

**FACULDADES INTEGRADAS DE CARATINGA**

**SANDERSON DUTRA ROCHA GOUVÊA**

**YANN ROCHA SANTOS GOUVÊA**

**ESTUDO DA LIMITAÇÃO DA PROFUNDIDADE DA LINHA NEUTRA INSERIDA  
NA ABNT NBR 6118 EM 2003 E ALTERADA EM 2014**

**CARATINGA**

**2017**

**SANDERSON DUTRA ROCHA GOUVÊA**  
**YANN ROCHA SANTOS GOUVÊA**  
**FACULDADES INTEGRADAS DE CARATINGA**

**ESTUDO DA LIMITAÇÃO DA PROFUNDIDADE DA LINHA NEUTRA INSERIDA  
NA ABNT NBR 6118 EM 2003 E ALTERADA EM 2014**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil das Faculdades Integradas de Caratinga, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas de Concreto

Orientadora: Esp. Camila Alves da Silva

**CARATINGA**

**2017**



## FACULDADES INTEGRADAS DE CARATINGA

### FICHA DE APROVAÇÃO

O trabalho de conclusão de curso intitulado, Estudo da Limitação da Profundidade da Linha Neutra Inserida na ABNT NBR 6118 em 2003 e Alterada em 2014, elaborado pelos alunos Sanderson Dutra Rocha Gouvêa e Yann Rocha Santos Gouvêa, foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de Engenharia Civil das Faculdades Integradas de Caratinga, como requisito parcial de obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

Caratinga, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_

---

Prof<sup>a</sup>. Esp. Camila Alves da Silva

---

Prof. Esp. João Moreira de Oliveira Júnior

---

Prof. Esp. José Salvador Alves

## **AGRADECIMENTOS**

**Nossa primeira e maior gratidão, a Deus, por sua misericórdia infinita...**

**Aos nossos familiares, pela compreensão, paciência e apoio desmedidos.**

**Aos mestres por todo conhecimento passado.**

**À Prof. Esp. Camila Alves da Silva por aceitar o desafio deste trabalho e engrandecê-lo.**

## RESUMO

Os elementos que compõem uma estrutura devem ser projetados para que grandes deslocamentos e deformações aconteçam antes da ruína de uma edificação. O colapso local ou do todo de uma estrutura deverá ser previsto em projeto para que a estrutura apresente indícios, sinais que indiquem que a segurança e/ou estabilidade possam estar comprometidos. O trabalho se pauta pela importância de se conhecer a norma ABNT NBR 6118, além de, fornecer dados que possam contribuir para um melhor entendimento da atualização realizada na ABNT NBR 6118. Objetiva-se neste trabalho analisar a limitação da profundidade da linha neutra adotada no item 14.6.4.3 da ABNT NBR 6118, no que diz respeito a concretos com resistência à compressão menores que 50 MPa, por meio de uma revisão bibliográfica e simulações de cálculos. Foi realizada revisão bibliográfica sobre a norma brasileira ABNT NBR 6118 “Projetos de estruturas de concreto – Procedimentos”, no item que diz respeito à profundidade da linha neutra em vigas e lajes para que lhes sejam proporcionados o adequado comportamento dúctil. A pesquisa bibliográfica se direcionou para o estudo do valor da relação  $x/d = 0,45$  para concretos com  $f_{ck} \leq 50$  MPa, que direciona o dimensionamento de vigas e lajes de concreto armado para o domínio 3 do Diagrama de Domínios disposto na ABNT NBR 6118, mesmo antes da inserção do item 14.6.4.3 que trata dos “Limites para redistribuição de momentos e condições de ductilidade”. Das análises das relações momento-curvatura adimensionais para concretos com  $f_{ck}$  igual a 25 e 45 MPa, confeccionadas em diagramas neste trabalho, obteve-se como resultado, que é possível detectar patamar plástico suficiente no valor de  $\xi = 0,45$ . O patamar plástico com  $\xi = 0,45$  para concretos com  $f_{ck}$  igual a 25 e 45 MPa é de satisfatória razoabilidade, pois se verifica que os mesmos apresentam um comportamento dúctil, como percebido por Araújo (2009) para concreto com  $f_{ck} = 35$  MPa.

