



UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

HÉRICA DE OLIVEIRA FARIA

**INFLUÊNCIA DO COEFICIENTE DE FRAGILIDADE NO DIMENSIONAMENTO
DE SEÇÕES RETANGULARES DE CONCRETO ARMADO SOB ESFORÇOS DE
FLEXÃO SIMPLES COM BASE NA NBR 6118 (ABNT, 2023)**

LAVRAS-MG

2023

HÉRICA DE OLIVEIRA FARIA

**INFLUÊNCIA DO COEFICIENTE DE FRAGILIDADE NO DIMENSIONAMENTO
DE SEÇÕES RETANGULARES DE CONCRETO ARMADO SOB ESFORÇOS DE
FLEXÃO SIMPLES COM BASE NA NBR 6118 (ABNT, 2023)**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal de
Lavras como requisito para a obtenção do
Título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Sc. Ígor José Mendes
Lemes

LAVRAS-MG

2023

HÉRICA DE OLIVEIRA FARIA

**INFLUÊNCIA DO COEFICIENTE DE FRAGILIDADE NO DIMENSIONAMENTO
DE SEÇÕES RETANGULARES DE CONCRETO ARMADO SOB ESFORÇOS DE
FLEXÃO SIMPLES COM BASE NA NBR 6118 (ABNT, 2023)**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do
Curso de Engenharia Civil, para obtenção do
título de Bacharel.

APROVADA em 17 de dezembro de 2023.
D.Sc. Ígor José Mendes Lemes (UFLA)
M. Sc. Luis Eduardo Silveira Dias (UNILAVRAS)
D. Sc. Rafael Cesário Barros (CONCREMAT)

Prof. D.Sc. Ígor José Mendes Lemes
Orientador

**LAVRAS-MG
2023**

AGRADECIMENTOS

A realização deste momento tão especial, que é a conclusão do meu Trabalho de Conclusão de Curso, não seria possível sem o apoio e a contribuição de diversas pessoas importantes em minha vida. Neste momento de gratidão, quero expressar meu profundo agradecimento a todas as pessoas que estiveram ao meu lado durante essa jornada desafiadora.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por guiar meus passos e iluminar meu caminho ao longo dessa trajetória. Sua presença constante em minha vida é a fonte da minha força e determinação.

À minha querida família, meu agradecimento é imensurável. À minha mãe, Josiane Aparecida de Oliveira, meu pai, Fábio Faria de Oliveira, e meus avós, Luzia Cândida de Oliveira e Joaquim Fagundes de Oliveira, expresso minha profunda gratidão. À minha vó Alba Cornélia de Oliveira, mesmo não estando mais entre nós, agradeço por ter contribuído para este momento. Vocês foram essenciais, não apenas pelo apoio emocional, mas também pelos esforços incansáveis para proporcionar as condições necessárias para que eu pudesse alcançar esse objetivo.

Quero estender meu agradecimento aos meus irmãos, Fábio Faria de Oliveira Júnior, André Luiz Fagundes Machado e Lavínia de Oliveira Machado, assim como aos meus tios e primos, por estarem sempre ao meu lado, motivando-me e compartilhando das minhas conquistas.

Além disso, quero expressar minha profunda gratidão ao meu orientador, Igor José Lemes, cuja orientação e conhecimento foram fundamentais para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho. Sua dedicação e expertise contribuíram significativamente para a qualidade e êxito deste projeto.

Enfrentamos grandes desafios, e em muitos momentos, pensei em desistir. No entanto, olho para o futuro com determinação, consciente de que cada esforço e sacrifício valeram a pena. O apoio e a colaboração de todos vocês foram fundamentais para minha conquista. Obrigado por fazerem parte deste capítulo importante da minha vida.

*Dedico este trabalho este trabalho aos meus
pais e meus avós, que sempre mantiveram em
mim uma fé inabalável*

RESUMO

Este estudo tem como foco analisar as alterações introduzidas na norma brasileira NBR 6118 em sua revisão de 2023, com ênfase na compreensão do impacto da inclusão do coeficiente de fragilidade na equação de tensão de compressão durante o dimensionamento de elementos estruturais. Diante da atualização recente, há a necessidade de estudos e uma revisão bibliográficas, pois as mesmas ficaram defasadas exigindo então estudos que considerem os dados da versão vigente da norma brasileira. A pesquisa bibliográfica detalhada examinou as atualizações na NBR 6118 (ABNT, 2023) e identificou as motivações por trás dessas mudanças. Utilizando o Microsoft Excel® para cálculos e análises de tais mudanças. A escolha criteriosa de valores de β_x , classes de concreto (C10 a C90) e tipos de aço (CA-25, CA-50 e CA-60) busca destacar as implicações das alterações normativas nos coeficientes K_c e K_s , facilitada pela variação controlada de β_x ao manter a classe de concreto constante. Ao comparar a versão anterior (ABNT, 2014) com a atual (ABNT, 2023), observou-se um aumento progressivo nos valores a partir de f_{ck} de 45, resultado ao qual já se era esperado devido à introdução do coeficiente de fragilidade na norma atual. Essa modificação reflete uma abordagem mais cautelosa no dimensionamento de concreto de alta resistência, buscando garantir uma margem adicional em prol da segurança estrutural.

