lajes em painéis, que vem sendo cada vez mais utilizadas no Brasil, as mais conhecidas são as lajes planas alveolares e as lajes π .

2.3 Lajes pré-moldadas - Fundamentos

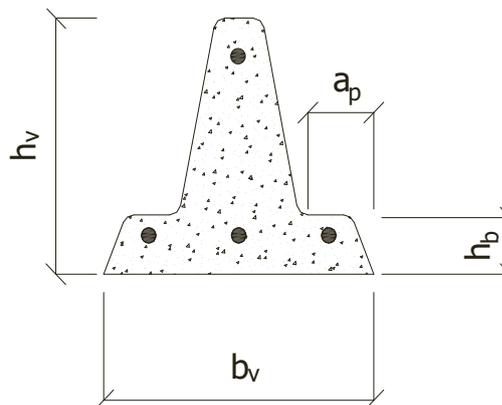
De acordo com Guerrin e Lavour (2002), denomina-se de laje pré-moldada aquela que passa a ser executada parcial ou totalmente fora do seu local definitivo na estrutura, ou seja, em solo de indústria ou no solo da própria obra.

Segundo a ABNT NBR 14859-1:2016, este tipo de laje é composto por peças pré-fabricadas, cujas funções podem ser estruturais ou não, como é o caso dos materiais inertes para enchimento ou de forma permanente, que são as armaduras e o concreto, podendo ser maciços ou não, nervurada unidirecional seção “T”, nervurada unidirecional seção duplo “T”, nervurada bidirecional seção “T” e por fim, nervurada bidirecional seção duplo “T”, as quais devem suportar as cargas determinadas em projeto.

2.4 Parâmetros dos materiais e componentes empregados nas lajes pré-moldadas com vigotas de concreto

2.4.1 Vigota com armadura simples ou comum (VC)

Figura 3 - Vigota de concreto armado



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15859-1:2016.

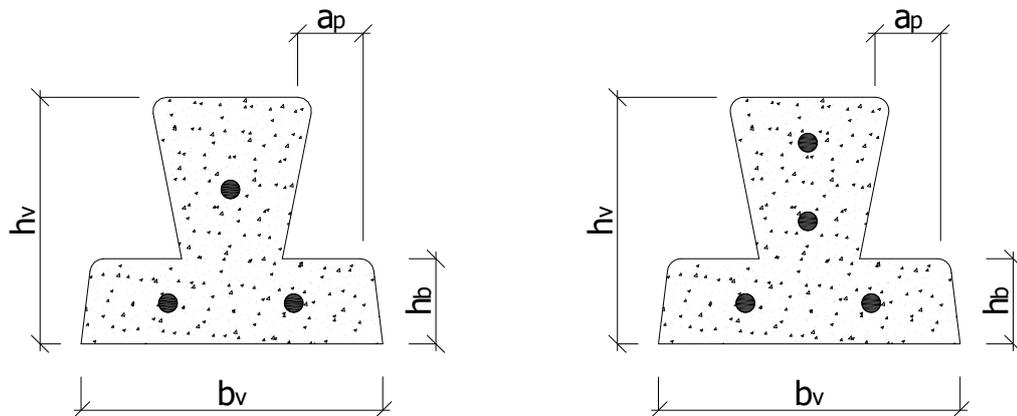
As vigotas (Figura 3) são peças estruturais pré-fabricadas, constituídas por fios ou barras (armadura principal passiva) e por concreto estrutural, que de acordo com a ABNT NBR 14859-1:2016, devem ser previstos em projeto. As dimensões e tolerâncias estão prescritas no Quadro 1.

Quadro 1- Dimensões e tolerância padronizada para vigota comum (VC) Dimensão (mm)

Largura mínima (b_v)	Altura mínima (h_v)	Largura mínima de apoio (a_p)	Altura mínima de apoio (h_p)
80 ± 2	80 ± 2	15 ± 1	30 ± 1

Fonte: adaptado de ABNT NBR 14859-1:2016.

Vigota com armadura protendida (VP)

Figura 4- Vigota com armadura protendida

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15859-1:2016.

As vigotas (Figura 4) são peças estruturais pré-fabricadas, constituídas por fios aderentes (armadura principal ativa) e por concreto estrutural, que de acordo com a ABNT NBR 14859-1:2016, devem ser previstos em projeto. As dimensões e tolerâncias estão prescritas no Quadro 2.

Quadro 2 - Dimensões e tolerâncias para vigotas de armaduras protendidas

Dimensões (mm)			
Largura mínima (b_v)	Altura mínima (h_v)	Largura mínima de apoio (a_p)	Altura mínima de apoio (h_p)
100 ± 2	90 ± 2	15 ± 1	30 ± 1

Fonte: adaptado de ABNT NBR 14859-1:2016.

2.4.1.1 Concreto estrutural

A ABNT NBR 14859-1:2016 determina que a resistência mínima do concreto à compressão deve constar no projeto estrutural, sendo C20 a classe mínima exigida.

A norma em questão ainda salienta que a fabricação do concreto utilizado nas

vigotas pré-fabricadas deve seguir as recomendações das ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 8953:2015 e ABNT NBR 12655:2015.

2.4.1.2 Aço

Quadro 3- Aço para utilização em lajes pré-fabricadas

Produto	Norma	Diâmetro nominal mínimo (mm)
Barras/fios de aço CA 50 e CA 60	ABNT NBR 7480	6,3 (CA 50) e 4,2 (CA 60)
Tela de aço eletrossoldada	ABNT NBR 7481	3,4
Fios de aço para proteção	ABNT NBR 7482	3,0
		Diagonal (sinusoide): 3,4
Armadura treliçada eletrossoldada	ABNT NBR 14859-3	Banzo Superior: 6,0
		Banzo Inferior: 4,2

Fonte: adaptado de ABNT NBR 14859-1:2016.

O aço utilizado nas lajes pré-fabricadas deve seguir as determinações indicadas no Quadro 3, conforme a ABNT NBR 14859-1:2016. Considerando que dimensões distintas das apresentadas abaixo são permitidas apenas se forem superiores às padronizadas.

2.4.1.3 Fibras

A função das fibras é auxiliar no controle da fissuração, bem como na diminuição da retração. A ABNT NBR 14859-1:2016 estabelece também, que as fibras não podem ser utilizadas com a finalidade de substituição da armadura principal.

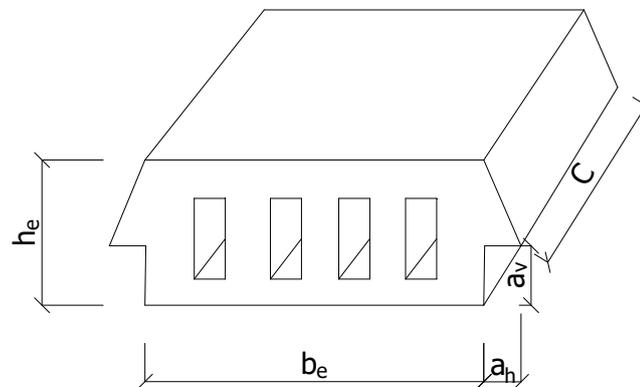
2.4.1.4 Espaçadores e distanciadores para armaduras para vigotas

Os espaçadores possuem função de assegurar o posicionamento das armaduras ao longo da concretagem na fabricação, sendo também um meio de garantir o cobrimento da armadura. A ABNT NBR 14859-1:2016 cita a ABNT NBR 9062:2006, a qual estabelece o valor mínimo de 15 mm, considerando a classe de agressividade pertinente ao ambiente em que a obra estará localizada, assim como a finalidade para qual foi projetada.

2.4.2 Lajota cerâmica

A lajota cerâmica (Figura 5) é um elemento de ruptura frágil utilizado para enchimento. De acordo com a ABNT NBR 14859-2:2016, essas peças não possuem função estrutural, pois são compostas por materiais inertes, podendo ser maciças ou vazadas, a fim de evitar a utilização de um volume maior de concreto, o que aumentaria o peso próprio da laje.

Figura 5 - Lajota Cerâmica



Fonte: adaptado de ABNT NBR 14859-2:2016.

Onde:

h_e , é a altura da lajota cerâmica;

b_e , é a largura da lajota cerâmica;

C , é o comprimento;

a_v , é o encaixe vertical;

a_h , é o encaixe horizontal

2.4.2.2 Dimensões e tolerâncias para lajotas cerâmicas

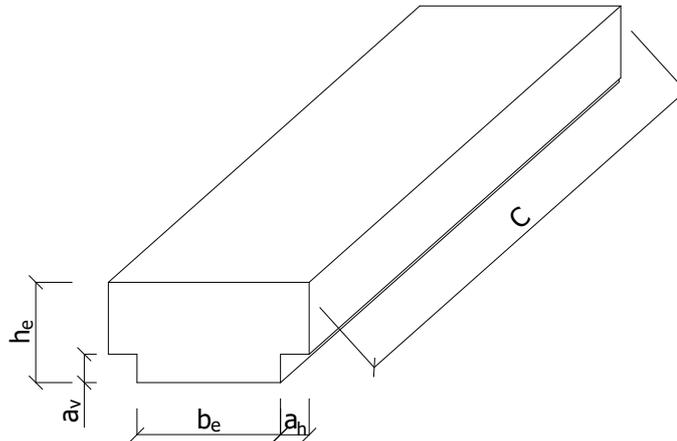
As dimensões e tolerâncias das lajotas cerâmicas são definidas pela ABNT NBR 14859-1:2016 e apresentadas no Anexo A.

2.4.3 Lajota de EPS - poliestireno expandido (LEPS)

Conforme a ABNT NBR 14859-2:2016 a lajota de EPS é um elemento de ruptura frágil, representado pela Figura 6.

A ABNT NBR 14859-2:2016 determina que os materiais de preenchimento devem apresentar resistência característica à carga mínima de ruptura de 1,0 kN, de modo que sejam capazes de suportar os carregamentos provenientes das etapas de montagem e concretagem das lajes. No caso destes materiais possuírem 60 mm a 80 mm de altura, é admissível resistência característica para suportar a carga mínima de 0,7 kN.

Figura 6 - Lajota de EPS



Fonte: adaptado de ABNT NBR 14859-2:2016.

Onde:

h_e , é a altura da lajota de EPS;

b_e , é a largura da lajota de EPS;

C , é o comprimento;

a_v , é o encaixe vertical;

a_h , é o encaixe horizontal

2.4.3.1 Dimensões e tolerâncias para de EPS (LEPS) – Ruptura dúctil

As dimensões e tolerâncias das lajotas de EPS são definidas pela ABNT NBR 14859-1:2016 e apresentadas no Anexo B.

2.4.4 Aceitação e rejeição dos elementos

De acordo com a ABNT NBR 14859-2:2016, deve ser realizada inspeção visual nos elementos, a fim de verificar se não possuem superfícies irregulares ou trincas e deformações que possam interferir no desempenho. Se houver rejeição de lote, fabricante e comprador podem entrar em acordo para que os elementos do lote sejam inspecionados, havendo elementos com inconformidades, cabe ao fornecedor fazer a reposição das peças.

A ABNT NBR 14859-2:2016 também recomenda a inspeção por meio de ensaios, estabelecendo os critérios de aceitação e rejeição para as dimensões de acordo com como tipo de elemento inerte e os critérios de aceitação e rejeição para a resistência característica de acordo com tipo de elemento de enchimento.

2.4.5 Determinação das cargas de ruptura por flexão para elementos de enchimento de ruptura frágil

De acordo com a ABNT NBR 14859-2:2016, a determinação das cargas de ruptura à flexão para elementos de enchimento de ruptura frágil é feita por meio de um ensaio destrutivo, que utiliza corpos de prova de materiais inteiros e isentos de defeitos, reproduzindo sob os mesmos as cargas acidentais transmitidas aos elementos de enchimento de ruptura frágil durante os processos de concretagem e montagem da laje.

Para a realização deste ensaio (Figuras 7 e 8) é necessária a utilização de um dispositivo que viabilize a aplicação dos carregamentos de forma gradual, de modo que não haja golpes, conforme recomenda a ABNT NBR 14859-2:2016. O dispositivo deve possuir um dinamômetro com resolução de no máximo 10N, para monitorar a velocidade de aplicação dos carregamentos, e possibilitar a leitura da carga de ruptura.

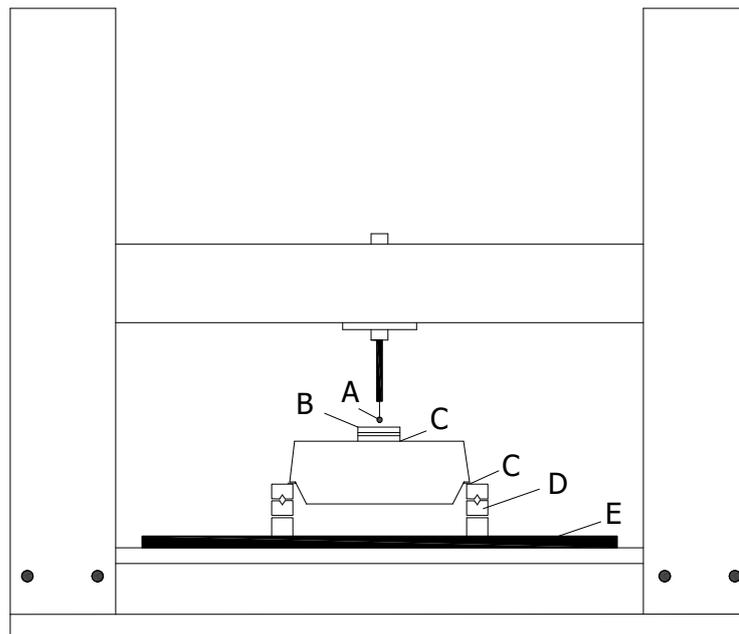
Os corpos de prova devem ser sustentados por dois suportes cilíndricos de aço, os quais devem possuir diâmetro de 10 ± 1 mm. A distância entre os dois eixos deve ser regulável, de tal maneira que coincida com o eixo das bordas laterais do material de enchimento ensaiado.

Segundo a ABNT NBR 14859-2:2016, uma placa superior afixada no equipamento de ensaio é necessária para que seja possível a aplicação de cargas,

essa placa deve também, assegurar a rotação no sentido do comprimento, possuir uma largura de 90 mm e seu comprimento deve ser maior ou igual ao do material de enchimento ensaiado. A placa deve ser rígida, de tal forma que evite qualquer tipo de deformação no momento em que os carregamentos forem aplicados.

2.4.5.1 Procedimento e relatório do ensaio

Figura 7 - Vista frontal da montagem para ensaio



Fonte: adaptado de ABNT NBR 14859-2:2016.