**Palavras-chave:** ABNT NBR 6118; concreto armado; ductilidade; linha neutra.

## ABSTRACT

The elements that make up a structure must be designed so that large displacements and deformations happen before the ruin of a building. The local or whole collapse of a structure should be predicted in design so that the structure shows indications, signs that indicate that safety and / or stability may be compromised. The work is based on the importance of to know the norm ABNT NBR 6118, besides providing data that may contribute to a better understanding of the update performed in ABNT NBR 6118. The objective of this work is to analyze the limitation of the neutral line depth adopted in the item 14.6.4.3 of ABNT NBR 6118, with respect to concretes with compressive strength less than 50 MPa, through a literature review and calculation simulations. A bibliographic review was carried out on the Brazilian norm ABNT NBR 6118 "Concrete Structures Projects - Procedures", in the item referring to the depth of the neutral line in beams and slabs so that they are provided with the appropriate ductile behavior. The bibliographic research was directed to the study of the value of the relation  $x / d = 0,45$  for concrete with  $f_{ck} \leq 50$  MPa, which directs the design of reinforced concrete beams and slabs for domain 3 of the Domains Diagram established in ABNT NBR 6118, even before insertion of item 14.6.4.3 dealing with "Limits for redistribution of moments and ductility conditions". From the analysis of the dimensionless moment-curvature relations for concrete with  $f_{ck}$  equal to 25 and 45 MPa, made in diagrams in this work, it was obtained, that it is possible to detect sufficient plastic landing in the value of  $\xi = 0,45$ . The plastic landing with  $\xi = 0,45$  for concrete with  $f_{ck}$  equal to 25 and 45 Mpa is of satisfactory reasonability, since it is verified that they have a ductile behavior, as perceived by Araújo (2009) for concrete with  $f_{ck} = 35$  Mpa.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Diagrama de tensão-deformação para o aço .....	25
Figura 2.2 – Diagrama de tensão-deformação para o concreto. ....	26
Figura 2.3 – Diagrama de domínios. ....	27
Figura 2.4 – Esquema de equilíbrio de forças numa seção transversal. ....	28
Figura 2.5 – Diagrama retangular para o concreto armado.....	29
Figura 2.6 – Seção retangular sob flexão normal simples.....	30
Figura 2.7 – Profundidade limite da linha neutra para garantir ductilidade adequada. ....	31
Figura 2.8 – Tensões na seção transversal quando $x = x_{lim}$ .....	34
Figura 2.9 – Momento solicitante e resultantes das tensões na situação limite $x = x_{lim}$ . ....	34
Figura 2.10 – Deformações e tensões nas datas $t_0$ e $t$ .....	35
Figura 2.11 – Equações de compatibilidade de deformações nas formas dimensional e adimensional, nas datas $t_0$ e $t$ .....	36
Figura 2.12 – Relações momento-curvatura para concreto com $f_{ck} = 35$ MPa.....	37
Figura 3.1 – Procedimento de pesquisa.....	38
Figura 4.1 – Relações momento-curvatura para concreto com $f_{ck} = 25$ MPa.....	45
Figura 4.2 – Relações momento-curvatura para concreto com $f_{ck} = 45$ MPa.....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Comparação entre os cálculos realizados por BUCHAIM e os obtidos com as hipóteses da ABNT NBR 6118 \_\_\_\_\_ 36

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Deformação de ruptura do concreto em compressão, extraídos do CEB/90 .....	24
Quadro 4.1 – Valores de momentos adimensionais .....	40
Quadro 4.2 – Valores de curvaturas adimensionais no início plástico .....	41
Quadro 4.3 – Valores de curvaturas adimensionais no limite plástico .....	42
Quadro 4.4 – Valores de curvaturas adimensionais no limite plástico para $f_{ck} = 25$ MPa .....	44
Quadro 4.5 – Valores de curvaturas adimensionais no limite plástico para $f_{ck} = 45$ MPa .....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

$d$	Altura útil
$A_s$	Área de aço
$b$	Base do elemento estrutural
$\beta$	Coefficiente de redistribuição
$k$	Curvatura adimensional
$\epsilon_s$	Deformação do aço
$\epsilon_{yd}$	Deformação de cálculo do aço
$\epsilon_0$	Deformação inicial
$\epsilon_{c2}$	Deformação específica de encurtamento do concreto no início do patamar plástico
$\epsilon_{cu}$	Deformação específica do concreto na ruptura
$\epsilon_{uk}$	Deformação na ruptura
ELU	Estado limite último
ELS	Estado limite de serviço
$f_{cd}$	Força de cálculo no concreto
MPa	Mega Pascal
$E_s$	Módulo de elasticidade do aço
$M_d$	Momento fletor solicitante de cálculo
$M_{dlim}$	Momento fletor solicitante de cálculo limite