Palavras-chave: Norma NBR 6118; coeficiente de fragilidade; concreto de alta resistência; atualização normativa; dimensionamento de seções retangulares.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1. Considerações Gerais	9
1.2. Motivação	9
1.3. Objetivos.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1. Considerações Iniciais	11
2.2. Revisão Bibliográfica.....	11
2.3. Histórico da NBR 6118.....	12
2.4. Parâmetros para Desempenho do Concreto Armado no Cenário Brasileiro	12
2.5. Domínios de Deformação	14
2.5.1. Domínio 1	14
2.5.2. Domínio 2	14
2.5.3. Domínio 3	14
2.5.4. Domínio 4	15
2.5.5. Domínio 4a.....	15
2.5.6. Domínio 5	15
2.6. Relação Constitutiva do Concreto.....	16
2.6 Relação Constitutiva do Aço	18
2.7 Flexão Normal Simples em Seções Retangulares de Concreto Armado	18
2.7.1. Equação de Equilíbrio	19
2.7.2. Equilíbrio das Forças Horizontais	21
3 METODOLOGIA.....	23
3.1. Considerações iniciais	23
3.2. Elaboração de Planilhas e Análise.....	23

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1 Considerações Iniciais	24
4.2 Modificações na Tabela de Dimensionamento para Seções Retangulares.....	24
4.3 Comparação entre as duas Versões	24
4.4 Explicação das Razões dessas Alterações.....	25
4.5. Exemplos Resolvidos	28
4.5.1. Exemplo 1	28
4.5.2. Exemplo 2	29
4.5.3. Exemplo 3	30
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	32

1 INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Gerais

O panorama das estruturas de concreto armado no Brasil tem experimentado transformações significativas na última década, especialmente no que se refere ao dimensionamento. Essas mudanças são impulsionadas pela evolução das construções, que agora demandam maior robustez e a utilização de novos materiais com resistências mais elevadas. Essas alterações destacam a necessidade de revisões na Norma Brasileira NBR 6118, estabelecida em 1940.

A última revisão, realizada em 2023, introduziu modificações notáveis, como a divisão mais clara na resistência do concreto em dois grupos, estabelecimento de critérios para garantir a durabilidade das estruturas e ajustes nos coeficientes de dimensionamento com o acréscimo de um coeficiente de fragilidade η_c , no critério de compressão do concreto. Essas mudanças impactam diretamente o cálculo e dimensionamento de elementos como lajes e vigas. Este trabalho propõe-se a explorar minuciosamente as alterações introduzidas pela revisão de 2023, aprofundando-se na análise de como a inclusão deste coeficiente de fragilidade na equação de tensão de compressão pode modificar o dimensionamento desses elementos.

A próxima seção abordará serão explorados os domínios de deformação, proporcionando uma compreensão aprofundada das mudanças introduzidas pela norma em 2023. Posteriormente, será feita uma análise dos parâmetros para o desempenho do concreto armado, destacando as relações constitutivas entre o concreto e o aço. A conclusão desta análise subsidiará a abordagem específica da flexão normal simples em seções retangulares de concreto armado, detalhando as equações de equilíbrio e os aspectos fundamentais para o dimensionamento seguro dessas estruturas

1.2. Motivação

As alterações na Norma Brasileira NBR 6118, especialmente na versão de 2023, surgem da significativa evolução no panorama das estruturas de concreto armado no Brasil. A revisão de 2023 introduziu modificações substanciais, incluindo a clara divisão na resistência do concreto em dois grupos e a implementação de critérios para garantir a durabilidade das estruturas. Diante dessas mudanças, é essencial compreender o efeito na prática do dimensionamento torna-se crucial para garantir não apenas a conformidade normativa, mas também a segurança e eficiência das estruturas de concreto armado. Dessa forma, a necessidade de um trabalho dedicado a explorar essas alterações na NBR 6118 (ABNT, 2023) é fundamentada na busca por uma compreensão abrangente e aplicada, visando contribuir para o avanço do conhecimento na área de engenharia civil e assegurar práticas de construção cada vez mais seguras e eficazes. Diante da atualização recente, as bibliografias ficaram defasadas exigindo então estudos que considerem os dados da versão vigente da norma brasileira.

1.3. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal realizar uma análise das mudanças na revisão de 2023 na norma brasileira NBR 6118, com foco especial na compreensão do impacto da inclusão do coeficiente de fragilidade na equação de tensão de compressão no dimensionamento de elementos estruturais. A fase subsequente da análise se concentrará na flexão normal simples em seções retangulares de concreto armado, detalhando equações de equilíbrio e aspectos essenciais para o dimensionamento seguro, incluindo a elaboração de planilhas no Excel® para comparar a versão anterior da norma (ABNT, 2014) com a versão atual (ABNT, 2023).

A contribuição deste trabalho vai além da documentação das alterações normativas, buscando uma compreensão crítica do impacto prático dessas mudanças no processo de dimensionamento de estruturas de concreto armado. Desta forma, o trabalho visa não apenas evidenciar as mudanças, mas também promover uma análise prática e aprofundada que contribua significativamente para o avanço do conhecimento na área de engenharia civil.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Considerações Iniciais

O propósito deste capítulo é conduzir uma revisão bibliográfica sobre a análise de estruturas de concreto armado em seções retangulares, além de explorar tópicos e diretrizes normativas que embasam a metodologia adotada.

2.2. Revisão Bibliográfica

A utilização de seções retangulares em elementos de concreto armado desempenha um papel crucial no projeto estrutural, proporcionando simplicidade e eficiência no desenvolvimento de estruturas. A geometria retangular é frequentemente adotada para vigas e pilares, oferecendo facilidade na análise e no dimensionamento. A padronização dessas seções simplifica a produção de tabelas e programas computacionais dedicados ao projeto de elementos estruturais de seções retangulares. Através do uso dessas ferramentas, engenheiros e projetistas podem realizar análises rápidas e eficientes, otimizando o processo de tomada de decisão no design de estruturas de concreto armado.

Na literatura encontram-se muitos trabalhos sobre a otimização no dimensionamento de pilares retangulares como a apresentado por Alves *et al.*,(2018), onde ele dimensiona pilares de concreto armado de seções retangulares e circulares com resistências acima de 50 MPa. A proposta incluiu a definição da geometria otimizada, buscando a mais econômica, utilizando o software Matlab e o método dos pontos interiores. O estudo analisou exemplos numéricos para verificar a viabilidade da utilização de pilares com concreto de alta resistência na obtenção da seção mais econômica.