Onde:

Cilindro articulado - (A)

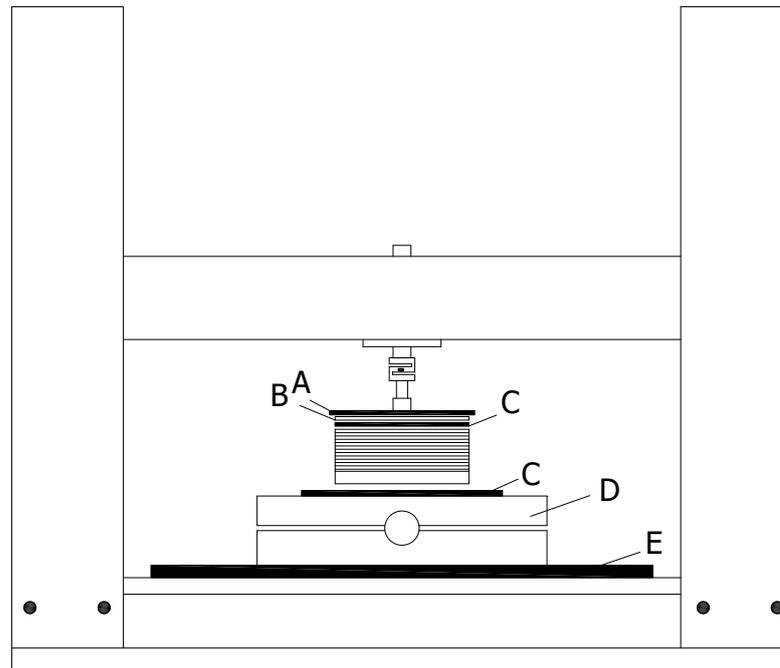
Cutelo de 90 mm x 200 mm - (B)

Borracha com espessura de 2 mm e com dureza *shore* 65 a 75 - (C)

Apoio retangular articulado nos dois eixos - (D)

Apoio nivelado - (E)

Figura 8 - Vista lateral da montagem para ensaio



Fonte: adaptado de ABNT NBR 14859-2:2016.

Onde:

Cilindro articulado - (A)

Cutelo de 90 mm x 200 mm - (B)

Borracha com espessura de 2 mm e com dureza *shore* 65 a 75 - (C)

Apoio retangular articulado nos dois eixos - (D)

Apoio nivelado - (E)

Recomendações da ABNT NBR 14859-2:2016 para o procedimento de ensaio:

a) Considerar as dimensões do elemento e do enchimento de acordo com a umidade do ambiente;

b) Submergir o corpo de prova em água potável, durante um período de 6 horas, em seguida apoiar o mesmo sobre os suportes cilíndricos de aço;

c) Montar o ensaio de acordo com as Figuras 7 e 8, sendo a placa superior situada a meia distância entre os dois suportes cilíndricos.

d) Adotar a velocidade de 500 N/s para o carregamento, o qual deve ser aplicado de forma gradual, de maneira que não haja golpes, até a ruptura do corpo de prova. A carga de ruptura obtida no ensaio deve ser adicionada ao peso próprio da placa superior, no caso do aparelho não efetuar essa compensação.

A ABNT NBR 14859-2:2016 determina que as seguintes informações devem

constar no relatório realizado após a conclusão do ensaio:

- a) Identificação do solicitante;
- b) Identificação do fornecedor;
- c) Identificação do fabricante;
- d) Identificação do responsável pela execução do ensaio;
- e) Caracterização e identificação do lote;
- f) Data em que o ensaio foi executado;
- g) Referências normativas;
- h) Valores das cargas de ruptura obtidas no ensaio;
- i) Resultado (lote aprovado/ lote rejeitado).

2.4.6 Determinação das cargas de deformação e de ruptura por flexão para elementos de enchimento de ruptura dúctil

De acordo com a ABNT NBR 14859-2:2016, a indicação das cargas de ruptura por flexão para elementos de enchimento de ruptura dúctil é feita por meio de um ensaio destrutivo, que utiliza corpos de prova de materiais inteiros e isentos de defeitos, reproduzindo sob os mesmos as cargas acidentais transmitidas aos elementos de enchimento de ruptura dúctil durante os processos de concretagem e montagem da laje.

Para a realização deste ensaio é necessária a utilização de um dispositivo que simule as vigotas, o qual deve possuir apoios iguais no sentido horizontal, de tal modo que possibilite o posicionamento de corpos de prova que apresentem dimensões máximas e altura igual a 300 mm, e largura igual a 500 mm.

Se as medidas do corpo de prova forem diferentes das citadas acima, o dispositivo deve ser adequando de acordo com as especificações de projeto. De acordo com a ABNT NBR 14859-2:2016, a resistência dos suportes deve ser igual ou superior à das vigotas que compõem as lajes.

O dispositivo (Figura 8) deve se movimentar verticalmente, de modo que exerça uma carga sobre o corpo de prova ensaiado. A base do dispositivo deve ser firme, tendo um acabamento de borracha com espessura aproximada de 2mm, suas dimensões devem ser de 300 mm x 100 mm, que simule um calçado com dureza *shore* de 65 a 75, conforme representado na Figura 9.

A colocação dos corpos de prova é feita por meio de regulagens, sendo as

alturas definidas no projeto das lajes.

2.4.6.1 Procedimento e relatório do ensaio

São feitas algumas recomendações pela ABNT NBR 14859-2:2016 no que se refere ao procedimento de ensaio:

a) Deve ser retirado, de modo aleatório, duas peças de um lote que esteja de acordo com as especificações da ABNT NBR 14859-2:2016, estas peças devem ser numeradas e identificadas, uma deverá ser utilizada como prova e a outra como contraprova;

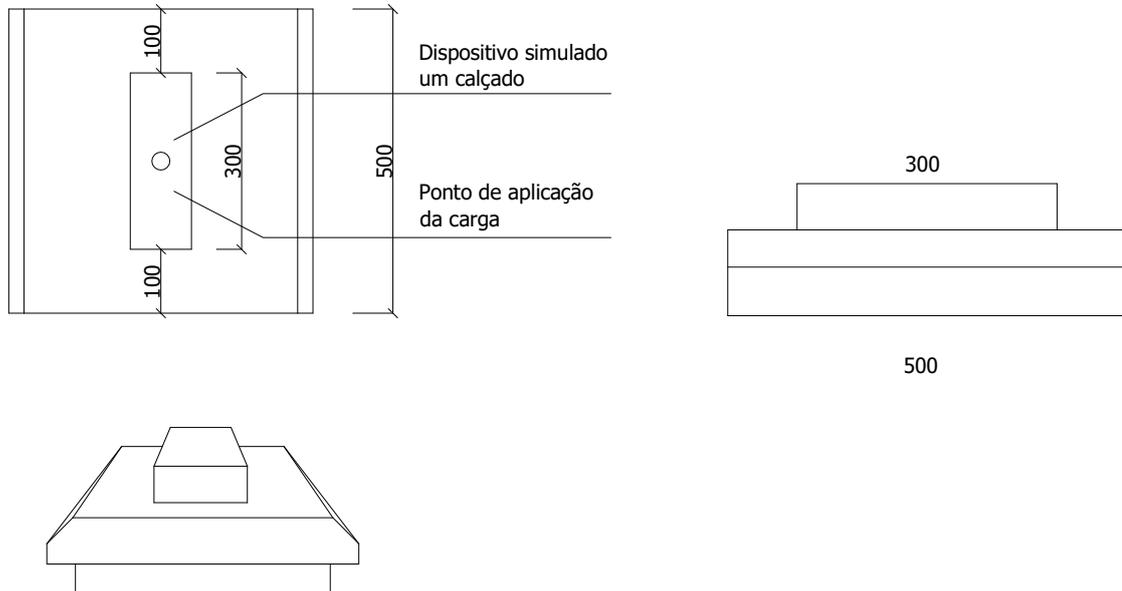
b) Deve-se colocar sobre os apoios o corpo de prova, fazendo com que o centro da sapata tenha distância de 150 ± 5 mm de duas superfícies verticais não paralelas. O sentido do comprimento do corpo de prova e da sapata devem ficar paralelos;

c) Adotar a velocidade de 500 N/s para o carregamento, o qual deve ser aplicado de forma gradual, de maneira que não haja golpes, até a ruptura do corpo de prova. A carga de ruptura obtida no ensaio deve ser adicionada ao peso próprio da placa superior, no caso do aparelho não efetuar essa compensação. Mesmo que o material não apresente falhas, por ser de ruptura dúctil, deve ser apontada como ruptura uma flecha superior a 12 mm.

A ABNT NBR 14859-2:2016 determina que as seguintes informações devem constar no relatório realizado após a conclusão do ensaio:

- a) Identificação do solicitante;
- b) Identificação do fornecedor;
- c) Identificação do fabricante;
- d) Identificação do responsável pela execução do ensaio;
- e) Caracterização e identificação do lote;
- f) Data em que o ensaio foi executado;
- g) Referências normativas;
- h) Valores das cargas de ruptura obtidas no ensaio;
- i) Resultado (lote aprovado/ lote rejeitado).

Figura 9 - Dispositivo de ensaio



Fonte: adaptado de ABNT NBR 14859-2:2016.

2.5 Cálculo do escoramento

Segundo Nazar (2007), as ações atuantes nos sistemas de fôrmas e escoramentos podem ser:

- a) Variáveis - quando apresentam grandes variações durante a vida útil da construção;
- b) Excepcionais - as chances de ocorrerem são baixas e quando apresentam, possuem curta duração.

Nos sistemas de fôrmas e escoramentos as ações permanentes não existem.

De acordo com a ABNT NBR 15696:2009, o método dos estados-limites é o mais indicado para o cálculo de resistência deste sistema, podendo ser utilizado também, o método das tensões admissíveis, desde que o fator de segurança utilizado atenda as mesmas condições asseguradas pelo método dos estados-limites.

2.5.1 Método dos estados-limites

Conforme Ataíde e Corrêa (2006), no método dos estados-limites o grau de

segurança de uma estrutura é definido pela capacidade que a mesma possui de resistir aos diversos carregamentos solicitados ao longo de sua vida útil sem alcançar o estado limite de serviço ou estado limite último, nesse estado a estrutura perde a sua capacidade de sustentação, entrando em colapso.

A ABNT NBR 15696:2009 sugere que a verificação da resistência do sistema temporário de fôrmas e escoramento seja feita através do método dos estados-limites, dado pela equação 1:

$$F_d \leq R_d \quad (1)$$

Sendo:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_w} \quad (2)$$

Onde:

R_d é a resistência solicitada no projeto;

R_k é a resistência característica do material;

F_d , é o valor de cálculo das ações;

γ_w , é o coeficiente de ponderação do material.

Mesmo que o sistema de fôrmas e escoramento seja temporário, as combinações de cargas devem ser procedentes de construções normais, dadas pela equação:

$$F_d = \gamma_Q [F_{Q1,K} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j,ef} F_{Qj,k}] \quad (3)$$

Onde:

$F_{Q1,K}$ é o valor característico da ação variável, principal para a situação;

O fator $\psi_{0j,ef}$ é igual ao fator γ_{0j} adotado nas combinações normais e tomado como 1,0 e $\gamma_Q=1,4$, ou seja:

$$F_d = 1,4 \cdot \sum_{j=1}^n F_{Qj,k} \quad (4)$$

2.5.1.1 Tensões de projeto utilizadas para madeira de acordo com a ABNT NBR 15696:2009

O valor de cálculo de qualquer propriedade da madeira é representado por f_d , o qual é obtido a partir do valor representado por f_k , por meio da equação 5:

$$f_d = k_{mod} \frac{f_k}{\gamma_w} \quad (5)$$

Onde:

i, γ_W é o valor de minoração das particularidades da madeira;

f_{ik} é o valor específico para os diferentes esforços.

De acordo com a ABNT NBR 15696:2009, a ABNT NBR 7190:1997 define $k_{mod} = k_{mod1}, k_{mod2}, k_{mod3}$, como o coeficiente de modificação. Sendo sugerido coeficiente parcial de modificação k_{mod1} , que considera o tipo de material utilizado e a classe de carregamento, seja adotado o valor igual a 0,9, para ação variável de curta duração. Para o coeficiente parcial de modificação k_{mod2} , que considera o tipo de material utilizado e a classe de umidade, o valor adotado pode ser 0,8 no caso de madeira maciça e 1,0 no caso de madeira industrializada. O coeficiente parcial de modificação k_{mod3} , que considera sua classificação, pode ter valor igual a 0,8.

$\gamma_{WC} = 1,4$, é o coeficiente de ponderação utilizado para estados-limites últimos que ocorrem devido às tensões de compressão paralela às fibras.

$\gamma_{WV} = 1,8$, é o coeficiente de ponderação utilizado para estados-limites últimos que ocorrem devido às tensões de cisalhamento.

Segundo a ABNT NBR 15696:2009, considera-se somente 25% do valor da compressão paralela às fibras para a compressão perpendicular às fibras. Então, para os casos de fôrmas, os valores de f_d obtidos são:

- Para madeira maciça, tração e compressão, paralelas às fibras e bordas da flexão:

$$f_d = 0,411 \cdot f_{ck} \quad (6)$$

- Para madeira maciça, compressão perpendicular às fibras:

$$f_d = 0,103 \cdot f_{ck} \quad (7)$$

- Cisalhamento para madeira maciça:

$$f_d = 0,320 \cdot f_{vk} \quad (8)$$

- Para madeira industrializada, tração e compressão, paralelas às fibras e bordas de flexão:

$$f_d = 0,514 \cdot f_{ck} \quad (9)$$

- Para madeira industrializada, compressão perpendicular às fibras:

$$f_d = 0,129 \cdot f_{ck} \quad (10)$$

- Cisalhamento para madeira industrializada:

$$f_d = 0,400 \cdot f_{vk} \quad (11)$$

2.5.1.2 Tensões de projeto utilizadas para aço ou alumínio

Conforme a ABNT NBR 15696:2009, a tensão utilizada em cálculo para as estruturas de aço ou alumínio dependerão do tipo de aço ou alumínio que será adotado no projeto.

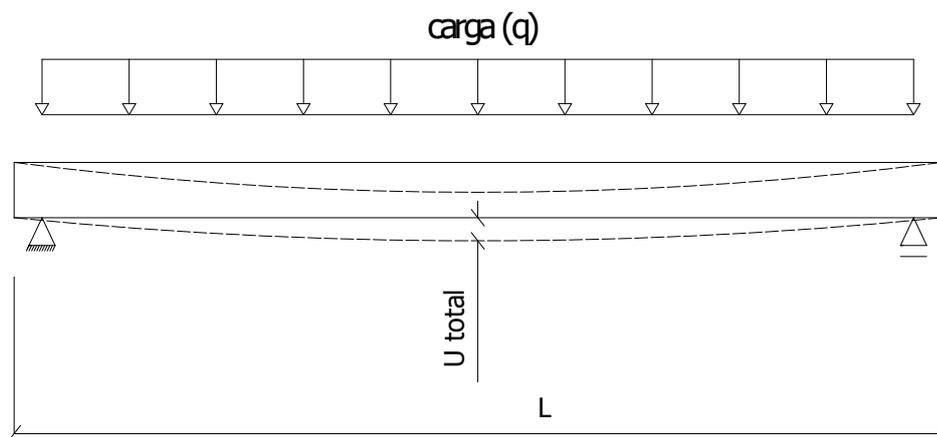
Onde:

$\gamma_m = 1,1$, é o coeficiente de ponderação do material, sendo valor adotado.

