

## **ANÁLISE ACERCA DAS ESPECIFICAÇÕES PROPOSTAS PELA NORMA DE DESEMPENHO PARA EDIFÍCIOS COM LAJES PROTENDIDAS**

ELIÉDSON RAFAEL DE CARVALHO<sup>1</sup>, JULIANA LIRA BRITO DE CARVALHO<sup>2</sup>, JESIMIEL PINHEIRO CAVALCANTE<sup>3</sup>, MALLENA SOARES DA SILVA<sup>4</sup>, LUCAS WILLIAN AGUIAR MATTIAS<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Mestrando, Professor EBTT, IFAL, Palmeira dos Índios-AL, eliedson.carvalho@ifal.edu.br;

<sup>2</sup>Mestranda, Pesquisadora, IFAL, Marechal Deodoro-AL, jlb3@aluno.ifal.edu.br;

<sup>3</sup>Doutorando, Professor EBTT, IFAL, Palmeira dos Índios-AL, jesimiel.cavalcante@ifal.edu.br;

<sup>4</sup>Mestranda, Pesquisadora, IFAL, Marechal Deodoro-AL, mss75@aluno.ifal.edu.br;

<sup>5</sup>Mestre em Estruturas, Pesquisador, UFPR, Curitiba-PR, lucasmattias@ufpr.br;

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
15 a 17 de setembro de 2021

**RESUMO:** Em vigência desde 2013, a norma de desempenho, NBR 15575, estabelece o conjunto de requisitos de desempenho para uma edificação habitacional. Assim, devido ao crescente avanço no uso de lajes protendidas em edifícios, surge a necessidade de se investigar quais são as especificações da norma de desempenho para a edificação habitacional com esse tipo de laje. O presente trabalho tem como objetivo analisar a produção do conhecimento acerca dos procedimentos de avaliação do desempenho de edifícios com lajes protendidas, verificando quais são as especificações trazidas pela norma para esse tipo de edificação. Inicialmente, foi elaborada uma revisão sistemática nas normas vigentes, buscando estabelecer os critérios de avaliação de desempenho que dependem das lajes protendidas. Para esses critérios, são relacionados no artigo os métodos de avaliação, responsáveis pela execução, tipos de comprovação e qual a especificação para o caso de edifícios com lajes protendidas. De forma clara e objetiva, o trabalho traz o *checklist* que resume os requisitos, critérios e métodos de avaliação exigidos pela série de normas de desempenho, apontando os responsáveis e os procedimentos a serem seguidos para a análise de desempenho de edificações habitacionais com lajes de concreto protendido. Por fim, o artigo tem papel fundamental na produção do conhecimento acerca da análise de desempenho das edificações habitacionais com lajes protendidas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lajes protendidas, desempenho. norma de desempenho.

### **ANALYSIS ABOUT THE SPECIFICATIONS PROPOSED BY THE PERFORMANCE STANDARD FOR BUILDINGS WITH PRESTRESSED CONCRETE SLABS**

**ABSTRACT:** Effective since 2013, the Brazilian performance standard, NBR 15575, establishes the set of performance requirements for a housing building. Thus, due to the increasing progress in the use of prestressed slabs in buildings, it emerges the necessity to investigate the specifications of the performance standard for the residential building with this kind of slab. This research aims to analyze the knowledge production about the procedures of performance evaluation of buildings with prestressed slabs, verifying which are the specifications brought by the standard for this type of building. Initially, it was elaborated a systematic review on the current standards, seeking to establish the performance evaluation criteria that depend on prestressed slabs. For these criteria, the evaluation methods, responsible for the execution, proof types and the specification for buildings with prestressed slabs are listed in the article. In a clear and objective way, the research presents the checklist that summarizes the requirements, criteria and evaluation methods required by the Brazilian performance standards, pointing out the responsible ones and the procedures to be followed for the performance analysis of residential buildings with prestressed concrete slabs. Finally, the paper has a key role in the knowledge production about the performance analysis of residential buildings with prestressed slabs.