A implementação de programas computacionais e tabelas desempenha um papel significativo na facilitação do dimensionamento estrutural, e com o avanço da tecnologia, diversas ferramentas estão disponíveis no mercado. No estudo de Martins (2016), que abordou o dimensionamento de vigas retangulares de concreto armado biapoiadas e sujeitas à flexão simples, foram empregadas ferramentas de otimização, incluindo o *Search Group Algorithm* (SGA), um algoritmo meta heurístico de otimização estrutural, e o programas AltoQi e Eberick. O autor comparou os resultados obtidos por meio dessas ferramentas, destacando a relevância da escolha de métodos otimizados no projeto de estruturas de concreto armado Martins (2016). A disponibilidade de ferramentas que incorporam metodologias simplificadas para seções retangulares de concreto armado aumenta a produtividade, reduzindo o tempo necessário para o desenvolvimento de projetos, além de reduzir custo, material e contribuindo para a segurança e qualidade das estruturas.

No contexto da constante evolução tecnológica na construção civil, é essencial atualizar regularmente as tabelas de dimensionamento em conformidade com as revisões da norma NBR 6118 (ABNT, 2023). Essas atualizações são vitais para garantir a segurança e eficiência das estruturas de concreto armado. A norma é um documento dinâmico, sujeito a alterações decorrentes dos avanços

tecnológicos, novos conhecimentos e experiências acumuladas. Assim, a revisão frequente das tabelas de dimensionamento se torna crucial, incorporando mudanças normativas e garantindo que os projetos estruturais estejam alinhados com os padrões mais recentes de segurança e desempenho.

2.3. Histórico da NBR 6118

No decorrer do século passado, a principal norma aplicada ao projeto de estruturas de Concreto Armado foi a NB 1, cuja última revisão ocorreu em 1978. Em 1980, houve uma modificação na nomenclatura e no número da norma, que passou a ser conhecida como NBR 6118. A edição de 1980 passou por um extenso processo de revisão, sendo substituída em 2003, reeditada em 2007 e, finalmente, substituída pela versão de 2014. Em 2023, após um novo ciclo de revisão, foi publicada a NBR 6118 (ABNT, 2023), sendo esta a versão considerada no presente texto. É fundamental destacar que a referida norma abrange exclusivamente o projeto de estruturas de Concreto Armado e Protendido, visto que as orientações para a execução das estruturas de concreto fazem parte da NBR 14931 (ABNT, 2004).

A Norma Brasileira NBR 6118, passou por transformações significativas desde a sua primeira edição em 1980 até a última revisão em 2023. Em 1988, uma das principais alterações foi a introdução dos coeficientes parciais de segurança, proporcionando uma abordagem mais refinada para garantir a segurança das estruturas em diferentes estados limites. Na versão de 2003, a norma sofreu uma revisão abrangente, incorporando métodos mais avançados de análise estrutural, incluindo a análise não linear. A edição de 2014 introduziu requisitos específicos para estruturas pré-moldadas e abordou critérios relacionados à durabilidade das estruturas, marcando um avanço na consideração das propriedades a longo prazo do concreto. Já em 2023, a norma evoluiu para abordar aspectos de sustentabilidade e considerar novos materiais de construção, refletindo as demandas contemporâneas da engenharia civil. Além de acrescentar um coeficiente de fragilidade a determinar resistência do concreto a compressão, teve-se modificações também nos coeficientes que representam a razão da profundidade da linha neutra pela altura útil, a definição de domínios de estado-limite último e a inclusão de coeficientes para lajes em balanço com altura reduzida. Todas as modificações influenciam no cálculo e dimensionamento desses elementos. Além disso, fatores como o módulo de deformação secante e o módulo de elasticidade inicial também foram ajustados para refletir as mais recentes descobertas na engenharia civil. A constante evolução da NBR 6118 demonstra o compromisso do Brasil em manter seus padrões de construção alinhados com os avanços tecnológicos e aprimorar a segurança e qualidade das estruturas de concreto armado no país.

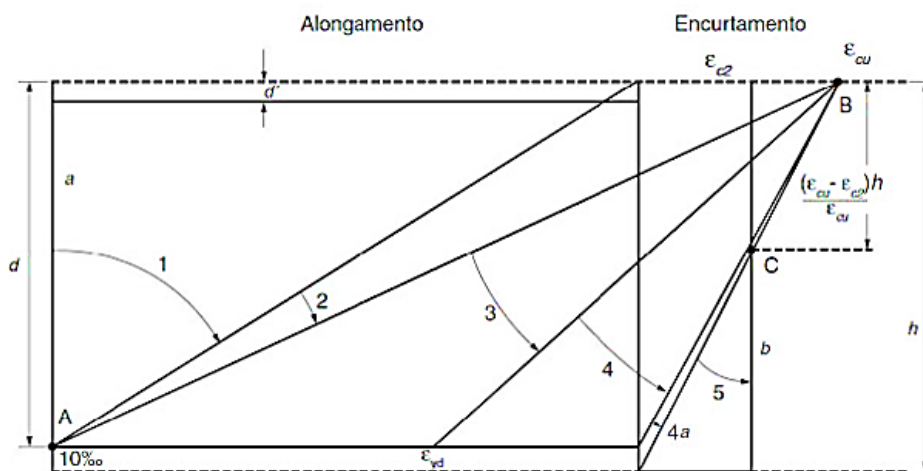
2.4. Parâmetros para Desempenho do Concreto Armado no Cenário Brasileiro

Como mencionado anteriormente, é crucial projetar estruturas de maneira a garantir uma segurança satisfatória. De acordo com Araújo (2014), a segurança das estruturas de concreto armado vai além de considerações econômicas e estéticas; ela deve ser concebida conforme os estados-limites, nos

qual caso a estrutura demonstre desempenho inadequado para a finalidade da construção, ou seja, a estrutura se torna inadequada para uso. Conforme estabelecido pela NBR 6118 (ABNT, 2023), os estados-limites podem ser categorizados como estados limites-últimos ou estados-limites de serviço. Descrevendo, respectivamente cada um dos estados, o primeiro em que a estrutura entra em colapso e acaba vindo a ruína, e o segundo, o estado limite de serviço está relacionado ao conforto do usuário e a durabilidade e aparência da estrutura. Para o dimensionamento de um elemento estrutural, que tem como objetivo definir a geometria da seção transversal para resistir aos esforços solicitantes, utiliza-se o estado-limite último. Portanto, este trabalho adotará esse estado-limite em seu desenvolvimento.