Quando os elementos em questão forem escoras e torres de escoramento, o valor do coeficiente de ponderação deve ser $\gamma_m = 1,5$, pelo fato de esses elementos estarem sujeitos à flambagem e compressão.

2.5.2 Estados-limites de utilização

Figura 10 - Deformação aplicada em função da distância entre os apoios



Fonte: adaptado de ABNT NBR 15696:2009.

Segundo Nazar (2007), são estados que devido à sua ocorrência, duração ou repetição provocam deslocamentos excessivos, comprometendo a durabilidade da estrutura. Os estados-limites de utilização, de acordo com a ABNT NBR 15696:2009, causam consequências indesejáveis para a devida utilização da estrutura.

A norma ABNT NBR 15696:2009 sugere a seguinte condição para dimensionamento:

$$U_{total} \leq U_{lim} \quad (12)$$

Onde:

U_{total} , representa a flecha máxima que ocorre no material;

U_{lim} , representa a deformação limite.

Onde:

$$U_{lim} = 1 + \frac{L}{500} \text{ (unidade em milímetros)} \quad (13)$$

2.5.3 Critérios para o cálculo da pressão do concreto em formas verticais

A pressão do concreto fluido deve ser considerada como uma ação variável, nos casos de dimensionamento de escoramentos, ancoragens e fôrmas verticais para concreto. Conforme a ABNT NBR 15696:2009, as pressões do concreto fluido são decisivas para o caso de fôrmas verticais, podendo variar até $\pm 5^\circ$ do prumo.

Se as medidas para reduzir as pressões do concreto não forem garantidas, não é permitido que sejam adotadas, mesmo que sejam por tecnologia das fôrmas e concreto fluido, conforme estabelece a ABNT NBR 15696:2009. Critérios diferentes podem ser adotados desde que tenham resultados comprovados em laboratórios reconhecidos.

A ABNT NBR 15696:2009, define:

a) P_b como, pressão horizontal que o concreto fluido exerce para a face da fôrma que tem contato com o mesmo. Sua unidade é o kN/m².

b) V_b como, velocidade de concretagem, um aumento vertical do nível superior do concreto fluido, obtido através da relação com o tempo em que ocorreu a concretagem. Sua unidade é m/h.

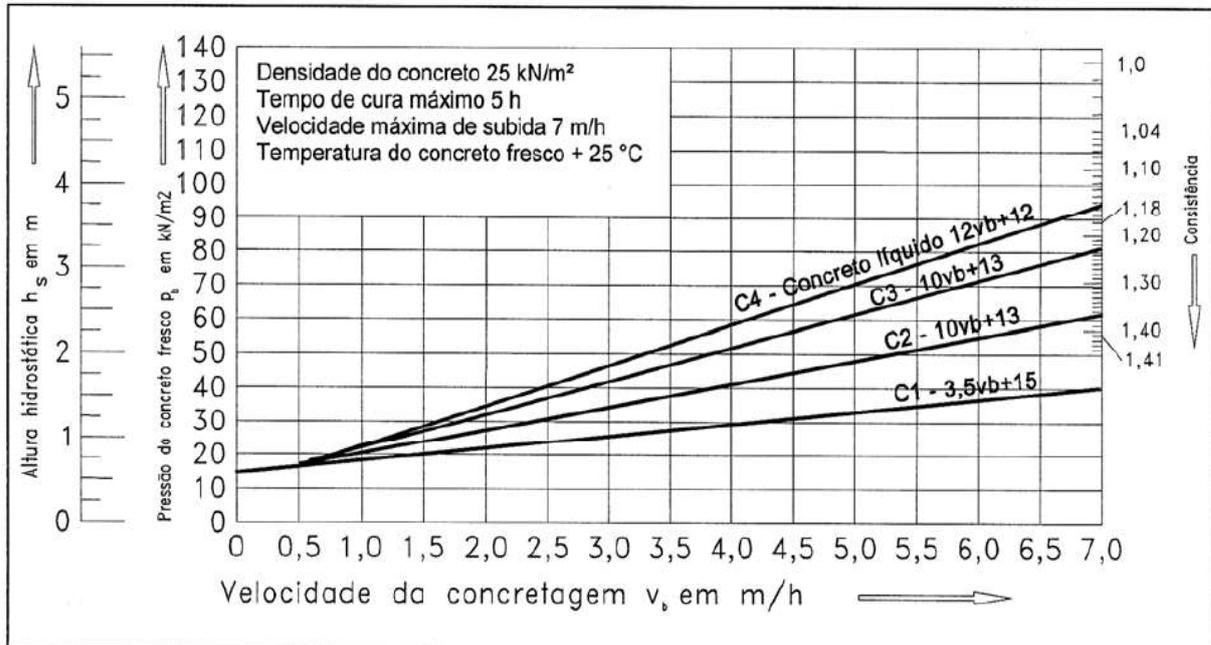
c) h_s como, altura hidrostática, obtida por meio da diferença entre a altura e a superfície superior do concreto, onde P_b alcançará seu valor máximo. Sua unidade é o m.

d) A fluidez, bem como a moldabilidade do concreto fluido, são definidas pela consistência.

2.5.4 Definição do valor da pressão do concreto fluido

A ABNT NBR 15696:2009 sugere um diagrama para verificar a altura hidrostática h_s e a pressão do concreto fluido P_b de acordo com as diferentes consistências do concreto e velocidade de concretagem (Figura 11).

Figura 11 - Diagrama para determinação da h_s e da P_b



Fonte: ABNT NBR 15696:2009.

O diagrama leva em consideração:

- O tempo em que o concreto fluido endurece, 5 horas;
- A estanqueidade da fôrma;
- A velocidade máxima para a concretagem, 7 m/h;
- O concreto fluido é compactado com vibração interna;
- Concreto fluido com peso específico $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$;
- 25° C é a temperatura própria do concreto fluido no momento em que estiver sendo lançado.

2.6 Algumas pesquisas sobre o tema

Weimer (2014) realizou um estudo acerca da obtenção de recursos para realizar a disposição dos escoramentos remanescentes, de tal maneira que a estrutura de concreto projetada e executada para uso posterior, seja capaz de suportar os carregamentos solicitados na fase construtiva sem que a estrutura apresente patologias. Para a realização dos testes, o módulo de cálculo adotado para estimar as cargas atuantes nessa fase foi proposto por Grundy e Kabaila citado por Weimer (2014), o qual permite verificar a transferência de carregamentos entre as escoras de acordo com o número de pavimentos ligados pelo escoramento remanescente, com as etapas de execução, e ainda com o tipo de cimento usado.

Várias lajes retangulares com tamanhos distintos e condições diferentes de ligação nas bordas foram utilizadas, as quais foram projetadas para suportar inicialmente, os carregamentos de projeto, por meio da utilização dos coeficientes de ponderação para carregamentos de longa duração. De acordo com Weimer (2014), as solicitações de carregamentos da fase construtiva foram determinadas a partir das taxas de armaduras obtidas e por meio da utilização dos coeficientes de ponderação para carregamentos de curta duração.

Segundo Weimer (2014), as lajes devem ser projetadas de maneira que suportem as cargas oriundas da etapa construtiva e não somente as de serviço, já que os resultados da pesquisa revelam que não é possível determinar a disposição de escoramentos remanescentes que satisfaçam as configurações das lajes, sendo apenas as lajes menores, dimensionadas pelo fundamento de armaduras mínimas e com os coeficientes de segurança exigidos por norma, capazes de suportar os carregamentos decorrentes dos escoramentos na fase construtiva.

Volkweis (2009) buscou através de sua pesquisa realizar uma revisão bibliográfica ampla sobre os sistemas de fôrmas de madeira utilizadas em estruturas de concreto armado, apresentando as vantagens e desvantagens do sistema e realizar um levantamento das fôrmas de madeiras mais utilizadas na cidade de Blumenau. Em sua pesquisa concluiu que a variável que mais é levada em consideração na hora de optar pelo sistema metálico ou de madeira é a economia, sendo o custo em função do prazo a principal conta a ser realizada, considerando o custo para fabricar as fôrmas e escoramentos de madeira e o aluguel do sistema metálico. Volkweis (2009) considera as fôrmas metálicas a opção mais interessante

e mais indicada para casos em que se deseja ter um melhor acabamento para a superfície da estrutura, porém haverá gastos extras com os equipamentos de transporte, o que pode fazer com que muitos profissionais optem pelo sistema de madeira.

Carmo (2007) em sua pesquisa, buscou mostrar a importância do conjunto da fôrma e escoramento, comparando o custo dos diversos tipos de equipamentos e analisando suas vantagens e desvantagens. Em seu trabalho concluiu que muitas vezes o orçamento estabelecido para a execução de uma determinada obra não permite a escolha do sistema que traria mais agilidade para a obra, e por falta de planejamento, o profissional acaba por não escolher a melhor alternativa. Constatou também, que apesar de o sistema de madeira serrada ter o menor custo de material para fôrmas e escoramentos, não se pode considerar apenas o custo do material e equipamentos utilizados e sim, o prazo de entrega, mão de obra empregada, segurança, número de reutilizações, produtividade, planejamento e outras variáveis.

De acordo com Carmo (2007) a produtividade proporcionada por um equipamento pode baixar o custo da mão de obra empregada mesmo que o equipamento possua um custo inicial elevado, como o caso dos equipamentos metálicos, pois a partir do momento em que investimentos com treinamentos para os operários forem realizados, a mão de obra será qualificada e a produtividade será superior, fazendo com que os equipamentos metálicos tenham maior custo-benefício para a obra.

Barcelos (2014) realizou uma análise que comparou uma distribuição de escoramento onde a porcentagem de escoras empregadas em cada pavimento foi de 100, 75 e 50 por cento, com outra distribuição de escoras de 100 por cento, verificando se as estruturas de concreto com idades inferiores aos 28 dias seriam capazes de suportar as cargas oriundas do pavimento superior. Na sua pesquisa, Barcelos (2014) verificou se o pavimento concretado precisaria de reescoramento após os 28 dias e qual era sua resistência, estudou também a possibilidade da utilização deste sistema se futuramente patologias fossem constatadas na estrutura.

A distribuição dos carregamentos nos pavimentos escorados também foi verificada por Barcelos (2014), bem como a necessidade de reescoramento nos pavimentos subjacentes mesmo após os 28 dias de escoramento. Barcelos (2014) concluiu que o sistema de reescoramento é necessário quando os carregamentos transmitidos à estrutura durante o processo construtivo forem maiores do que os

carregamentos de projeto, quando a estrutura ainda não atingiu a resistência prevista, quando se deseja retirar as fôrmas antes dos 28 dias da estrutura concretada ou quando for necessário deslocar um equipamento sobre a mesma e esse carregamento exceder o estabelecido em projeto.

3 METODOLOGIA

O estudo em questão se baseia, inicialmente, nas orientações das normas vigentes e bibliografias acerca do sistema de escoramento, em específico sobre o espaçamento das escoras em lajes pré-moldadas, de modo a ampliar o conhecimento sobre o assunto.

Além do levantamento bibliográfico, serão realizados testes experimentais com vigotas e lajotas cerâmicas, elementos que compõem a estrutura das lajes pré-moldadas, e com os dados obtidos nesses testes serão feitas verificações por meio de cálculos.

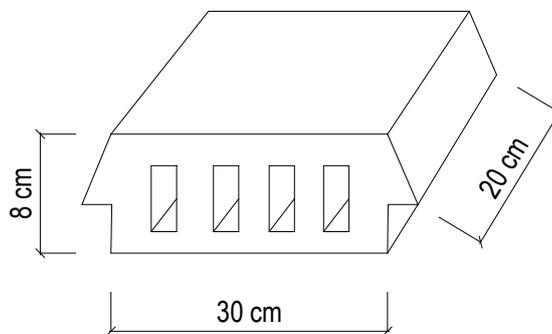
Uma tabela será elaborada, contendo os resultados obtidos através dos ensaios e suas considerações, de modo a direcionar os profissionais no dimensionamento do sistema de escoramento das lajes.

3.1 Verificação dos componentes das lajes pré-moldadas

3.1.1 Lajotas cerâmicas

Realizou-se o ensaio de ruptura à flexão para elementos de enchimento de ruptura frágil, foram utilizadas lajotas cerâmicas fornecidas por três empresas diferentes, as quais foram denominadas de A, B e C. O Quadro 4 apresenta as dimensões ilustradas pela figura 12, bem como seus respectivos fabricantes

Figura 12 - Dimensões da lajota cerâmica (Fornecedor A)



Fonte: Autor,2017.

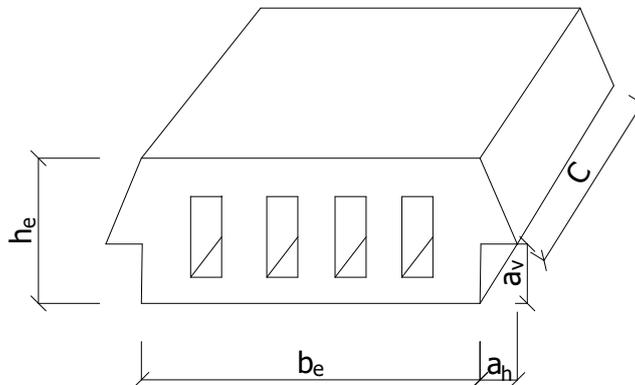
Quadro 4 - Dimensões dos materiais de acordo com seus respectivos fornecedores

Fabricante/Fornecedor	Dimensões fornecidas pelo fabricante (cm)
A	8x30x20
B	8x37x20
C	8x30x20

Fonte: Autor, 2017.

De acordo como a ABNT NBR 14859-2:2016, 13 lajotas cerâmicas foram escolhidas e submetidas à inspeção visual para verificar se as mesmas estavam inteiras e isentas de qualquer defeito. Em seguida os 13 corpos de prova foram pesados (Figura 14) e medidos (Figura 15), as dimensões e pesos obtidos foram registrados em uma planilha com seus respectivos fornecedores indicados, para que posteriormente fossem verificados de acordo com as exigências da norma vigente.

Após a massa das lajotas cerâmicas ser verificada individualmente, fez-se a média das massas dos 13 corpos de prova de cada fornecedor, obtendo-se para Fabricante A = 3,636 kg, Fabricante B = 4,224 kg e Fabricante C = 4,012 kg.

Figura 13 – Dimensões da lajota cerâmica

Fonte: Autor, 2017.

A Figura 13 ilustra as dimensões médias dos materiais fornecidos e apresentados no Quadro 5, as dimensões de cada corpo de prova ensaiado estão apresentadas no Anexo C, bem como a relação de corpos de prova aprovados e rejeitados.

Quadro 5 - Média das dimensões das lajotas cerâmicas

Fornecedor/ Dimensões (cm)	b_e	c	h_e	α_v	α_h
Fornecedor A	30	20,28	7,72	2,88	1,72
Fornecedor B	37	19,96	7,91	3,02	1,58
Fornecedor C	30,74	20,46	7,74	3,77	1,63

Fonte: Autor, 2017.