**KEYWORDS:** Prestressed slabs, performance, performance standard.

## **INTRODUÇÃO**

Nos últimos anos, a engenharia das estruturas passou por uma grande evolução. Desse modo, esse avanço fez com que o concreto protendido fosse cada vez mais adotado em obras brasileiras. Nas edificações habitacionais, uma das principais aplicações desse material está no sistema de lajes protendidas, uma alternativa prática, rápida e econômica comparada com o tradicional concreto armado (CAUDURO, 2003). Esta crescente na aplicação do sistema de lajes protendidas em edifícios residências revela a importância de se abordar o tema em trabalhos acadêmicos.

Apesar da enorme evolução das ferramentas e processos construtivos no setor da engenharia civil, os problemas que afetam o desempenho das edificações ainda se fazem presentes. Entre esses, os mais comuns são o aparecimento de rachaduras, infiltrações, falha nas instalações, problemas com conforto acústico e térmico, entre outros (PIRES, 2013). Assim, esse fato contribui no levantamento de questões acerca da qualidade e desempenho que as edificações devem oferecer ao consumidor.

Dentro desse contexto, um dos grandes desafios do setor da construção civil é fazer com que seja efetivamente aplicada a norma da ABNT NBR 15575 (2013) – Edificações habitacionais – Desempenho – que introduz uma série de ajustes para determinar requisitos de durabilidade e desempenho das unidades residenciais. Essas mudanças propostas pela norma afetam todo o campo da construção, envolvendo construtores, projetistas, fornecedores e laboratórios de materiais.

Em vigência desde 2013, a NBR 15575 regulamenta as exigências de desempenho para as edificações habitacionais. Apesar dos cinco anos de atividade, essa norma pode ser considerada recente. De acordo com Evangelista (2017), a NBR 15575 tem como proposta trazer mudanças para todo o setor da construção civil e isso tem causado um certo desconforto em todas as partes envolvidas. Assim, a realização de trabalhos que envolvam os conceitos da norma pode servir como fator facilitador no entendimento dos seus preceitos por parte dos interessados.

Este estudo tem como foco analisar, por meio de revisão bibliográfica, o conhecimento acerca da análise de desempenho dos sistemas lajes de concreto protendido quando aplicadas a edificações habitacionais, confrontando-o com os padrões normatizados vigentes.

## **NORMA DE DESEMPENHO APLICADA EM EDIFÍCIOS COM LAJES PROTENDIDAS – REQUISITOS E CRITÉRIOS**

Este tópico apresenta as principais exigências, critérios e métodos de avaliação de desempenho para os edifícios com lajes de concreto protendido. Para tanto, foram priorizados os critérios que estão necessariamente relacionados com o desempenho do sistema laje. Além disso, serão apresentadas as especificidades na análise de desempenho de lajes protendidas.

Os aspectos abordados nesse tópico são: desempenho quanto à segurança estrutural, segurança contra incêndio, desempenho acústico, durabilidade e manutenibilidade. Ao final, será apresentado um checklist, resumindo os procedimentos a serem seguidos para a análise de desempenho de edificações habitacionais com laje de concreto protendido, pontuando suas especificações.

### ***Desempenho quanto à Segurança Estrutural***

No que diz respeito ao desempenho quanto a segurança estrutural, a NBR 15575-2 (2013b) traz três requisitos que precisam ser avaliados para elementos estruturais: estabilidade e resistência estrutural; deformações e fissuração; e resistência à impactos.

O método de avaliação do requisito, estabilidade e resistência estrutural, é baseado em duas etapas: cálculos e ensaios. Os cálculos devem seguir as normas específicas, dependendo dos tipos de elementos estruturais utilizados. Os ensaios têm o intuito de comprovar que os materiais utilizados apresentam as resistências mínimas exigidas no projeto. No caso das lajes de concreto protendido, a norma que rege o cálculo dos elementos é a NBR 6118 (2014), garantindo que a estrutura apresenta capacidade resistente para os estados-limites últimos. Os materiais utilizados para a confecção de lajes protendidas já apresentam roteiro normatizados para o ensaio de resistência.