A primeira hipótese parte da premissa fundamental, que é uma derivação da formulação da teoria de Euler-Bernoulli, na qual as seções transversais planas mantêm sua planicidade após a deformação. Como resultado dessa teoria, a taxa de variação da deformação na seção transversal permanece constante, permitindo a descrição dessas deformações por meio de retas. A segunda é que a deformação nas barras passivas aderentes ou o aumento da deformação nas barras ativas aderentes são semelhantes aos do concreto em seu entorno indicando completa aderência entre o aço e o concreto. A terceira premissa fundamental é que, na avaliação do estado-limite último, o concreto não suporta qualquer tensão de tração aplicada, ou seja, todas as contribuições de resistência do concreto à tração devem ser desconsideradas. E por último, tem-se a recomendação, tendo em vista a avaliação do estado limite último, quanto a distribuição das deformações na seção transversal, que deve estar condizente com os intervalos dos domínios de deformação definidos pela norma NBR 6118 (ABNT,2023) . Esses domínios serão abordados de maneira detalhada na próxima seção. Os domínios de deformação são apresentados na Figura 1, de acordo com as hipóteses básicas abordadas anteriormente. A tensão nas armaduras deve ser obtida a partir dos diagramas de tensão-deformação por meio dos valores de cálculo.

Figura 1: Domínios de deformação do Concreto Armado



Fonte: Adaptado da NBR 6118 (ABNT, 2023)

No contexto do estado-limite último, a norma contempla dois modos de falha cruciais para o concreto armado. O primeiro refere-se à ruptura à compressão do concreto na seção bruta, onde são consideradas as limitações de resistência do material à compressão. O segundo modo de falha aborda a ruptura à tração do aço, levando em consideração a capacidade resistente do material à tração.

2.5. Domínios de Deformação

2.5.1. Domínio 1

No domínio 1, nota-se que há apenas esforços de tração, ou seja, tração pura na seção, e as tensões resultantes atuam no centro de gravidade da armadura, gerando uma deformação uniforme em todas as fibras da seção transversal. A condição é tal que a seção se encontra completamente tracionada, sendo o aço o único contribuinte para a resistência da peça. Nesse cenário, o concreto, por sua vez, também está tracionado, resultando em fissuras (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO, 2014). A trajetória da deformação gira em torno do ponto “A”, que possui uma deformação de 10‰, até atingir o limite do domínio. Esse limite é caracterizado pela deformação de compressão nula, indicando a presença de tração composta. Na tração composta, a resultante das tensões atua de maneira excêntrica ao centro de gravidade da armadura, provocando diferentes deformações em cada fibra da seção.

$$\text{Início: } \varepsilon_s = 10\text{‰ e } \varepsilon_c = 10\text{‰}$$

$$\text{Término: } \varepsilon_s = 10\text{‰ e } \varepsilon_c = 0$$

2.5.2. Domínio 2

No domínio 2, observa-se que há esforços de flexão, podendo ocorrer de maneira simples ou composta. A seção transversal encontra-se sob tração em uma parte e compressão em outra. A falha ocorre devido à deformação excessiva da armadura tracionada, sendo que a fibra mais solicitada atinge uma deformação de 10‰, enquanto o concreto não atinge sua tensão de ruptura. O domínio continua a girar em torno da reta "A", iniciando no limite superior do domínio 1 e percorrendo toda a faixa de deformações, desde o valor nulo até o limite da deformação do concreto igual a ε_{cu} , mantendo o ponto “A” fixo no valor de 10‰. Assim, a capacidade resistente da seção é composta pelo aço tracionado e pelo concreto comprimido.

$$\text{Início: } \varepsilon_s = 10\text{‰ e } \varepsilon_c = 0$$

$$\text{Término: } \varepsilon_s = 10\text{‰ e } \varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$$

2.5.3. Domínio 3

No domínio 3, são evidenciados os esforços de flexão, que podem ser simples ou compostos. A seção transversal está sujeita a tração e compressão, contudo, em contraste com o domínio 2, aqui irá ocorrer a ruptura do concreto devido à deformação, alcançando a deformação limite na fibra mais comprimida, nesta situação iremos tem-se seções subarmadas. Neste domínio, o ponto fixo é "B",

representando a deformação limite do concreto. A trajetória abrange desde a deformação de 10‰ até o valor específico de escoamento do aço (ϵ_{yd}). A seção resistente é constituída pelo aço tracionado e pelo concreto comprimido. A ruptura do concreto coincide com o escoamento da armadura, configurando uma situação ideal, uma vez que ambos os materiais atingem sua capacidade resistente máxima, ou seja, são integralmente aproveitados (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO, 2014).

Início: $\epsilon_s = 10\text{‰}$ e $\epsilon_c = \epsilon_{cu}$

Término: $\epsilon_s = \epsilon_{yd}$ e $\epsilon_c = \epsilon_{cu}$

2.5.4. Domínio 4

No domínio 4, são notados os esforços de flexão, que podem ser simples ou compostos. A seção transversal está predominantemente submetida à compressão, com uma pequena parte sujeita a tração. A ruptura da peça ocorre devido à deformação que leva ao colapso do concreto. Neste cenário, podem ocorrer seções superarmadas, que são antieconômicas, uma vez que o aço não é plenamente utilizado em sua capacidade resistente. Portanto, se possível, deve-se evitar essa condição. O ponto fixo continua sendo o ponto “B”, que representa a deformação limite do concreto. A ruptura nesse domínio é frágil e ocorre sem aviso, pois o concreto se rompe sem que a armadura atinja sua deformação de escoamento. Em outras palavras, não há grandes deformações no aço nem fissuração do concreto para servir como advertência (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO, 2014).

Início: $\epsilon_s = \epsilon_{yd}$ e $\epsilon_c = \epsilon_{cu}$

Término: $\epsilon_s = 0$ e $\epsilon_c = \epsilon_{cu}$

2.5.5. Domínio 4a

No Domínio “4^a”, observou-se os esforços de flexão composta, onde as armaduras estão sujeitas à compressão e a seção transversal apresenta tanto o aço quanto o concreto sob essa condição. Neste domínio, as seções transversais exibem armaduras comprimidas e pequenas regiões de concreto tracionado. A ruptura ocorre devido à deformação limite do concreto, e a trajetória da deformação continua a girar em torno do ponto “b”. A ruptura também é frágil, sem aviso prévio, pois o concreto atinge a ruptura simultaneamente com a compressão da armadura. Em outras palavras, não há fissuração nem deformações excessivas que sirvam como alerta (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO, 2014).