Figura 14 – Verificação do peso de uma lajota cerâmica

Fonte: Autor, 2017.

Figura 15 – Verificação das dimensões de uma lajota cerâmica

Fonte: Autor, 2017.

Para a análise das dimensões dos corpos de prova, foram seguidas as determinações estabelecidas pela ABNT NBR 14859-2:2016. O Quadro 6 apresenta as dimensões e tolerâncias exigidas pela norma e que foram levadas em consideração no presente estudo.

Quadro 6 - Tolerâncias e dimensões para lajotas cerâmicas

Designação	Hc – 8x30xc	Hc – 8x37xc
Altura h_e	80 ± 3	80 ± 3
Largura b_e	300 ± 3	370 ± 3
Comprimento c	$(100; 200 \text{ e } 250) \pm 3$	$(100; 200 \text{ e } 250) \pm 3$
Largura de apoio α_h	$15 + 3$	$15 + 3$
Altura de apoio α_v	30 ± 2	30 ± 2

Fonte: Autor, 2017.

Conforme mostrado na Figura 16, para a realização dos ensaios, foi utilizada a máquina universal de ensaios EMIC modelo DL 30000, a qual possui sistema autotravante e de pré-aperto por sistema pneumático. A máquina de ensaios possui capacidade máxima de 300 kN, permitindo a realização de ensaios de flexão, compressão e tração em diversos tipos materiais.

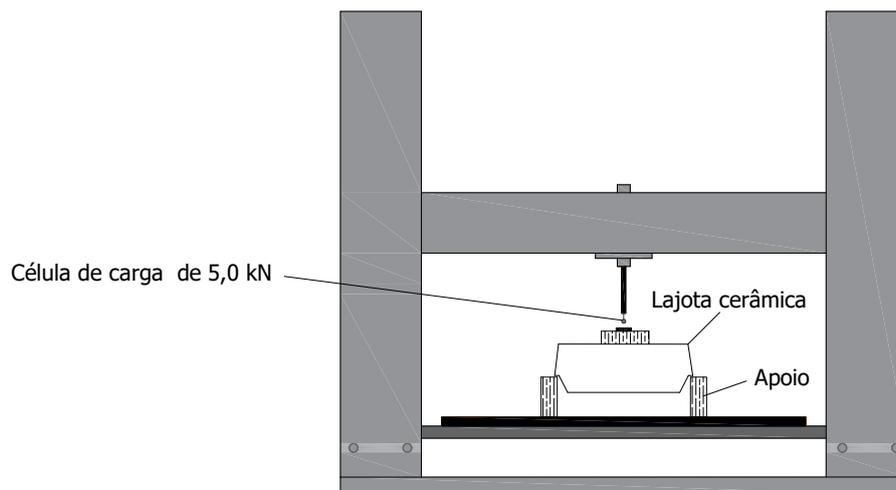
Figura 16 - Equipamento Universal de Ensaios EMIC modelo DL 30000

Fonte: Autor, 2017.

3.1.1.1 Procedimento de ensaio

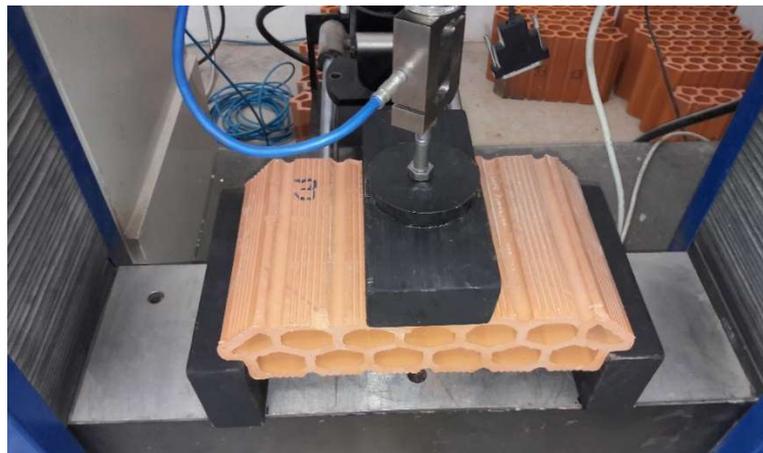
a) Posicionamento do material: após a colocação dos apoios, as lajotas cerâmicas foram posicionadas com as abas laterais devidamente dispostas sobre os mesmos, conforme demonstrado nas Figuras 17 e 18.

Figura 17 - Esquema do posicionamento de lajota cerâmica sobre os apoios (Fabricante A)



Fonte: Autor, 2017.

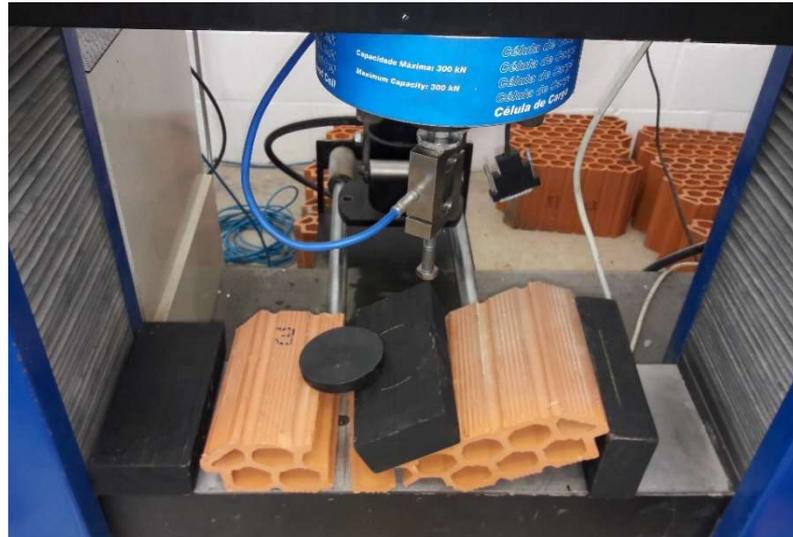
Figura 18 – Posicionamento de lajota cerâmica sobre os apoios (Fabricante A)



Fonte: Autor, 2017.

b) Aplicação de carga sobre o material: Após a lajota cerâmica estar adequadamente posicionada sobre os apoios, a mesma começa a receber aplicação de carga. A Figura 19 registra a lajota cerâmica já rompida, depois da aplicação de carregamento.

Figura 19 - Ensaio lajota cerâmica (Fabricante A)



Fonte: Autor 2017.

A força máxima resistida por cada lajota cerâmica é dada no momento em que a mesma atinge a ruptura, tais dados estão especificados no Quadro 7.

Quadro 7 - Força máxima resistida pelo material de enchimento de ruptura frágil

Fabricante A		Fabricante B		Fabricante C	
Corpo de Prova	Força máxima (kN)	Corpo de Prova	Força máxima (kN)	Corpo de prova	Força máxima (kN)
Lajota 1	2.254	Lajota 1	2.274	Lajota 1	2.777
Lajota 2	2.259	Lajota 2	2.247	Lajota 2	2.297
Lajota 3	2.372	Lajota 3	1.843	Lajota 3	1.408
Lajota 4	2.533	Lajota 4	2.366	Lajota 4	1.819
Lajota 5	2.375	Lajota 5	2.102	Lajota 5	1.523
Lajota 6	1.779	Lajota 6	2.171	Lajota 6	1.435
Lajota 7	2.712	Lajota 7	1.784	Lajota 7	2.383
Lajota 8	2.281	Lajota 8	2.254	Lajota 8	2.271
Lajota 9	2.557	Lajota 9	2.038	Lajota 9	2.659
Lajota 10	2.133	Lajota 10	2.171	Lajota 10	2.635
Lajota 11	2.443	Lajota 11	2.445	Lajota 11	2.144
Lajota 12	2.632	Lajota 12	2.336	Lajota 12	1.733
Lajota 13	1.654	Lajota 13	1.401	Lajota 13	2.604

Fonte: Autor, 2017.

3.1.2 Vigotas com armadura protendida

Realizou-se o ensaio de flexão em vigotas de armadura protendida, foram utilizados materiais fornecidos por duas empresas diferentes, as quais foram denominadas de A e B. Os Quadros 8 e 9, apresentam algumas propriedades das vigotas que foram fornecidas pelos fabricantes.

Quadro 8 - Propriedades das vigotas

Vigota com armadura protendida				
Fabricante A				
Vigota	1	2	3	4
Nº de barras	4	7	5	5
Bitola (mm)	$\phi = 4,2$	$\phi = 4,2$	$\phi = 4,2$	$\phi = 4,2$
Comprimento (m)	4,0	3,5	3,0	4,2

Fonte: Autor, 2017.

Quadro 9 - Propriedades das vigotas

Vigota com armadura protendida		
Fornecedor B		
Vigota	1	2
Nº de barras	4	4
Bitola (mm)	$\phi = 6,3$	$\phi = 4,2$
Comprimento (m)	4,0	3,5

Fonte: Autor, 2017.

Conforme determinado pela ABNT NBR 14859-1:2016, as vigotas devem estar inteiras e isentas de qualquer defeito, sendo submetidas à inspeção geral para verificação de suas características geométricas. Em seguida as vigotas foram medidas (Figura 20 e Figura 21), tendo suas dimensões registradas em uma planilha com seus respectivos fornecedores indicados, para que posteriormente fossem avaliadas de acordo com as determinações da norma vigente.

Figura 20 - Medição de vigota



Fonte: Autor, 2017.

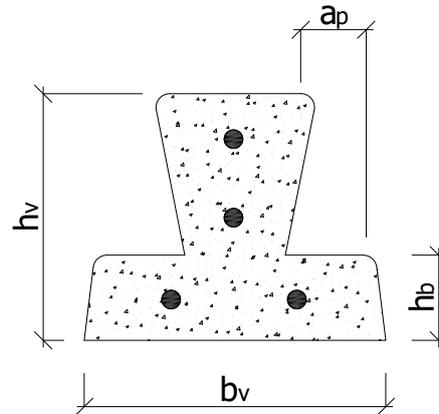
Figura 21 - Medição de vigota



Fonte: Autor, 2017.

As dimensões das vigotas (Figura 22) foram obtidas individualmente e estão apresentadas no Anexo D, bem como o padrão e tolerâncias exigidas pela ABNT NBR 14859-1:2016.

Figura 22 - Dimensões da vigota protendida



Fonte: Autor, 2017.

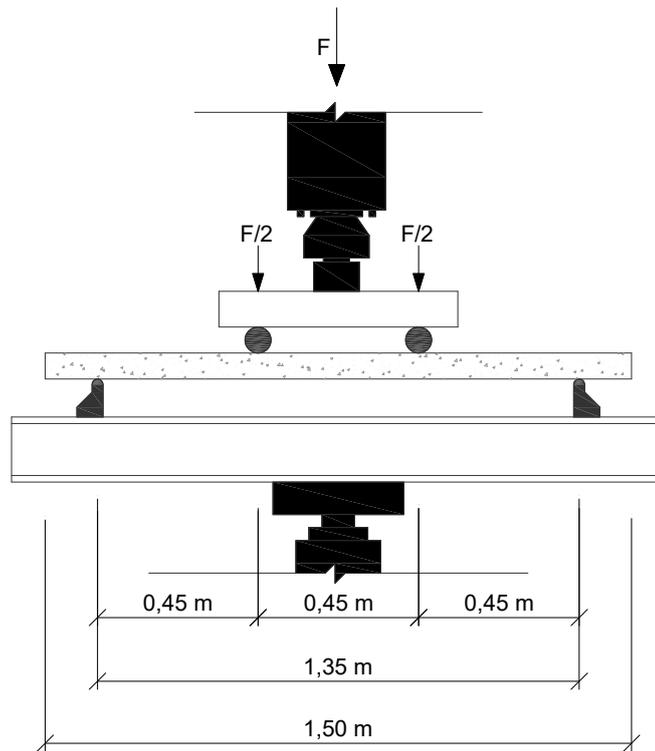
Conforme já citado, a Figura 16 apresenta a máquina universal de ensaios EMIC modelo DL 30000 utilizada para a realização do ensaio de flexão nas vigotas. O equipamento possui sistema autotravante e de pré-aperto por sistema pneumático. A máquina de ensaios possui capacidade máxima de 300 kN, permitindo a realização de ensaios de flexão, compressão e tração em diversos tipos materiais.

3.1.2.1 Procedimento de ensaio

a) Posicionamento dos equipamentos e da vigota: Primeiramente, um perfil metálico foi posicionado no equipamento de ensaio, em seguida dois apoios metálicos foram colocados sobre o mesmo para que a vigota fosse posicionada, tal esquema está ilustrado na Figura 23.

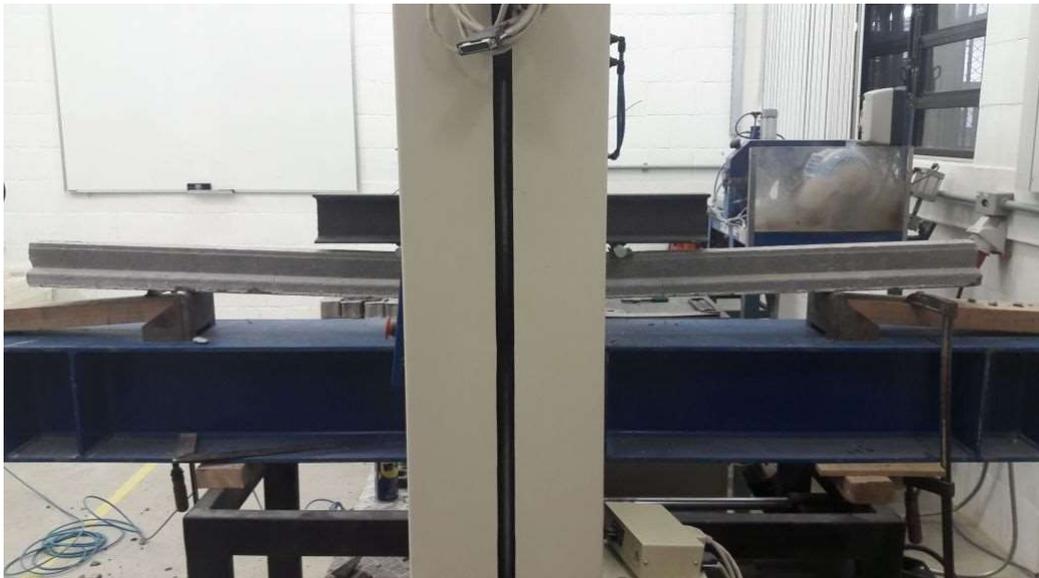
b) Aplicação de carga sobre a vigota: Conforme demonstrado na Figura 24, após a vigota estar adequadamente disposta sobre os apoios, a mesma passa a receber uma aplicação de carga.

Figura 23 - Representação do posicionamento da vigota para ensaio de ruptura por flexão



Fonte: Autor, 2017.

Figura 24 - Vigota recebendo carregamento



Fonte: Autor, 2017.