De acordo com a NBR 15575-2 (2013b), quando os elementos estruturais estiverem submetidos a ação de cargas gravitacionais, de temperatura, de vento, recalques diferenciais das fundações ou quaisquer outras solicitações passíveis de atuarem sobre a construção, conforme ABNT NBR 8681, os componentes estruturais não devem apresentar: deslocamentos maiores que os estabelecidos nas normas específicas para o tipo de material projeto estrutural ou, na falta de normas específica, usar os valores tabelados da NBR 15575-2; fissuras com aberturas maiores que os limites

indicados nas ABNT NBR 6118 e ABNT NBR 9062, ou outra norma específica para o método construtivo adotado ou abertura superior a 0,6 mm em qualquer situação.

Semelhante ao requisito anterior, o método de avaliação desse é baseado nas duas etapas, cálculos e ensaios, respeitando as exigências das suas respectivas normas específicas. Para os sistemas de lajes de concreto protendido, a NBR 6118 (2014) é responsável por determinar os deslocamentos-limites para o estado-limite de serviço.

Para os elementos de concreto protendido, o controle de fissuração é essencial para a proteção, principalmente, das armaduras ativas. Como visto, a força de protensão atua no controle das fissuras, porém ainda há uma probabilidade menor de que elas apareçam. De modo geral, a NBR 6118 (2014) permite, para as estruturas de concreto protendido, a presença de fissuras desde que respeitem os limites expressos nos itens da norma em relação ao tipo de concreto, classe de agressividade e tipo de protensão.

Segundo a NBR 15575-2 (2013b), o requisito de resistência à impactos de corpo mole e corpo duro, exige que o elemento resista à impactos de modo que não sofra ruptura ou instabilidade devido à aplicação de energias. Nessa parte da norma, são apresentadas várias tabelas com as energias que devem ser dissipadas para se alcançar os níveis de desempenho esperados, além dos roteiros de execução dos métodos de avaliação.

Como o intuito do trabalho é apresentar os requisitos que seriam aplicados a lajes de concreto protendido, a NBR 15575-2 (2013b) dispensa de verificação desse requisito as estruturas projetadas conforme a NBR 6118 (2014). Portanto, os sistemas de lajes protendidas são dispensados das verificações de impactos de corpo mole e de corpo duro. Contudo, a NBR 15575-2 (2013b) afirma que o cumprimento dos requisitos estabelecidos acima resulta no nível de desempenho mínimo (M).

### ***Desempenho quanto à Segurança Contra Incêndio***

O único requisito dessa parte da norma que está relacionado diretamente com o comportamento das lajes protendidas é o referente a segurança estrutural. Segundo a NBR 15575-1 (2013a), o foco desse requisito é minimizar o risco de colapso estrutural. Para isso, a edificação habitacional deve atender à ABNT NBR 14432 (2001) e às normas específicas para o tipo de estrutura que no caso das estruturas de concreto é ABNT NBR 15200 (2012).

Um dos principais aspectos que a NBR 14432 (2001) aborda é o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) cuja definição é tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio. Essa mesma norma traz os valores de TRRF para edificações residenciais em função da profundidade (subsolo) ou altura.

Em termos de lajes de concreto, a NBR 15200 (2012) apresenta seis tabelas que fornecem as dimensões mínimas para lajes e capas de lajes nervuradas com aquecimento na face inferior e o valor da distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face do concreto exposta ao fogo (c1), em função do TRRF. Vale ressaltar que os valores de c1 indicados nessas tabelas são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.

### ***Desempenho Acústico***

Sabendo que as lajes de concreto protendido, na maioria dos edifícios, funcionam como elementos estruturais associados aos pisos que trabalham na separação de ambientes, nesse caso, o método de avaliação do desempenho acústico passa a ser responsabilidade da NBR 15575-3 (2013c).

Desse modo, a NBR 15575-3 (2013c) apresenta os requisitos e critérios para a verificação do isolamento acústico do sistema de piso entre unidades. Basicamente, são considerados dois requisitos: o isolamento de ruído de impacto no sistema de piso (caminhamento, queda de objetos e outros) e o isolamento de ruído aéreo (conversas, som proveniente de TV e outros). Os valores normativos são obtidos por meio de ensaios realizados em campo, nos dormitórios das unidades habitacionais.