Início: $\epsilon_s = 0$ e $\epsilon_c = \epsilon_{cu}$

Término: $\epsilon_s < 0$ e $\epsilon_c = \epsilon_{cu}$

2.5.6. Domínio 5

No domínio 5, nota-se que a seção inteira está sujeita a compressão, podendo sofrer compressão simples, onde a compressão é uniforme em toda a seção, representada pela reta "B", ou compressão composta, onde há variação da deformação ao longo da seção. A trajetória que descreve a deformação

da seção gira em torno do ponto “C”, situado a 3/7 da altura (h) a partir da borda mais comprimida. A ruptura também ocorre de maneira frágil, sem aviso prévio, uma vez que o concreto atinge a ruptura simultaneamente com a compressão da armadura. Em outras palavras, não há fissuração nem deformações excessivas que sirvam como alerta (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO, 2014).

Início: $\varepsilon_s = < 0$ e $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$

Término: $\varepsilon_s = \varepsilon_{c2}$ e $\varepsilon_c = \varepsilon_{c2}$

Carvalho e Figueiredo Filho (2014) ressaltaram que, embora a análise tenha contemplado uma seção transversal de geometria retangular, os domínios são aplicáveis a qualquer configuração de seção e arranjo de armaduras.

2.6. Relação Constitutiva do Concreto

A relação tensão-deformação, conforme estabelecida pela norma, é semelhante a uma curva de parábola-retângulo, tal como ilustrado na Figura 2. Nesse contexto, o comportamento não linear do concreto é caracterizado por fenômenos como fissuração, plastificação e colapso.

Na fase elástica, a relação é linear, indicando que a deformação é proporcional à tensão aplicada. O módulo de elasticidade do concreto (E_c) representa a rigidez nessa fase. Contudo, à medida que as tensões ultrapassam os limites elásticos, o concreto ingressa na fase inelástica, resultando em deformações permanentes. Nesse estágio, a relação tensão-deformação torna-se não linear, com a norma estabelecendo parâmetros para representar esse comportamento. A transição para a fase inelástica marca o início da fissuração, uma vez que o concreto não apresenta uma boa capacidade de resistir a deformações de esforços de tração. A Equação (1) descreve a relação entre tensão (σ_{cd}) e deformação (ε_c) do concreto no trecho parabólico:

$$\sigma_{cd} = \gamma_c \eta_c f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_{c2}}{\varepsilon_{cu}} \right)^n \right] \quad (1)$$

sendo: σ_{cd} : Tensão do Concreto Comprimido;

γ_c : Coeficiente de redução da resistência do Concreto;

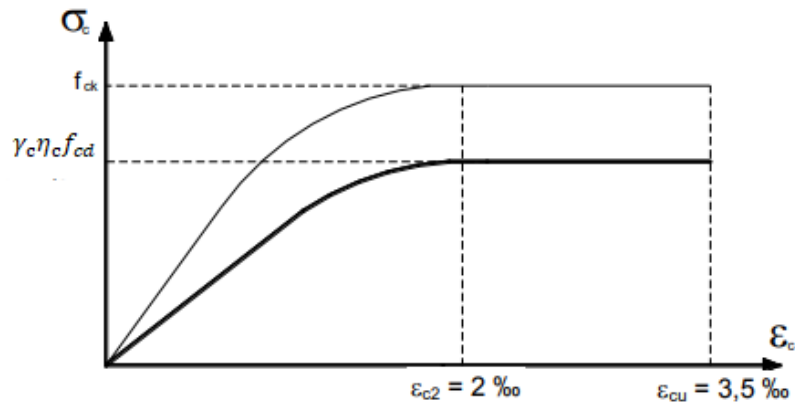
η_c : Fator de Fragilidade do Concreto;

f_{cd} : Resistência de Cálculo do Concreto à Compressão;

ε_{c2} : Deformação Específica do Encurtamento do Concreto no Início do Patamar Plástico;

ε_{cu} : Deformação Específica do Encurtamento do Concreto na Ruptura.

Figura 2 – Relação tensão e deformação do concreto.



Fonte: Adaptado da NBR 6118 (ABNT, 2023).

A NBR 6118 (ABNT, 2023) estabelece os valores para os parâmetros ϵ_{c2} (deformação específica do encurtamento do concreto no início do patamar plástico), ϵ_{cu} (deformação específica de encurtamento na ruptura) e n . Conforme as diretrizes da norma, para concretos de classe até C50, a deformação específica de encurtamento no início do patamar plástico é fixada em 2,0‰, a de ruptura é de 3,5‰ ($\epsilon_{c2} = 3,5\epsilon_c$), e o valor de n é prescrito como 2 até essa classe do concreto com resistência C50.

Para concretos com resistência acima de C50 os valores de ϵ_{cu} e ϵ_{cu2} devem seguir as equações a baixo respectivamente:

$$\epsilon_{cu} = 2,0\text{‰} + 35\text{‰} \left[\frac{(90 - f_{ck})}{100} \right]^4 \quad (2)$$

$$\epsilon_{cu2} = 2,0\text{‰} + 0,085\text{‰} (f_{ck} - 50)^{0,53} \quad (3)$$

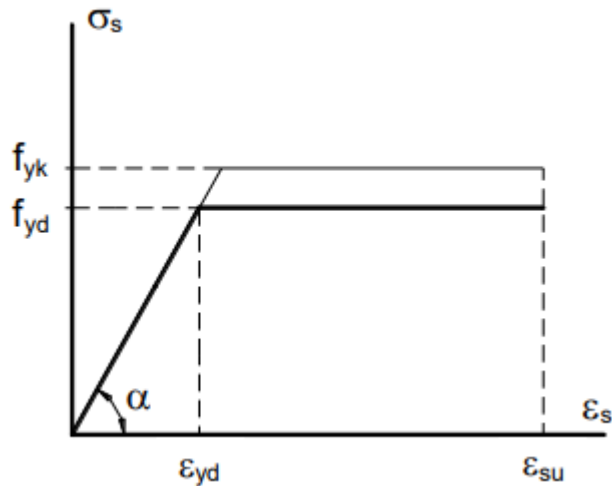
Ainda segundo os parâmetros da norma os valores de η_c devem seguir o seguinte critério:

- Para $f_{ck} \leq 40$ Mpa $\eta_c = 1,0$ $\alpha_c = 0,85$
- Para $f_{ck} > 40$ Mpa $\eta_c = \left(\frac{40}{f_{ck}} \right)^{\frac{1}{3}}$ $\alpha_c = 0,85$
- Para $f_{ck} \leq 50$ Mpa $n = 2,0$ $\alpha_c = 0,85$
- Para $f_{ck} > 50$ Mpa $n = 1,4 + 23,4 \left[\frac{90 - f_{ck}}{100} \right]^4$ $\alpha_c = 0,85 \left[1 - \frac{f_{ck} - 50}{200} \right]$

2.6 Relação Constitutiva do Aço

Quanto à relação constitutiva do aço, a norma especifica propriedades cruciais, como a resistência característica (f_{yk}), essencial no cálculo da capacidade resistente das seções transversais das peças estruturais. Além disso, a NBR 6118(2023) aborda o fenômeno da plastificação do aço, que ocorre quando as tensões atingem a resistência característica, fornecendo diretrizes claras sobre como modelar e calcular as deformações do aço nesse estágio crítico. Seguindo as diretrizes da NBR 6118 (ABNT, 2023), a análise da resistência nos estados-limite de serviço e último se beneficia do uso do diagrama simplificado apresentado na Figura 3. Este recurso é aplicável em uma ampla faixa de temperaturas, variando de -20°C a 150°C , e é igualmente eficaz em situações de tração e compressão do aço.

Figura 3 – Diagrama tensão-deformação para aços de armaduras passivas.



Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2023).

Conforme Carvalho e Figueiredo Filho (2014), em aços que apresentam um patamar de escoamento definido, a determinação da deformação específica de cálculo ϵ_{yd} , que marca o início desse patamar, baseia-se na relação entre a tensão máxima de resistência calculada e o módulo de elasticidade do aço. Caso não haja ensaios ou informações fornecidas pelo fabricante, a NBR 6118 (ABNT, 2023) permite a utilização do módulo de elasticidade do aço como 210 GPa. Isso conduz a um valor de deformação específica no patamar plástico de 2,07‰ para o aço CA-50. Essa abordagem emerge como uma alternativa prática em cenários nos quais dados específicos não estão acessíveis, contribuindo para uma estimativa confiável da deformação nesse contexto.

2.7 Flexão Normal Simples em Seções Retangulares de Concreto Armado

Conforme estabelecido pela NBR 6118 (ABNT, 2023), a flexão normal simples em peças retangulares de concreto armado, ocorre quando uma peça é submetida a esforços de flexão, mantendo a seção transversal retangular íntegra, sem forças cortantes ou torção significativas. Esse carregamento gera tensões de tração e compressão ao longo da seção retangular. A norma estabelece requisitos de

dimensionamento para garantir a segurança da peça submetida a um carregamento externo carga, levando em consideração a resistência do concreto, aço e o momento fletor resistente nos domínios de deformação.

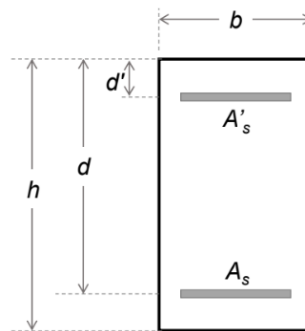
2.7.1. Equação de Equilíbrio

Segundo a norma NBR 6118 (ABNT, 2023), a flexão normal simples em peças retangulares de concreto armado se manifesta quando a peça é submetida a esforços de flexão, sem forças cortantes ou torção significativas. Para garantir a segurança da peça sob carga, a norma estabelece critérios de dimensionamento que levam em conta a resistência do concreto, do aço e o momento fletor resistente nos domínios de deformação. Na Figura 5 tem-se a representação dos esforços de tensão e deformação ao longo da seção da seção transversal retangular de concreto armado representada na Figura 4 a seguir:

$$\beta x \leq 0,45 \text{ para } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad (4)$$

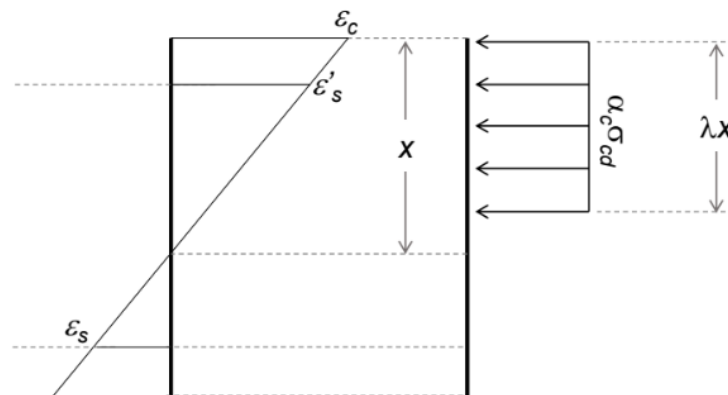
$$\beta x \leq 0,35 \text{ para } 50 \text{ MPa} < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa} \quad (5)$$

Figura 4–Seção transversal retangular de concreto armado.



Fonte: Da autora (2023)

Figura 5–Diagrama de deformação e tensão.