Figura 25 - Vigota em colapso



Fonte: Autor, 2017.

Após receber a aplicação de carregamento, a vigota entra em colapso, como demonstrado pela Figura 25. Ao registrar a ruptura do material, o ensaio é finalizado e o equipamento fornece as informações através de um Relatório de Ensaio (Anexo E), tais informações foram utilizadas no cálculo do momento resistente das vigotas por meio da seguinte equação a seguir e os resultados estão apresentados nos Quadros 10 e 11.

$$M_{\text{resistente}} = \frac{F \text{ (kN)}}{2} \cdot 45 \text{ cm} \quad (14)$$

Onde:

F, é o carregamento aplicado sobre a vigota

A distância utilizada entre os apoios foi de 45 cm.

Quadro 10 - Momentos resistentes das vigotas ensaiadas

(continua)

Momento resistente da vigota	
Fabricante A - 4,0 m com 4 barras de $\phi = 4,2$ mm	
CP I	345,625 kN.cm
CP II	360,224 kN.cm
CP III	363,375 kN.cm
CP IV	375,750 kN.cm
Momento resistente da vigota	
Fabricante A - 4,2 m com 5 barras de $\phi = 4,2$ mm	
CP I	402,075 kN.cm
CP II	353,250 kN.cm

(conclusão)

CP III	380,700 kN.cm
CP IV	345,375 kN.cm
Momento resistente da vigota	
Fabricante A - 3,5 m com 7 barras de $\phi = 4,2$ mm	
CP I	261,900 kN.cm
CP II	262,350 kN.cm
CP III	314,325 kN.cm
CP IV	275,400 kN.cm
Momento resistente da vigota	
Fabricante A - 3,0 m com 5 barras de $\phi = 4,2$ mm	
CP I	283,950 kN.cm
CP II	251,325 kN.cm
CP III	226,800 kN.cm
CP IV	281,925 kN.cm

Fonte: Autor, 2017.

Quadro 11 - Momentos resistentes das vigotas ensaiadas

Momento resistente da vigota	
Fabricante B - 3,5 m com 4 barras de $\phi = 4,2$ mm	
CP I	231,750 kN.cm
CP II	264,375 kN.cm
CP III	233,550 kN.cm
CP IV	251,325 kN.cm
Momento resistente da vigota	
Fabricante B - 4,0 m com 4 barras de $\phi = 6,3$ mm	
CP I	329,400 kN.cm
CP II	313,875 kN.cm
CP III	301,275 kN.cm
CP IV	297,450 kN.cm

Fonte: Autor, 2017.

Os momentos resistentes médios das vigotas ensaiadas que foram utilizados para fins de cálculo são:

Fabricante A – Vigota de 4,0 m com 4 barras de $\phi = 4,2$ mm: 361,244 kN.cm

Fabricante A – Vigota de 4,2 m com 5 barras de $\phi = 4,2$ mm: 370,350 kN.cm

Fabricante A – Vigota de 3,5 m com 7 barras de $\phi = 4,2$ mm: 278,494 kN.cm

Fabricante A – Vigota de 3,0 m com 5 barras de $\phi = 4,2$ mm: 261,0 kN.cm

Fabricante B – Vigota de 3,5 m com 4 barras de $\phi = 4,2$ mm: 245,25 kN.cm

Fabricante B – Vigota de 4,0 m com 4 barras de $\phi = 6,3$ mm: 310,5 kN.cm

3.1.2.2 Ensaio de tração

Após as vigotas protendidas serem ensaiadas, algumas barras de aço de diâmetro igual a 4,2 mm e 6,3 mm foram retiradas das mesmas e submetidas a ensaios de rompimento por tração (Figura 26), para caracterização do aço das vigotas protendidas. Os relatórios de ensaio das barras estão apresentados no Anexo F.

Figura 26 - Ensaio de tração em barra de aço de diâmetro 6,3 mm



Fonte: Autor, 2017.

3.2 Padrão para escoramento

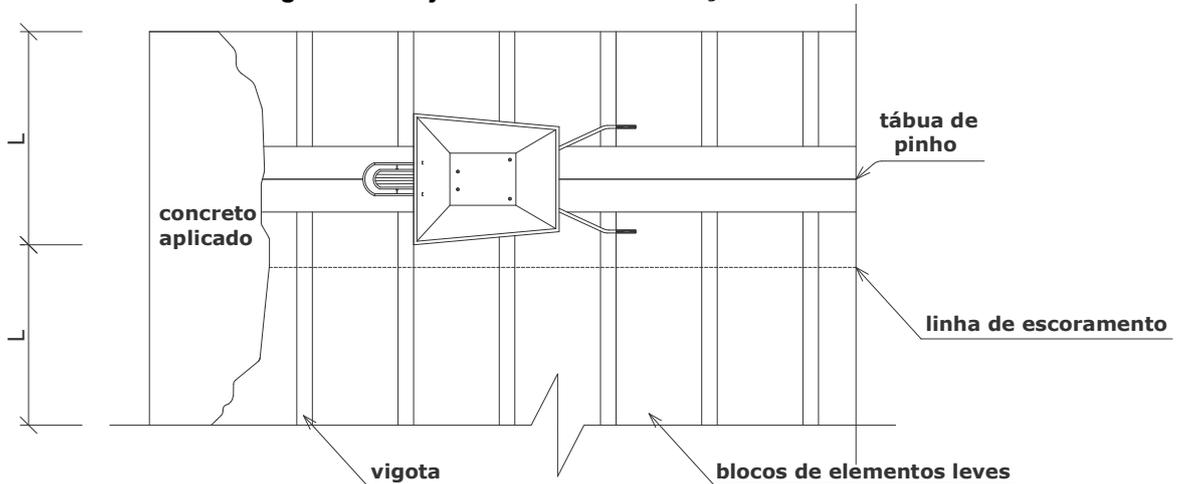
3.2.1 Carregamento de construção

Realizou-se a verificação do carregamento de construção, e para a realização do mesmo foram considerados os pesos de elementos como, vigotas, elementos leves de enchimento, carrinho para transportar o concreto fresco e tábuas de pinho que seriam utilizadas para o transporte sobre a laje.

Os carrinhos que transportam concreto fresco circulam por lugares que ainda não foram concretados (Figura 27), a maneira com que os mesmos transmitem os

carregamentos sobre a laje, bem como suas propriedades geométricas, suprimem a ação de qualquer outro tipo de carregamento, sendo exceção o peso próprio das tábuas de pinho, das vigotas e dos elementos de enchimento.

Figura 27 - Laje em fase de construção



Fonte: adaptado de Gaspar (1997).

De acordo com Gaspar (1997), a ABNT NBR 8681:2003 cita que as lajes pré-fabricadas são submetidas a riscos de ocorrência dos estados limites últimos devido ao carregamento de construção, o qual deve ser considerado no cálculo das lajes.

A parte mais significativa dos carregamentos na etapa de construção se dá pelo somatório dos pesos do concreto fresco, dos carrinhos que transportam o mesmo, devendo essas cargas serem consideradas de curta duração.

De acordo com a ABNT NBR 8681:2003, para todas as ações variáveis, oriundas de carregamentos de construção ou excepcionais, incluindo os carregamentos acidentais móveis, deve-se utilizar um coeficiente de ponderação $\gamma_f = 1,2$, o qual foi aplicado para minoração do momento fletor máximo resistente.

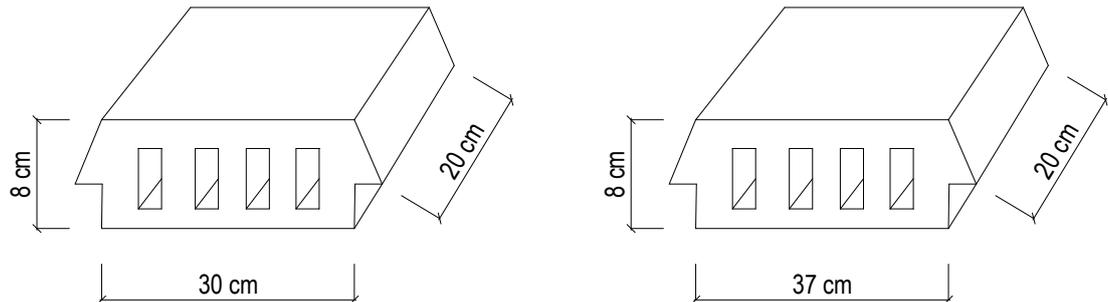
Após se calcular os pesos dos elementos atuantes nas lajes pré-fabricadas, deve-se considerar que os mesmos estejam assentados sobre a laje nos locais menos favoráveis. Segundo Gaspar (1997), na hipótese de o vão da laje ser inferior, porém próximo do comprimento determinado para a montagem de linhas de escoramento, por segurança, deve-se utilizar no mínimo uma linha de escoras no centro desse vão.

3.2.1.1 Cargas

Para obtenção do carregamento de construção, calculou-se os pesos de cada um dos elementos que o integram.

3.2.1.1.1 Lajota cerâmica

Figura 28 - Lajotas cerâmicas utilizadas



Fonte: Autor, 2017.

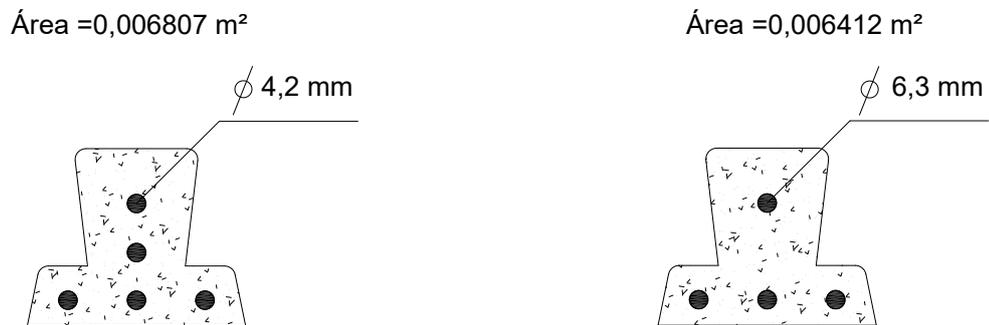
Peso das lajotas cerâmicas (Fabricante A, 8cm x 30cm x 20cm), conforme Figura 28 → 3,636 kg \cong 0,036 kN

Peso das lajotas cerâmicas (Fabricante B, 8cm x 30cm x 20cm), conforme Figura 28 → 4,224 kg \cong 0,042 kN

3.2.1.1.2 Vigotas

Realizou-se uma média das propriedades geométricas de dois modelos de vigotas (Figura 29) para que fosse possível calcular a área aproximada das mesmas, posteriormente calculou-se o peso por metro linear das vigotas adotadas. Considerou-se 25 kN/m³ o peso do concreto já com o aço.

Figura 29 - Área das vigotas adotadas para cálculo



Fonte: Autor, 2017.

- Peso por metro linear das vigotas com 5 barras de $\phi = 4,2$ mm → Fabricante A

$$V = 0,006807 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m} = 0,006807 \text{ m}^3$$

$$P = 0,006807 \text{ m}^3 \times 25 \text{ kN/m}^3 \cong 0,1701 \text{ kN/m}$$

- Peso por metro linear das vigotas com 4 barras de $\phi = 6,3$ mm → Fabricante B

$$V = 0,006412 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m} = 0,006412 \text{ m}^3$$

$$P = 0,006412 \text{ m}^3 \times 25 \text{ kN/m}^3 \cong 0,1603 \text{ kN/m}$$

3.2.1.1.3 Carrinho de transporte para concreto fresco

$$\text{Volume total} = 0,083 \text{ m}^3 \rightarrow \text{volume transportável} = 0,076 \text{ m}^3$$

$$\text{Capacidade máxima de concreto fresco} \rightarrow 2 \text{ kN}$$

$$\text{Peso do concreto } 0,076 \times 24 = 1,82 \text{ kN}$$

$$\text{Peso próprio do carrinho} \rightarrow 0,3 \text{ kN}$$

$$\text{Total} = 2,12 \text{ kN}$$

3.2.1.1.4 Tábua de pinho

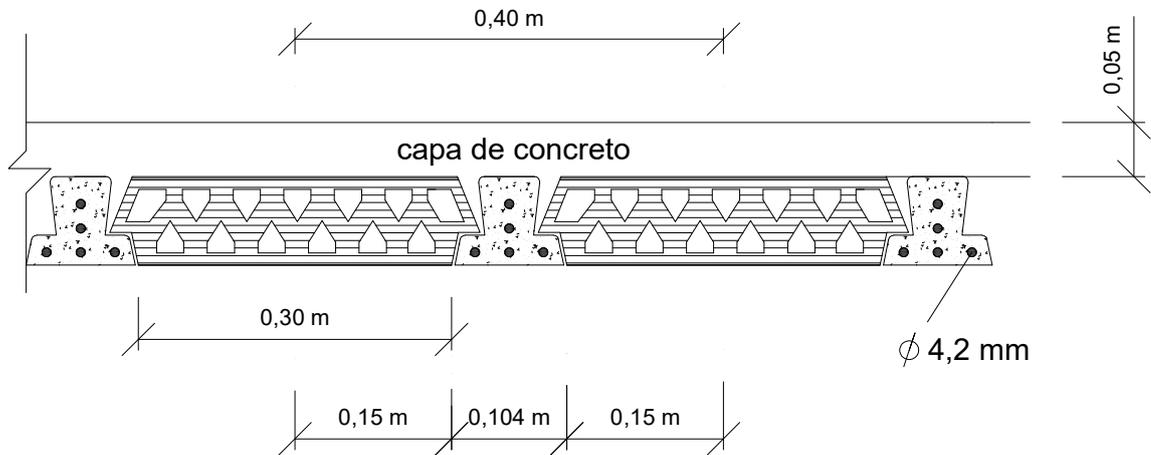
As tábuas de pinho usuais possuem 30 cm de largura, de modo que se possa

circular sobre as lajes que estão sendo executadas. De acordo com a ABNT NBR 6120:1980, o peso específico do pinho é de 5 kN/m³, tem-se:

$$(0,03 \times 0,30 \times 1,00) = 0,045 \text{ kN/m} \quad (15)$$

3.3 Lajes montadas com vigotas de armadura protendida

Figura 30 - Laje montada com vigotas protendidas e lajotas cerâmicas



Fonte: Autor, 2017.

O primeiro caso foi calculado com Vigota H-8 com 5 barras de $\phi = 4,2$ mm e lajotas cerâmicas de dimensões 8 cm x 30 cm x 20 cm, conforme ilustrado na figura 30.