A NBR 15575-3 (2013c) determina os valores para o mínimo de desempenho para o nível de pressão sonora padrão ponderado e diferença padronizada de nível ponderada, porém não há distinção para o caso de edificações com lajes em concreto protendido.

### ***Durabilidade e Manutenibilidade***

A NBR 15575-2 (2013b) apresenta os critérios de durabilidade e manutenibilidade para elementos estruturais. Primeiramente, essa norma trata o requisito de durabilidade do sistema

estrutural que visa conservar a segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil, tendo como principal critério a determinação da vida útil de projeto (VUP).

Para as lajes de concreto protendido, elemento que compõe o sistema global de uma estrutura, deve atender as recomendações da norma. Em um dos seus anexos, a NBR 15575-1 (2013a) traz alguns exemplos da aplicação dos valores de VUP no nível mínimo e superior de desempenho para diversos sistemas, no caso das lajes de concreto protendido, esses valores são 50 anos para o desempenho mínimo e 75 anos para o superior.

No requisito manutenibilidade do sistema estrutural, a NBR 15575-2 (2013b) estabelece que para que seja alcançada a VUP para a estrutura e seus elementos, devem ser previstas e realizadas manutenções preventivas sistemáticas e, sempre que necessário, manutenções com caráter corretivo. As manutenções devem ser realizadas em concordância ao manual de operação, uso e manutenção fornecido pelo incorporador ou construtora, de acordo com a ABNT NBR 5674 (2012).

De acordo com a NBR 15575-2 (2013b), o manual de operação, uso e manutenção do sistema estrutural deve atender ao especificado pela NBR 5674 (2012).

### Outros

Para as demais exigências, a NBR 15575-2 (2013b) estabelece que as verificações que não são contempladas pela norma sejam feitas de acordo com a NBR 15575-1 (2013a). A análise na primeira parte da norma permitiu levantar que quanto à segurança ao uso e operação, ao critério de saúde, higiene e qualidade do ar, ao de funcionalidade e acessibilidade, ao de conforto tátil e antropodinâmico e também ao de adequação ambiente, todos esses critérios não estão necessariamente ligados ao desempenho do elemento objeto de estudo.

Por outro lado, o critério de estanqueidade está ligado ao desempenho do elemento objeto de estudo, porém as verificações propostas não são propostas de forma isoladas. O mesmo acontece com o desempenho térmico e desempenho lumínico.

### Checklist

Tomando como base o *checklist* desenvolvido por CBIC (2016), este foi desenvolvido com o objetivo de resumir os requisitos, critérios e métodos de avaliação exigidos pela série de normas de desempenho, NBR 15575 (2013), apresentando os procedimentos a serem seguidos para a análise de desempenho de edificações habitacionais com lajes de concreto protendido e suas especificações.

Tabela 1. *Checklist*

| Requisito  | Critério   | Avaliação  | Responsável           | Comprovação            | Especificação   |
|--|--|--|-----------------------|------------------------|---|
| <b>Segurança Estrutural</b>  |  |  |                       |                        |   |
| Estabilidade e Resistência Estrutural                                  | Atender às disposições aplicáveis das normas que abordam a estabilidade e a segurança                        | Ensaio   | Construtor            | Laudo do Fornecedor    | Dimensionamento regido pela NBR 6118; Materiais apresentam ensaios normatizados.  |
|  |  | Análise de Projeto                                     | Projetista Estrutural | Declarações em Projeto |   |
| Deformações e Fissuração   | Não ocasionar deslocamentos ou fissuras excessivas   | Ensaio   | Construtor            | Laudo do Fornecedor    | Elementos protendidos precisam de um controle maior de fissuração conforme especificado pela NBR 6118;                        |
|  |  | Análise de Projeto                                     | Projetista Estrutural | Declarações em Projeto |   |
| Resistência à Impactos   | Corpo mole   | Dispensado de verificação                              |                       |                        | Elementos protendidas são dimensionadas pela NBR 6118, portanto dispensadas.  |
|  | Corpo duro   | Dispensado de verificação                              |                       |                        |   |
| <b>Segurança Contra Incêndio</b>                                       |  |  |                       |                        |   |
| Segurança Estrutural em Situação de Incêndio                           | Minimizar os riscos de colapso estrutural  | Análise de Projeto                                     | Projetista Estrutural | Declarações em Projeto | Os valores de c1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas. |
| Dificultar a Propagação do Incêndio, Fumaça e Preservar a Estabilidade | Atender aos critérios de resistência ao fogo por parte dos sistemas ou elementos de vedação entre pavimentos | Deve atender a NBR 15200, retomando ao disposto acima. |                       |                        | Os valores de c1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas. |