Fonte: Da autora (2023)

A seção estará sujeita a um momento fletor positivo (Md), levando-a a um estado limite último de flexão. Isso resultará em um dos domínios de deformação do concreto, envolvendo esmagamento do

concreto ou tração excessiva na armadura. Durante esse processo, uma linha neutra (LN) surgirá a uma distância " x " da fibra mais comprimida da seção, acima da LN , ocorrerão tensões de compressão no concreto com uma distribuição retangular, conforme a simplificação da NBR 6118 (2023). Essa distribuição possui uma altura " λx " e intensidade " $\alpha_c \sigma_{cd} \eta_c$ " representado pela Figura 4 acima. Devido às pequenas deformações plásticas, as tensões nas armaduras são consideradas constantes com valores " σ_s " e " σ'_s ."

Transformando as tensões em forças na região onde o concreto é comprimido chega-se na seguinte equação:

$$P_{cc} = \alpha_c * \sigma_{cd} * \eta_c * \lambda * x * b \quad (6)$$

onde: P_{cc} : Força no concreto comprimido;

λ : Altura do topo da seção até aplicação do Pcc no centro de distribuição de tensão;

b : Base da seção.

d : Distância da fibra mais comprimida até o centro de gravidade da armadura longitudinal tracionada

substituindo o x da equação por $x=\beta x*d$, tem-se:

$$P_{cc} = \alpha_c * \sigma_{cd} * \eta_c * \lambda * \beta_x * d * b \quad (7)$$

A força P_{cc} é aplicada no centro da distribuição de tensões de compressão na seção de concreto a uma altura $\lambda x/2$ do topo da seção. Fazendo a mesma relação feita para o concreto comprimido para as armaduras comprimida e tracionada, transformando as tensões em forças normais temos respectivamente as seguintes equações.

$$P_{sc} = \sigma'_s * A'_s \quad (8)$$

onde: P_{sc} : força na armadura comprimida;

σ'_s : tensão do aço definida no item 2.6;

A'_s : área da armadura comprimida;

A força P_{sc} é aplicada a uma altura d' do topo da seção.

$$P_{st} = \sigma_s * A_s \quad (9)$$

onde: P_{st} : força na armadura tracionada;

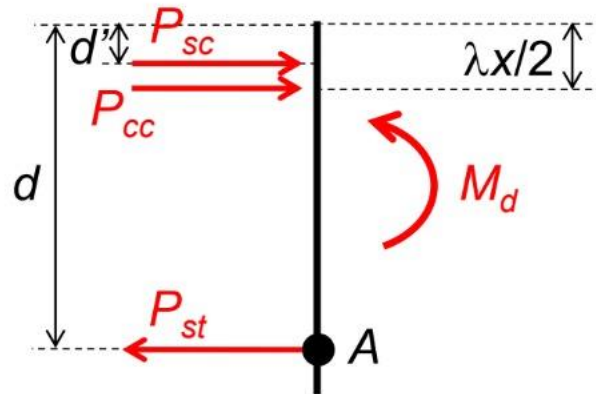
σ_s : tensão no aço definida no item 2.6;

A_s : área de armadura tracionada;

A força P_{st} é aplicada a uma altura d do topo da seção.

Todas as forças descritas anteriormente estão representadas na Figura 6.

Figura 6 – Vista Lateral da Seção Transversal



Fonte: Da Autora (2023)

2.7.2. Equilíbrio das Forças Horizontais

Fazendo o somatório das forças horizontais igual a zero obtém-se a equação a seguir:

$$P_{cc} + P_{sc} - P_{st} = 0 \quad (10)$$

substituindo P_{cc} , P_{sc} e P_{st} pelas Equações (3), (6) e (7), chega-se à:

$$\lambda * \alpha_c * \sigma_{cd} * \eta_c * b * d * \beta_x + \sigma'_s * A'_s - \sigma_s * A_s = 0 \quad (11)$$

2.7.3. Equilíbrio de momentos fletores

Sabendo que o somatório de momentos no ponto “A” da Figura 6 deve ser igual a zero, obtém-se a equação a seguir:

$$M_d = P_{cc} * \left(d - \frac{\lambda * \beta_x * d}{2} \right) + P_{sc} * (d - d') \quad (12)$$

substituindo P_{cc} e P_{st} pelas Equações (3) e (7), tem-se:

$$M_d = \lambda * \alpha_c * \sigma_{cd} * \eta_c * b * d * \left(d - \frac{\lambda * \beta_x * d}{2} \right) + \sigma'_s * A'_s * (d - d') \quad (13)$$

reorganizando a equação e colocando o d em evidência na primeira parte tem-se:

$$M_d = \lambda * \alpha_c * \sigma_{cd} * \eta_c * b * d^2 * \beta_x * \left(1 - \frac{\lambda * \beta_x}{2} \right) + \sigma'_s * A'_s * (d - d') \quad (14)$$

isolando a equação do M_d a esquerda da igualdade parâmetros conhecidos e a direita parâmetros desconhecidos e considerando armadura simples chega-se na seguinte equação:

$$\frac{M_d}{b * d^2} = \lambda * \alpha_c * \sigma_{cd} * \eta_c * \beta_x * \left(1 - \frac{\lambda * \beta_x}{2}\right) \quad (15)$$

substituindo todo o lado direito da igualdade pelo parâmetro $\frac{1}{K_c}$ e em seguida reorganizando a equação algebricamente obtém-se a equação a seguir para M_d :

$$M_d = \frac{b * d^2}{K_c} \quad (16)$$

onde: K_c : Coeficiente que considera a natureza as distribuições das tensões na seção antes da fissuração.

O valor de K_c é predefinido e varia de maneira direta em relação à aplicação do momento à qual a peça é submetida, além dos parâmetros geométricos da seção, especificamente os valores de "b" e "d", que influenciam na estimativa da posição da linha neutra da seção. Posteriormente, é estabelecida uma relação direta entre o parâmetro K_c e o parâmetro K_s no dimensionamento da área da armadura da seção, sendo essa relação representada pela seguinte equação:

$$K_s = \frac{A_s * d}{M_d} \quad (17)$$

onde: K_s : Coeficiente de segurança.

Nas Tabela 3 e 4 foi calculado usando a seguinte equação:

$$K_s = \frac{f_{yk}}{1,15} * (1 - 0,4 * \beta_x) \quad (18)$$

onde: f_{yk} : Resistência característica do aço no início do escoamento.