- Carregamento distribuído por m^2 de laje

$$\text{Consumo de vigota} \rightarrow \frac{1,0}{0,4} = 2,50 \text{ m/m}^2 \times 0,1701 = 0,425 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Consumo de lajotas cerâmicas} \rightarrow \frac{2,50}{0,20} = 12,5 \text{ lajotas cerâmicas/m}^2$$

$$\text{Então, } 12,5 \times (0,036) = 0,450 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Concreto da capa} \rightarrow h_{\text{capa}} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 0,05 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 1,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Total} = 2,125 \text{ kN/m}^2$$

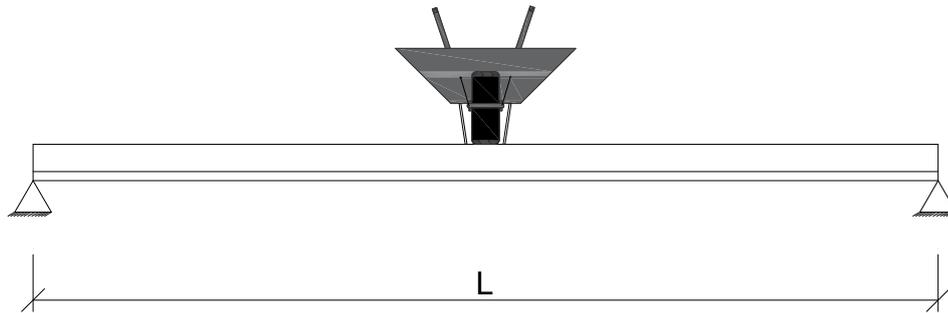
- Cargas concentradas

$$\text{Peso do carrinho com } 0,076 \text{ m}^3 \text{ de concreto} \rightarrow 2,12 \text{ kN}$$

$$\text{Peso das tábuas de pinho} \rightarrow 2 \times (0,045 \times 0,4) = 0,036 \text{ kN}$$

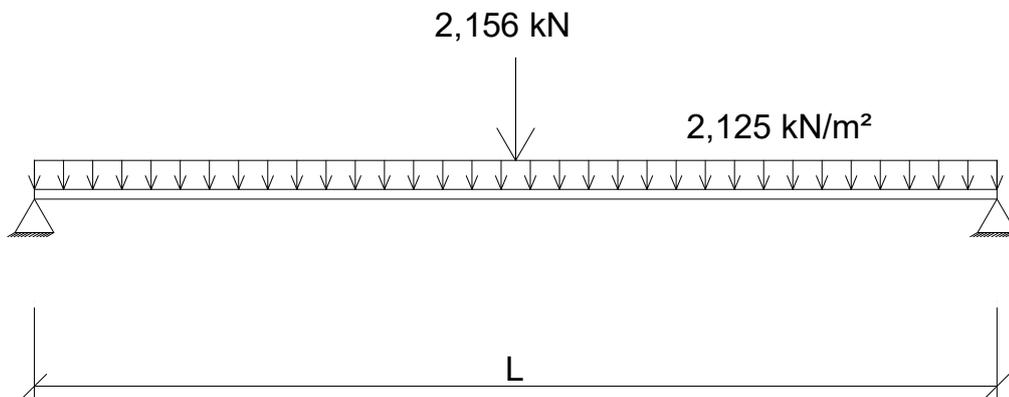
$$\text{Total} = 2,156 \text{ kN}$$

Figura 31 - Ilustração de cargas atuantes na laje durante a fase de construção



Fonte: Autor, 2017.

Figura 32 - Esquema de cargas atuantes na laje durante a fase de construção



Fonte: Autor 2017.

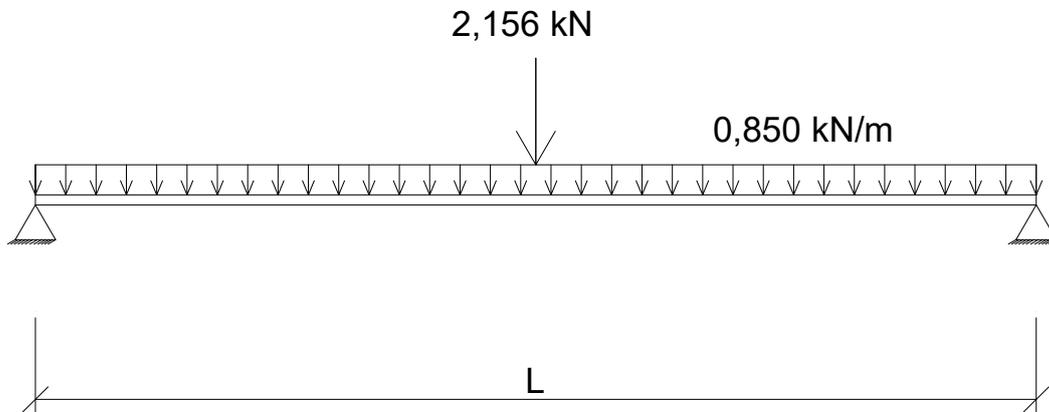
Logo, a roda do carrinho aplicará uma carga concentrada de $P = 2,156 \text{ kN}$ conforme ilustrado pelas Figuras 31 e 32.

A distância entre os eixos das vigotas, com o tipo de lajota cerâmica escolhida, é $0,40 \text{ m}$. Sendo assim, o carregamento distribuído por metro linear da vigota será:

$$q = 2,125 \text{ kN/m}^2 \times 0,4 \text{ m} = 0,850 \text{ kN/m} \quad (16)$$

A Figura 33 ilustra o esquema dos carregamentos concentrados e distribuídos atuantes na laje durante a fase de construção, os quais foram determinados na primeira combinação de cargas.

Figura 33 - Esquema das cargas encontradas na primeira combinação



Fonte: Autor, 2017.

$$M_{\text{resistente,m\u00e9dio}} = 370,35 \text{ kN.cm} = 3,70 \text{ kN.m} \quad (17)$$

Aplicando o coeficiente de pondera\u00e7\u00e3o adotado $\gamma = 1,2$, para minora\u00e7\u00e3o do momento fletor m\u00e9dio resistente, tem-se:

$$M_{\text{resistente,m\u00e9dio}} = \frac{3,70}{1,2} = 3,086 \text{ kN.m} \quad (18)$$

Para calcular o v\u00e3o m\u00e1ximo aplicou-se o momento resistente m\u00e9dio, a carga distribuída e a carga concentrada na seguinte equa\u00e7\u00e3o:

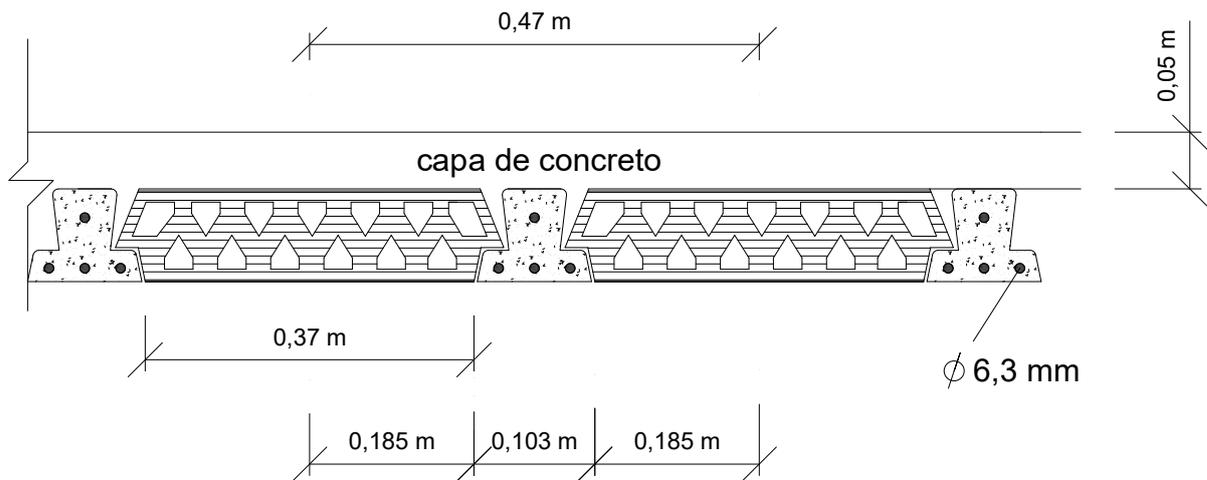
$$M = \frac{P \cdot L}{4} + \frac{q \cdot L^2}{8} \quad (19)$$

$$3,086 = \frac{2,156 \cdot L}{4} + \frac{2,125 \cdot L^2}{8} \quad (20)$$

Logo, $L = 2,54 \text{ m}$.

O segundo caso foi calculado com Vigota H-8 com 4 barras de $\phi = 6,3 \text{ mm}$ e lajotas cer\u00e2micas de dimens\u00f5es $8 \text{ cm} \times 37 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$, conforme ilustrado na Figura 34.

Figura 34 - Laje montada com vigotas protendidas e lajotas cerâmicas



Fonte: Autor, 2017.

- Carregamento distribuído por m² de laje

$$\text{Consumo de vigota} \rightarrow \frac{1,0}{0,47} = 2,12 \text{ m/m}^2 \times 0,1603 = 0,339 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Consumo de lajotas cerâmicas} \rightarrow \frac{2,12}{0,20} = 10,6 \text{ lajotas cerâmicas/m}^2$$

$$\text{Então, } 10,6 \times (0,042) = 0,445 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Concreto da capa} \rightarrow h_{\text{capa}} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 0,05 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 1,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Total} = 2,034 \text{ kN/m}^2$$

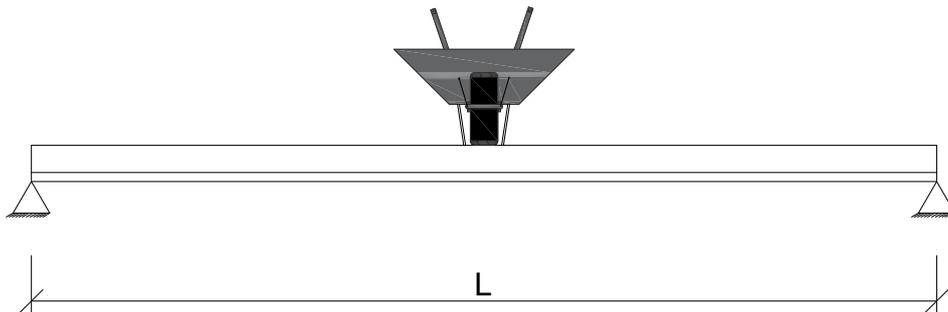
- Cargas concentradas

$$\text{Peso do carrinho com } 0,076 \text{ m}^3 \text{ de concreto} \rightarrow 2,12 \text{ kN}$$

$$\text{Peso das tábuas de pinho} \rightarrow 2 \times (0,045 \times 0,4) = 0,036 \text{ kN}$$

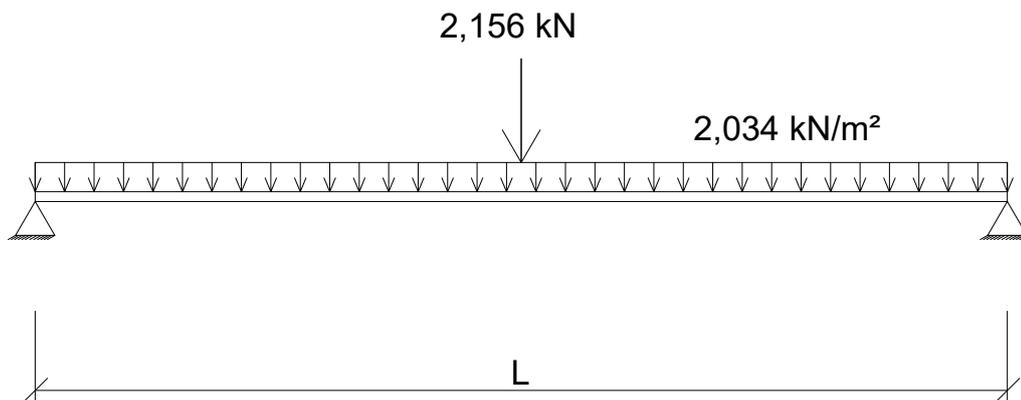
$$\text{Total} = 2,156 \text{ kN}$$

Figura 35 - Ilustração de cargas atuantes na laje durante a fase de construção



Fonte: Autor, 2017.

Figura 36 - Esquema de cargas atuantes na laje durante a fase de construção



Fonte: Autor, 2017.

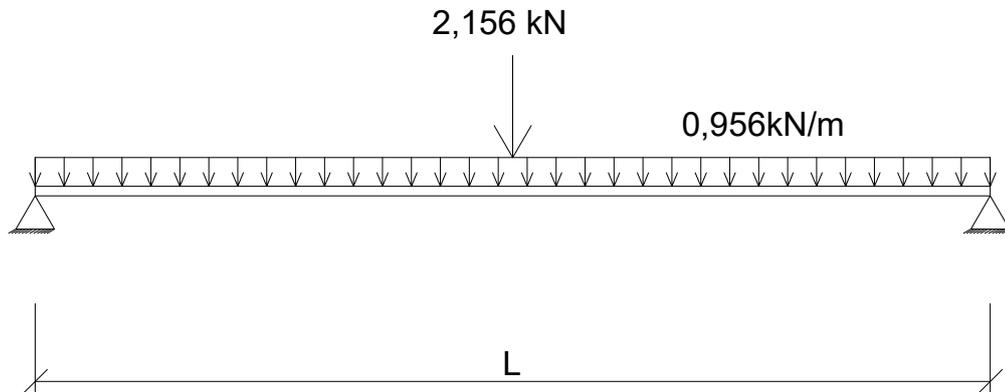
Logo, a roda do carrinho aplicará uma carga concentrada de $P = 2,156 \text{ kN}$ conforme ilustrado pelas Figuras 35 e 36.

A distância entre os eixos das vigotas, com o tipo de lajota cerâmica escolhida, é $0,47 \text{ m}$. Sendo assim, o carregamento distribuído por metro linear da vigota será:

$$q = 2,034 \times 0,47 = 0,956 \text{ kN/m} \quad (21)$$

A Figura 37 ilustra o esquema dos carregamentos concentrados e distribuídos atuantes na laje durante a fase de construção, os quais foram determinados na segunda combinação de cargas.

Figura 37 - Esquema das cargas encontradas na segunda combinação



Fonte: Autor 2017.

$$M_{\text{resistente,m\u00e9dio}} = 310,50 \text{ kN.cm} = 3,10 \text{ kN.m} \quad (21)$$

Aplicando o coeficiente de pondera\u00e7\u00e3o adotado $\gamma = 1,2$, para minora\u00e7\u00e3o do momento fletor m\u00e9dio resistente, tem-se:

$$M_{\text{resistente,m\u00e9dio}} = \frac{3,10}{1,2} = 2,583 \text{ kN.m} \quad (22)$$

Para calcular o v\u00e3o m\u00e1ximo aplicou-se o momento resistente m\u00e9dio, a carga distribuída e a carga concentrada na seguinte equa\u00e7\u00e3o:

$$M = \frac{P \cdot L}{4} + \frac{q \cdot L^2}{8} \quad (23)$$

$$2,583 = \frac{2,156 \cdot L}{4} + \frac{2,034 \cdot L^2}{8} \quad (24)$$

Logo, $L = 2,30 \text{ m}$.

Este roteiro de c\u00e1lculo foi utilizado para obter os momentos resistentes m\u00e9dios e os v\u00e3os m\u00e1ximos das demais vigotas ensaiadas que est\u00e3o apresentados no Quadro 12.