*Continua*

Tabela 1. Checklist

Continuação

| Desempenho Acústico              |  |                    |                       |                        |   |
|----------------------------------|--|--------------------|-----------------------|------------------------|---|
| Nível de Ruído de Impacto        | Isolamento de ruído de impacto no sist. piso   | Ensaio             | Construtor            | Laudo Sistemico        | Sem exigência particular.   |
| Nível de Ruído Aéreo             | Isolamento de ruído aéreo no sistema de piso   | Ensaio             | Construtor            | Laudo Sistemico        | Sem exigência particular.   |
| Durabilidade e Manutenibilidade  |  |                    |                       |                        |   |
| Vida Útil de Projeto             | Determinar a vida útil de projeto do sistema estrutural                                  | Ensaio             | Construtor            | Laudo do Fornecedor    | Os valores da VUP para lajes protendidas: desempenho mínimo - 50 anos ou mais; desempenho superior - 75 anos ou mais. |
|                                  |  | Simulação          | Projetista Estrutural | Declarações em Projeto |   |
|                                  |  | Análise de Projeto | Projetista Estrutural | Declarações em Projeto |   |
| Manutenção do Sistema Estrutural | Elaborar os critérios do sistema estrutural para o Manual do Uso, Operações e Manutenção | Análise de Projeto | Projetista Estrutural | Declarações em Projeto | Baixa necessidade de manutenção; Preocupação com as perdas progressivas.  |
|                                  |  |                    | Construtor            | Declarações em Projeto |   |

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo bibliográfico realizado nesse trabalho apresentou conceitos relevantes acerca da análise do desempenho das estruturas de concreto protendido, especificamente, as lajes protendidas aplicadas a edificações habitacionais.

Apesar do grande número de critérios, o trabalho revelou que somente 10 critérios estão diretamente ligados com o desempenho dos sistemas de laje, sendo ainda dispensados 2 desses (resistência à impacto de corpo mole e duro) quando os elementos forem de concreto.

A construção do checklist pode ser considerada como o ponto forte desse trabalho, uma vez que resume, de forma clara e objetiva, os requisitos, critérios e métodos de avaliação exigidos pela série de normas de desempenho, NBR 15575, apontando os responsáveis e os procedimentos a serem seguidos para a análise de desempenho de edificações habitacionais com lajes de concreto protendido.

Por fim, o trabalho apresenta um papel fundamental na produção do conhecimento acerca da análise de desempenho das edificações habitacionais, segundo a NBR 15575, especialmente em termos de edifícios com lajes de concreto protendido.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – procedimento. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações habitacionais – desempenho – parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-2: Edificações habitacionais – desempenho – parte 2: requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15575-3: Edificações habitacionais – desempenho – parte 3: requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013c.
- CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC. Análise dos critérios de atendimento à norma de desempenho ABNT NBR 15.575. Brasília, DF, 2016.
- CAUDURO, E. L. Manual para a boa execução de estruturas protendidas usando cordoalhas de aço engraxadas e plastificadas. 2. ed. São Paulo: Pancron Indústria Gráfica, 2003.
- EVANGELISTA, L. C. Aplicação da norma de desempenho NBR 15575 em edifícios residenciais: Uma análise sobre os requisitos térmicos e acústicos. Monografia (Graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Juiz de Fora, MG, 2017.
- PIRES, João. Patologias na construção dos edifícios. Caso de estudo, edifício da FICASE na Cidade da Praia. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitectura. Universidade Jean Piaget de Cabo Verde, Palmarejo Grande, 2013.