$\mu$	Momento adimensional (reduzido)
$\mu_{lim}$	Momento adimensional limite
$\lambda$	Parâmetro dado pela norma ABNT NBR 6118:2014
$x$	Profundidade da linha neutra
$x_{lim}$	Profundidade limite da linha neutra
$\xi_b$	Relação $x/d$ base
$\xi$	Relação $x/d$
$\xi_{lim}$	Relação $x/d$ limite
$x/d$	Relação linha neutra e altura útil
$f_{ck}$	Resistência característica à compressão do concreto
$f_{stk}$	Resistência à tração do aço
$f_{cd}$	Resistência de cálculo do concreto
$R_{cc}$	Resultante das tensões de compressão no concreto
$R_{cclim}$	Resultante das tensões de compressão no concreto limite
$R_{sd}$	Resultante de tração nas armaduras
$f_{yk}$	Tensão de escoamento
$\sigma_{cd}$	Tensão de cálculo no concreto
$\sigma_c$	Tensão no concreto
$f_{yd}$	Tensão na armadura
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas

CEB	Comitê Europeu do Concreto
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO/TC	Organização Internacional para Padronização/ comitê técnico
MB-1	Normas de Método de Ensaio
NB-1	Normas de Procedimento
NBR	Norma Brasileira

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1	Contextualização .....	15
1.2	Objetivos .....	18
1.2.1	Objetivo geral .....	18
1.2.2	Objetivos específicos.....	18
1.3	Estruturação do trabalho de conclusão de curso .....	19
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>20</b>
2.1	Breve histórico da criação da ANBT .....	20
2.2	Breve histórico da criação e evolução das revisões da NB-1 .....	21
2.3	Ductilidade de materiais .....	23
2.3.1	Diagrama tensão-deformação para o aço .....	24
2.3.2	Diagrama tensão-deformação para o concreto .....	25
2.4	Domínios de estado-limite último de uma seção transversal.....	26
2.5	Diagrama retangular para o concreto armado .....	29
2.5.1	Momento limite para seções retangulares com armadura simples.....	30
2.5.2	Profundidade da linha neutra na norma CEB-90 (Comité Euro-Internacional do Betón) .....	31
2.5.3	Seção 14 da ABNT NBR 6118 - análise estrutural .....	32
2.5.4	Momento adimensional e curvatura adimensional.....	33
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>38</b>
3.1	Cálculo do momento adimensional ( $\mu$ ) e da curvatura adimensional ( $k$ ) para concretos com $f_{ck} = 25$ MPa e $f_{ck} = 45$ MPa .....	39
3.2	Construção de diagramas que apresentam relações momento-curvatura para concretos de $f_{ck} = 25$ MPa e $f_{ck} = 45$ MPa.....	39
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>40</b>

<b>4.1 Valores de momentos e curvaturas adimensionais para produção do diagrama momento-curvatura em Araújo (2009) com <math>f_{ck} = 35</math> MPa .....</b>	<b>40</b>
4.1.1 Quadro com valores de momentos adimensionais ( $\mu$ ) .....	40
4.1.2 Quadro com valores de curvaturas adimensionais ( $k$ ) no início plástico .....	41
4.1.3 Quadro com valores de curvaturas adimensionais ( $k$ ) no limite plástico .....	41
4.1.4 Relações $\mu - k$ para concreto armado propostas por Araújo (2009).....	42
<b>4.2 Valores de momento e curvatura adimensionais para produção do diagrama momento-curvatura, considerando <math>f_{ck} = 25</math> MPa .....</b>	<b>42</b>
4.2.1 Valores de momentos adimensionais ( $\mu$ ) com $f_{ck} = 25$ MPa.....	42
4.2.2 Valores de curvaturas adimensionais ( $k$ ) no início plástico com $f_{ck} = 25$ MPa.....	43
4.2.3 Quadro com valores de curvaturas adimensionais ( $k$ ) no limite plástico com $f_{ck} = 25$ MPa .....	43
4.2.4 Relações $\mu - k$ para concreto armado com $f_{ck} = 25$ MPa.....	44
<b>4.3 Valores de momento e curvatura adimensionais para produção do diagrama momento-curvatura, considerando <math>f_{ck} = 45</math> MPa .....</b>	<b>46</b>
4.3.1 Valores de momentos adimensionais ( $\mu$ ) com $f_{ck} = 45$ MPa.....	46
4.3.2 Valores de curvaturas adimensionais ( $k$ ) no início plástico com $f_{ck} = 45$ MPa.....	46
4.3.3 Quadro com valores de curvaturas adimensionais ( $k$ ) no limite plástico com $f_{ck} = 45$ MPa .....	46
4.3.4 Relações $\mu - k$ para concreto armado com $f_{ck} = 45$ MPa.....	47
<b>4.4 As relações momento - curvatura e ductilidade de elementos estruturais .....</b>	<b>49</b>
<b>5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES.....</b>	<b>50</b>
<b>5.1 Conclusões .....</b>	<b>50</b>

<b>5.2 Considerações.....</b>	<b>51</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>52</b>