Quadro 12 - Vão máximo (L) suportado pela vigota sem a necessidade de escoramento

Vigotas – Fabricante A (Lajota cerâmica → 8 cm x 30 cm x 20 cm)	M resistente médio (kN.m)	L (m)
c/ 5 barras de $\phi = 4,2$ mm p/ 4,2 m de comprimento	3,086	2,54
c/ 7 barras de $\phi = 4,2$ mm p/ 4,0 m de comprimento	2,310	2,10
c/ 5 barras de $\phi = 4,2$ mm p/ 3,0 m de comprimento	2,175	2,02
c/ 4 barras de $\phi = 4,2$ mm p/ 4,0 m de comprimento	3,010	2,51
Vigotas – Fabricante B (Lajota cerâmica → 8 cm x 37 cm x 20 cm)	M resistente médio (kN.m)	L (m)
c/ 4 barras de $\phi = 6,3$ mm p/ 4,0 m de comprimento	2,583	2,30
c/ 4 barras de $\phi = 4,2$ mm p/ 3,5 m de comprimento	2,040	1,96

Fonte: Autor, 2017.

4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Realizou-se neste trabalho análises teóricas e experimentais acerca das lajes pré-moldadas com vigotas em concreto armado, seus componentes e a necessidade de escoramento dessas estruturas durante o processo construtivo, levando em consideração, principalmente, o que preconizam as normas ABNT NBR 15696:2009 e ABNT NBR 14859:2016.

O presente estudo aponta diretrizes e sugere alguns padrões a serem considerados no projeto de escoramento das lajes, para que este seja planejado de maneira segura, através de combinações das cargas atuantes na estrutura durante o período de execução e da elaboração de um quadro, onde constam cada modelo de vigota, os momentos médios resistidos pelas mesmas, e os vãos máximos suportados por essas estruturas sem a necessidade de escoramento.

Com base nas análises experimentais das lajetas cerâmicas pode-se concluir que embora a carga suportada nos ensaios tenha sido bastante superior à durante a sua utilização, para os três fabricantes analisados as dimensões ficaram fora dos padrões de tolerância exigidos pela ABNT NBR 14859:2016.

Por meio de inspeção visual e das medições realizadas nos materiais antes de serem submetidos ao ensaio, verificou-se que o Fabricante A teve aproximadamente 76,9% de não conformidades nas dimensões de seus elementos de enchimento, o Fabricante B teve aproximadamente 7,69% de não conformidades, e o Fabricante C 100%. Tais informações estão detalhadas no Anexo C.

No que se refere as vigotas de armadura protendida, pode-se constatar por meio inspeção visual e medições, que as mesmas também se encontram fora dos padrões de tolerância exigidos pela norma vigente ABNT NBR 14859:2016. Os dados obtidos estão descritos detalhadamente no Anexo D.

O quadro 13 apresenta o momento resistente médio de cada uma das vigotas ensaiadas e os vãos máximos que cada uma é capaz de suportar sem a necessidade de escoramento, lembrando que o peso do funcionário não foi considerado durante o cálculo do carregamento de construção.

Através das análises e ensaios experimentais realizados ao longo deste trabalho, pode-se sugerir para futuros estudos, a comparação do sistema de escoramento em lajes pré-moldadas com vigotas de concreto armado de armadura simples em relação as vigotas com armadura protendida, podendo realizar os

ensaios de momentos fletores negativos para as vigotas com a definição de padrões de escoramento ao longo da mesma e a verificação das flechas para o carregamento de construção.

Pelo fato de o tema em questão não possuir amplo material de pesquisas, é possível observar que o presente estudo serviu para fomentar a bibliografia a respeito do sistema de escoramento das lajes pré-moldadas, sendo fonte de grande aprendizado no que se refere a análises experimentais de estruturas como as lajes e seus componentes construtivos, ampliando conhecimentos adquiridos ao longo do curso e aprimorando o entendimento prático sobre o assunto.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, José Milton. *Curso de concreto armado*. Rio Grande: Dunas, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6355: Perfis estruturais de aço formados a frio – padronização*. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. *NBR 7190: Projetos de estrutura de madeira*. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

_____. *NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto em edifícios*. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. *NBR 8953: Concreto para fins estruturais – classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência*. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. *NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado*. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. *NBR 12655: Concreto de cimento Portland – preparo, controle, recebimento e aceitação – procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. *NBR 14229: Ligas de alumínio – perfis extrudados sólidos ou tubulares para fins estruturais – requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. *NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio*. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. *NBR 14859-1: Lajes pré-fabricadas de concreto – Parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis – Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. *NBR 14859-2: Lajes pré-fabricadas de concreto – Parte 2: Elementos inertes para enchimento e fôrma – Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. *NBR 15696: Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. *NBR 8681:2003: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ATAÍDE, C. A. V.; CORRÊA, M. R. S. Estudo comparativo do método das tensões admissíveis e o método dos estados limites para a alvenaria estrutural. *Cadernos de Engenharia de Estruturas*, São Carlos, v. 8, n. 34, p. 105-134, 2006.

BARCELOS, Carlos Antonio Andrade. *Cimbramento para estruturas de concreto armado*. 2014. 23 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2014.

CARMO, Eduardo João Zanotto do. *Fôrmas e escoramentos*. 2007. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Universidade São Francisco, Itatiba, 2007.

- GASPAR, Ricardo. *Análise da segurança estrutural das lajes pré-fabricadas na fase de construção*. 1997. 103 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- GUERRIN, A.; LAVAU, R. *Tratado de concreto armado: estruturas de residências e indústrias*. São Paulo: Hemus, 2002.
- NAZAR, Nilton. *Fôrmas e escoramentos para edifícios: critérios para dimensionamento e escolha do sistema*. São Paulo: Pini, 2007.
- SALVADOR, Paulo Fernando. *Investigação teórica e experimental da transferência de cargas entre pavimentos de concreto escorados*. 2013. 208 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- SOUZA, V. C. M.; CUNHA, A. J. P. *Lajes em concreto armado e protendido*. Niterói: EDUFF, 1998.
- VOLKWEIS, Débora. *Madeiras para fôrmas e escoramentos de estruturas*. 2009. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2009.
- WEIMER, Bianca Funk. *Estudo sobre os critérios para o projeto estrutural do sistema de escoramentos de lajes de concreto armado em edificações comerciais*. 2014. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

ANEXO A – Lajota cerâmica (LC) – Ruptura Frágil

Designação	Altura a h_e mm	Largura b_e mm	Comprimento C mm	Largura do apoio a_h mm	Altura do Apoio a_v mm
Hc 6/27/c	60 ± 3	270 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 7/27/c	70 ± 3	270 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 8/27/c	80 ± 3	270 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 10/27/c	100 ± 3	270 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 12/27/c	120 ± 3	270 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 16/27/c	160 ± 3	270 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 20/27/c	200 ± 4	270 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 24/27/c	240 ± 4	270 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 29/27/c	290 ± 4	270 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 6/30/c	60 ± 3	300 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 7/30/c	70 ± 3	300 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 8/30/c	80 ± 3	300 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 10/30/c	100 ± 3	300 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 12/30/c	120 ± 3	300 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 16/30/c	160 ± 3	300 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 20/30/c	200 ± 4	300 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 24/30/c	240 ± 4	300 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 29/30/c	290 ± 4	300 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 6/32/c	60 ± 3	320 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 7/32/c	70 ± 3	320 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 8/32/c	80 ± 3	320 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 10/32/c	100 ± 3	320 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 12/32/c	120 ± 3	320 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 16/32/c	160 ± 3	320 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 20/32/c	200 ± 4	320 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 24/32/c	240 ± 4	320 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 29/32/c	290 ± 4	320 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2

Hc 7/37/c	70 ± 3	370 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 8/37/c	80 ± 3	370 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 10/37/c	100 ± 3	370 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 12/37/c	120 ± 3	370 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 16/37/c	160 ± 3	370 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 20/37/c	200 ± 4	370 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 24/37/c	240 ± 4	370 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 29/37/c	290 ± 4	370 ± 3	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 8/40/c	80 ± 3	400 ± 4	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 10/40/c	100 ± 3	400 ± 4	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 12/40/c	120 ± 3	400 ± 4	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 16/40/c	160 ± 3	400 ± 4	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 20/40/c	200 ± 4	400 ± 4	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 24/40/c	240 ± 4	400 ± 4	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 29/40/c	290 ± 4	400 ± 4	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 10/47/c	100 ± 3	470 ± 5	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 12/47/c	120 ± 3	470 ± 5	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 16/47/c	160 ± 3	470 ± 5	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 20/47/c	200 ± 4	470 ± 5	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 24/47/c	240 ± 4	470 ± 5	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 29/47/c	290 ± 4	470 ± 5	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 10/50/c	100 ± 3	500 ± 5	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 12/50/c	120 ± 3	500 ± 5	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 16/50/c	160 ± 3	500 ± 5	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 20/50/c	200 ± 4	500 ± 5	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 24/50/c	240 ± 4	500 ± 5	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
Hc 29/50/c	290 ± 4	500 ± 5	(100; 200 e 250) ± 3	15 + 3	30 ± 2
a – poderão ser usadas alturas diferentes, por meio de acordo preliminar e expresso entre o comprador e fornecedores e devem atender à todas especificações da ABNT NBR 14859-2:2016.					

Fonte: adaptado de ABNT NBR 14859-2:2016.

ANEXO B – Lajota de EPS (LEPS) – Ruptura Dúctil

Designação	Altura a <i>h_e</i> mm	Lagura <i>b_e</i> mm	Comprimento C mm	Largura do apoio <i>a_h</i> mm	Altura do Apoio <i>a_v</i> mm
He 6/27/c	60 ± 3	270 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 7/27/c	70 ± 3	270 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 8/27/c	80 ± 3	270 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 10/27/c	100 ± 3	270 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 12/27/c	120 ± 3	270 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 16/27/c	160 ± 3	270 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 20/27/c	200 ± 4	270 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 24/27/c	240 ± 4	270 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 29/27/c	290 ± 4	270 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 6/30/c	60 ± 3	300 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 7/30/c	70 ± 3	300 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 8/30/c	80 ± 3	300 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 10/30/c	100 ± 3	300 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 12/30/c	120 ± 3	300 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 16/30/c	160 ± 3	300 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 20/30/c	200 ± 4	300 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 24/30/c	240 ± 4	300 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 29/30/c	290 ± 4	300 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 6/32/c	60 ± 3	320 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 7/32/c	70 ± 3	320 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 8/32/c	80 ± 3	320 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 10/32/c	100 ± 3	320 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 12/32/c	120 ± 3	320 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 16/32/c	160 ± 3	320 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 20/32/c	200 ± 4	320 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 24/32/c	240 ± 4	320 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 29/32/c	290 ± 4	320 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2

He 7/37/c	70 ± 3	370 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 8/37/c	80 ± 3	370 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 10/37/c	100 ± 3	370 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 12/37/c	120 ± 3	370 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 16/37/c	160 ± 3	370 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 20/37/c	200 ± 4	370 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 24/37/c	240 ± 4	370 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 29/37/c	290 ± 4	370 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 8/40/c	80 ± 3	400 ± 4	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 10/40/c	100 ± 3	400 ± 4	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 12/40/c	120 ± 3	400 ± 4	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 16/40/c	160 ± 3	400 ± 4	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 20/40/c	200 ± 4	400 ± 4	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 24/40/c	240 ± 4	400 ± 4	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 29/40/c	290 ± 4	400 ± 4	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 10/47/c	100 ± 3	470 ± 5	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 12/47/c	120 ± 3	470 ± 5	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 16/47/c	160 ± 3	470 ± 5	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 20/47/c	200 ± 4	470 ± 5	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 24/47/c	240 ± 4	470 ± 5	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 29/47/c	290 ± 4	470 ± 5	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 10/50/c	100 ± 3	500 ± 5	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 12/50/c	120 ± 3	500 ± 5	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 16/50/c	160 ± 3	500 ± 5	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 20/50/c	200 ± 4	500 ± 5	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 24/50/c	240 ± 4	500 ± 5	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 29/50/c	290 ± 4	500 ± 5	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
a – poderão ser usadas alturas diferentes, por meio de acordo preliminar e expresso entre o comprador e fornecedores e devem atender à todas especificações da ABNT NBR 14859-2:2016.					

Fonte: adaptado de ABNT NBR 14859-2:2016.

ANEXO C – Verificação dos padrões conforme ABNT NBR 14859-2:2016

Fornecedor A - Lajota 8x30x20							
Dimensões (cm)	b_e	c	h_e	a_v	a_h	Massa (kg)	Conforme/ Não conforme
Lajota 1	30,0	20,0	8,0	3,00	1,60	3,676	Conforme
Lajota 2	30,0	20,2	7,7	2,70	1,60	3,632	Não conforme
Lajota 3	30,0	20,2	7,6	2,70	1,60	3,634	Não conforme
Lajota 4	30,0	20,5	7,8	2,91	1,70	3,663	Não conforme
Lajota 5	30,0	20,4	7,6	2,91	1,68	3,635	Não conforme
Lajota 6	30,0	20,0	7,7	2,91	1,76	3,626	Conforme
Lajota 7	30,0	20,4	7,7	2,92	1,79	3,642	Não conforme
Lajota 8	30,0	20,4	7,6	2,91	1,65	3,634	Não conforme
Lajota 9	30,0	20,4	7,7	2,92	1,78	3,635	Não conforme
Lajota 10	30,0	20,4	7,8	2,93	1,77	3,626	Não conforme
Lajota 11	30,0	20,2	7,7	2,90	1,69	3,624	Conforme
Lajota 12	30,0	20,5	7,7	2,89	1,92	3,635	Não conforme
Lajota 13	30,0	20,1	7,8	2,93	1,88	3,613	Não conforme

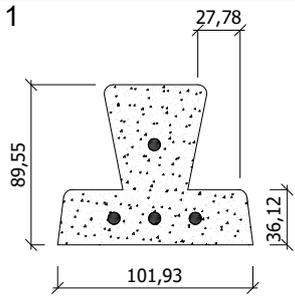
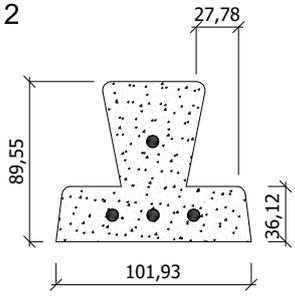
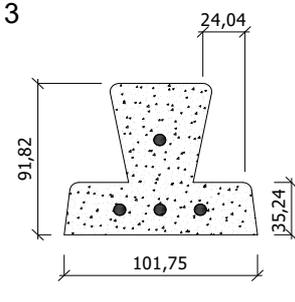
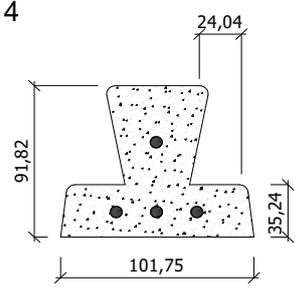
Fornecedor B - Lajota 8x37x20							
Dimensões (cm)	b_e	c	h_e	a_v	a_h	Massa (kg)	Conforme/ Não conforme
Lajota 1	37,0	20,0	7,94	3,10	1,67	4,260	Conforme
Lajota 2	37,0	19,5	7,82	2,97	1,67	4,178	Não conforme
Lajota 3	37,0	20,0	7,80	3,10	1,69	4,260	Conforme
Lajota 4	37,0	20,0	7,95	3,10	1,62	4,219	Conforme
Lajota 5	37,0	20,0	7,91	3,00	1,60	4,171	Conforme
Lajota 6	37,0	20,0	7,88	3,10	1,52	4,134	Conforme
Lajota 7	37,0	20,0	7,78	2,89	1,60	4,131	Conforme
Lajota 8	37,0	20,0	8,00	3,00	1,58	4,195	Conforme
Lajota 9	37,0	20,0	7,93	3,10	1,58	4,256	Conforme
Lajota 10	37,0	20,0	7,93	2,90	1,56	4,307	Conforme
Lajota 11	37,0	20,0	8,00	3,00	1,56	4,233	Conforme
Lajota 12	37,0	20,0	7,89	3,00	1,40	4,311	Conforme
Lajota 13	37,0	20,0	8,00	3,00	1,52	4,293	Conforme

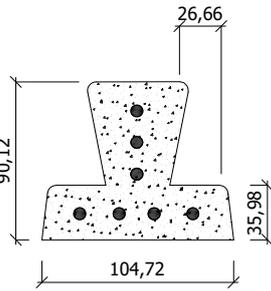
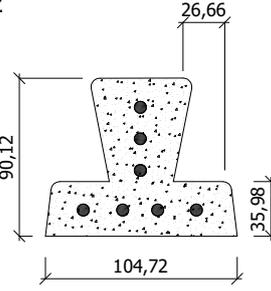
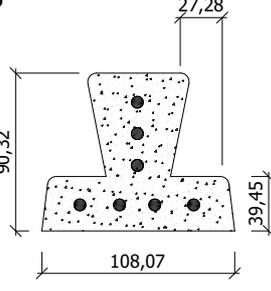
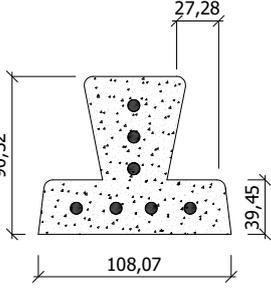
Fornecedor C - Lajota 8x30x20							
Dimensões (cm)	b_e	c	h_e	a_v	a_h	Massa (kg)	Conforme/ Não conforme
Lajota 1	30,0	20,0	7,69	3,59	1,68	4,023	Não conforme
Lajota 2	30,5	20,5	7,78	3,57	1,63	4,038	Não conforme
Lajota 3	31,0	20,5	7,79	3,58	1,49	3,975	Não conforme
Lajota 4	31,0	20,4	7,80	3,58	1,68	3,970	Não conforme
Lajota 5	30,7	20,4	7,83	3,48	1,68	3,979	Não conforme
Lajota 6	30,9	20,4	7,82	3,56	1,68	3,964	Não conforme
Lajota 7	30,5	20,4	7,88	3,47	1,66	3,981	Não conforme
Lajota 8	30,4	20,7	7,79	3,44	1,68	4,071	Não conforme
Lajota 9	31,0	20,6	7,58	3,47	1,62	4,046	Não conforme
Lajota 10	31,0	20,7	7,76	3,38	1,49	4,041	Não conforme
Lajota 11	31,0	20,5	7,60	3,52	1,66	4,036	Não conforme
Lajota 12	31,0	20,5	7,78	3,48	1,68	4,046	Não conforme
Lajota 13	30,7	20,4	7,58	3,53	1,57	3,985	Não conforme

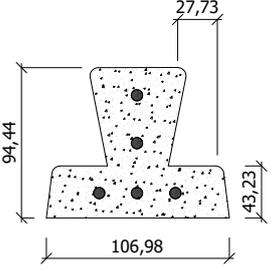
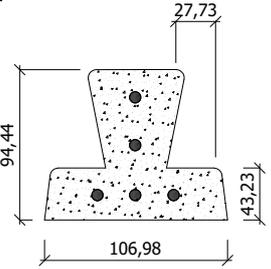
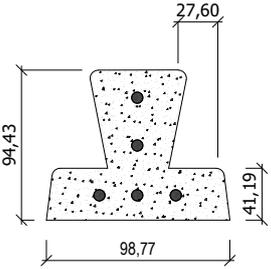
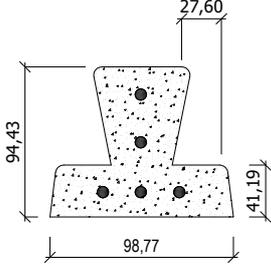
Fonte: Autor, 2017.

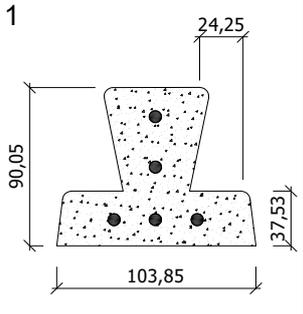
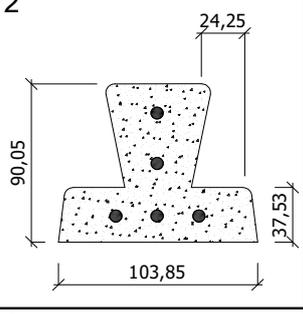
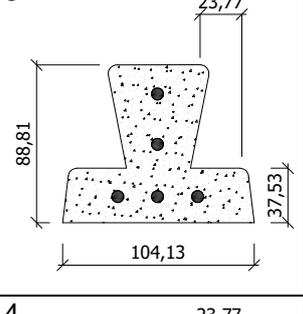
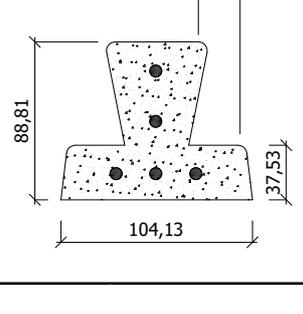
ANEXO D – Verificação das vigotas conforme ABNT NBR 14959-1: 2016

(Dimensões em mm)

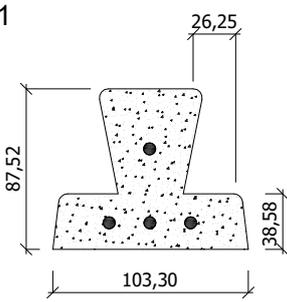
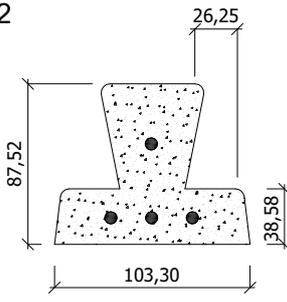
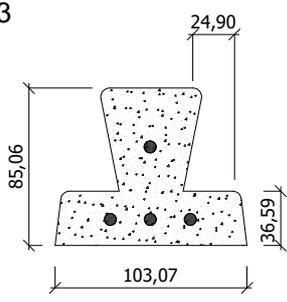
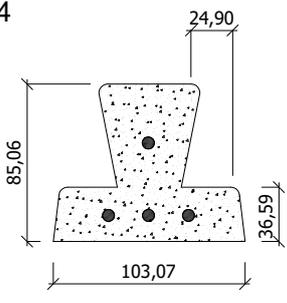
Fabricante A - Vigota 4 barras ($\phi = 4,2\text{mm}$) - 4,0 m de comprimento				
Amostra	Valor da amostra	Valor padrão	Tolerância	Diferença
<p>1</p> 	$b_v = 101,93$ $h_v = 89,55$ $h_b = 36,12$ $a_p = 27,78$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 1,93$ $h_v = 0,45$ $h_b = 6,12$ $a_p = 12,78$
<p>2</p> 	$b_v = 101,93$ $h_v = 89,55$ $h_b = 36,12$ $a_p = 27,78$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 1,93$ $h_v = 0,45$ $h_b = 6,12$ $a_p = 12,78$
<p>3</p> 	$b_v = 101,75$ $h_v = 91,82$ $h_b = 35,24$ $a_p = 24,04$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 1,75$ $h_v = 1,82$ $h_b = 5,24$ $a_p = 9,04$
<p>4</p> 	$b_v = 101,75$ $h_v = 91,82$ $h_b = 35,24$ $a_p = 24,04$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 1,75$ $h_v = 1,82$ $h_b = 5,24$ $a_p = 9,04$

Fabricante A - Vigota 7 barras ($\phi = 4,2\text{mm}$) - 3,5 m de comprimento				
Amostra	Valor da amostra	Valor padrão	Tolerância	Diferença
<p>1</p> 	$b_v = 104,72$ $h_v = 90,12$ $h_b = 35,98$ $a_p = 26,66$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 4,72$ $h_v = 0,12$ $h_b = 5,98$ $a_p = 11,66$
<p>2</p> 	$b_v = 104,72$ $h_v = 90,12$ $h_b = 35,98$ $a_p = 26,66$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 4,72$ $h_v = 0,12$ $h_b = 5,98$ $a_p = 11,66$
<p>3</p> 	$b_v = 108,07$ $h_v = 90,32$ $h_b = 39,45$ $a_p = 27,28$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 8,07$ $h_v = 0,32$ $h_b = 9,45$ $a_p = 12,28$
<p>4</p> 	$b_v = 108,07$ $h_v = 90,32$ $h_b = 39,45$ $a_p = 27,28$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 8,07$ $h_v = 0,32$ $h_b = 9,45$ $a_p = 12,28$

Fabricante A - Vigota 5 barras ($\phi = 4,2\text{mm}$) - 3,0 m de comprimento				
Amostra	Valor da amostra	Valor padrão	Tolerância	Diferença
<p>1</p> 	$b_v = 106,98$ $h_v = 94,44$ $h_b = 43,23$ $a_p = 27,73$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 6,98$ $h_v = 4,44$ $h_b = 13,23$ $a_p = 12,73$
<p>2</p> 	$b_v = 106,98$ $h_v = 94,44$ $h_b = 43,23$ $a_p = 27,73$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 6,98$ $h_v = 4,44$ $h_b = 13,23$ $a_p = 12,73$
<p>3</p> 	$b_v = 98,77$ $h_v = 94,43$ $h_b = 41,19$ $a_p = 27,60$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 1,23$ $h_v = 4,43$ $h_b = 11,19$ $a_p = 12,60$
<p>4</p> 	$b_v = 98,77$ $h_v = 94,43$ $h_b = 41,19$ $a_p = 27,60$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 1,23$ $h_v = 4,43$ $h_b = 11,19$ $a_p = 12,60$

Fabricante A - Vigota 5 barras ($\phi = 4,2\text{mm}$) - 4,2 m de comprimento				
Amostra	Valor da amostra	Valor padrão	Tolerância	Diferença
<p>1</p> 	$b_v = 103,85$ $h_v = 90,05$ $h_b = 37,53$ $a_p = 24,25$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 3,85$ $h_v = 0,05$ $h_b = 7,53$ $a_p = 9,25$
<p>2</p> 	$b_v = 103,85$ $h_v = 90,05$ $h_b = 37,53$ $a_p = 24,25$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 3,85$ $h_v = 0,05$ $h_b = 7,53$ $a_p = 9,25$
<p>3</p> 	$b_v = 104,14$ $h_v = 88,81$ $h_b = 37,53$ $a_p = 23,77$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 4,14$ $h_v = 1,19$ $h_b = 7,53$ $a_p = 8,77$
<p>4</p> 	$b_v = 104,14$ $h_v = 88,81$ $h_b = 37,53$ $a_p = 23,77$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 4,14$ $h_v = 1,19$ $h_b = 7,53$ $a_p = 8,77$

Fabricante B - Vigota 4 barras ($\phi = 4,2\text{mm}$) - 3,5 m de comprimento				
Amostra	Valor da amostra	Valor padrão	Tolerância	Diferença
<p>1</p>	$b_v = 103,89$ $h_v = 89,01$ $h_b = 40,77$ $a_p = 26,45$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 3,89$ $h_v = 0,99$ $h_b = 10,77$ $a_p = 11,45$
<p>2</p>	$b_v = 103,89$ $h_v = 89,01$ $h_b = 40,77$ $a_p = 26,45$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 3,89$ $h_v = 0,99$ $h_b = 10,77$ $a_p = 11,45$
<p>3</p>	$b_v = 105,07$ $h_v = 89,34$ $h_b = 39,98$ $a_p = 27,31$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 5,07$ $h_v = 0,66$ $h_b = 9,98$ $a_p = 12,31$
<p>4</p>	$b_v = 105,07$ $h_v = 89,34$ $h_b = 39,98$ $a_p = 27,31$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 5,07$ $h_v = 0,66$ $h_b = 9,98$ $a_p = 12,31$

Fabricante B - Vigota 4 barras ($\phi = 6,3\text{mm}$) - 4,0 m de comprimento				
Amostra	Valor da amostra	Valor padrão	Tolerância	Diferença
<p>1</p> 	$b_v = 103,30$ $h_v = 87,52$ $h_b = 38,58$ $a_p = 26,25$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 3,3$ $h_v = 2,48$ $h_b = 8,58$ $a_p = 11,25$
<p>2</p> 	$b_v = 103,30$ $h_v = 87,52$ $h_b = 38,58$ $a_p = 26,25$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 3,3$ $h_v = 2,48$ $h_b = 8,58$ $a_p = 11,25$
<p>3</p> 	$b_v = 103,07$ $h_v = 85,06$ $h_b = 36,59$ $a_p = 24,90$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 3,07$ $h_v = 4,94$ $h_b = 6,59$ $a_p = 9,9$
<p>4</p> 	$b_v = 103,07$ $h_v = 85,06$ $h_b = 36,59$ $a_p = 24,90$	$b_v = 100$ $h_v = 90$ $h_b = 30$ $a_p = 15$	$b_v = \pm 2$ $h_v = \pm 2$ $h_b = \pm 1$ $a_p = \pm 1$	$b_v = 3,07$ $h_v = 4,94$ $h_b = 6,59$ $a_p = 9,9$

ANEXO E - Relatório de ensaio de ruptura por flexão em vigotas

UNISC LABORATÓRIO DE ESTRUTURAS

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL3000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **26/10/2017** Hora: **20:56:33** Trabalho n° **11318**
 Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Ensaio Flexão Lajes**
 Ident. Amostra: >>>> Disciplina: **TCC II - Nathália** Professor: **Donin** Material: **Vigota Protendida Rohr - 4.00 - 4 - CP1**

Corpo de Prova	Área (mm ²)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	79	15	195.75	191	0.83
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	78.54	15.37	195.8	190.7	0.8300
Mediana	78.54	15.37	195.8	190.7	0.8300
Desv. Padrão	*	*	*	*	*
Coef. Var. (%)	*	*	*	*	*
Mínimo	78.54	15.37	195.8	190.7	0.8300
Máximo	78.54	15.37	195.8	190.7	0.8300