3 METODOLOGIA

3.1. Considerações iniciais

A abordagem metodológica adotada nesta pesquisa será de natureza quantitativa, focalizando a análise de dados relacionados às seções retangulares em estruturas de concreto armado. Com um caráter predominantemente explicativo, o objetivo não se limitará à mera descrição das modificações na tabela de dimensionamento, mas também buscará compreender as motivações subjacentes a essas mudanças. Para realizar essa investigação, a metodologia realizou-se uma pesquisa bibliográfica detalhada, analisando as atualizações da norma NBR 6118 (ABNT, 2023) e identificando suas principais alterações.

Cabe destacar que, para a elaboração dos cálculos e análise de dados, a ferramenta utilizada será o Microsoft Excel®, permitindo uma abordagem precisa e eficaz na avaliação das implicações práticas dessas mudanças na engenharia civil. A análise dos resultados obtidos proporcionará uma compreensão abrangente das alterações normativas e suas possíveis repercussões na prática da engenharia.

3.2. Elaboração de Planilhas e Análise

Para a elaboração das planilhas, foram selecionados valores de βx no intervalo de 0,02 a 0,778, visando abranger os domínios 2-a, 2-b, 3, 4 e 5. A variação da classe de concreto abrange desde C10 até C90, proporcionando uma análise que inclui desde concretos de baixa resistência até os de alta resistência. Essa diversidade visa destacar de maneira abrangente como a alteração na norma NBR 6118 (ABNT, 2023) impactará os valores de Kc como um todo. Quanto à escolha da classe de aço, optou-se por CA-25, CA-50 e CA-60, pois são comumente utilizadas no dimensionamento de estruturas de concreto armado. A escolha de manter a classe de concreto constante e variar apenas o βx visa facilitar a observação das alterações em cada classe de concreto de acordo com a variação do βx , que representa a posição da Linha Neutra (LN) na seção da estrutura. Isso possibilita a análise dos valores conforme as mudanças nos domínios, uma vez que cada domínio reflete como a peça foi dimensionada, considerando se está totalmente comprimida ou parcialmente, conforme mencionado no referencial teórico no item 2.5.

Os valores na próxima seção de resultados e discussões foram obtidos por meio dos cálculos realizados com a Equação (15), conforme descrito no referencial teórico (item 2.7), para as células correspondentes ao Kc da tabela. Esses cálculos envolveram a observação das variações de λ , ac , acd e ηc , que assumem valores distintos de acordo com a variação do domínio ao qual a estrutura de concreto armado está sendo dimensionada. Já no cálculo das células de Ks , foi adotada a Equação (18), também apresentada no referencial teórico (item 2.7).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo os resultados serão apresentados por meio de tabelas elaboradas no Excel®, seguindo as diretrizes estabelecidas pelas normas NBR 6118 de 2014 e 2023. Inicialmente, será abordada a comparação entre as versões, destacando as alterações implementadas em uma em relação à outra.

4.2 Modificações na Tabela de Dimensionamento para Seções Retangulares

A atualização mais recente da NBR 6118 (ABNT, 2023) representa dentre as várias mudanças implementadas, destaca-se a revisão do método de tensão e compressão do concreto, introduzindo um elemento crucial: o coeficiente de fragilidade, η_c . Essa adição reflete uma abordagem mais aprimorada no cálculo da tensão do concreto comprimido e tracionado.

O η_c emerge como um parâmetro chave nesse novo contexto, assumindo um papel preponderante em concretos de alta resistência, onde a resistência característica ultrapassa 40 MPa. Vale destacar que, nesses casos, o coeficiente de fragilidade revela-se como um fator dinâmico, adotando valores inferiores a 1. A Tabela 1 a seguir representa os valores que o η_c , coeficiente de fragilidade, deve assumir conforme os valores de resistência do concreto.

Tabela 1: Coeficiente de redução conforme o aumento da resistência do concreto:

fck	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
η_c	1	1	1	1	1	1	1	0,961	0,9283	0,8993	0,8736	0,8506	0,8298	0,8110	0,7937	0,7778	0,7631

Fonte: Da autora (2023)

4.3 Comparação entre as duas Versões

A elaboração da tabela de dimensionamento de armadura simples para seções retangulares sob flexão simples requer atenção a diversos pontos cruciais, conforme discutido no referencial teórico. É fundamental ressaltar que certos parâmetros, como os valores de deformação específica do concreto no início do patamar plástico (ϵ_{cu}) e de ruptura (ϵ_{cu2}), variam de acordo com a resistência do concreto. Além disso, a altura da seção (h) e o parâmetro de redução do concreto (γ_c) também são variáveis a serem consideradas. Ao calcular os coeficientes k_c e k_s , é essencial atentar-se aos valores de β_x , pois esses determinam em qual domínio o concreto está sendo dimensionado, influenciando a posição da linha neutra na seção e, conseqüentemente, afetando se a tensão do concreto comprimido deve ser equivalente a f_{cd} ou se deve ser calculada conforme o item 2.5 do referencial teórico. A Tabela 2 foi calculada levando em consideração todas essas variáveis, seguindo as diretrizes estabelecidas pela NBR 6118 (ABNT, 2014). Essa abordagem integrada permite um dimensionamento preciso, considerando as especificidades do concreto e as condições de flexão simples.

Os cálculos presentes na Tabela 2 foram refeitos na Tabela 3, mantendo as considerações previamente discutidas. Nessa atualização, foi incorporada uma variável adicional significativa: o coeficiente de fragilidade. Este coeficiente de fragilidade, passou a integrar o cálculo da tensão de compressão do concreto. Nota-se que η_c assume valores iguais a 1 para concretos até 40 MPa, enquanto para concretos com f_{ck} acima desse limite, η_c adquire valores inferiores a 1 conforme foi representado na Tabela 1.

Após a formulação de planilhas no Microsoft Excel® para comparação entre a versão anterior da norma (ABNT, 2014) e a versão atual (ABNT, 2023), observou-se um aumento progressivo nos valores a partir de um de f_{ck} de 45 o que já se era esperado. Esse incremento se deve à introdução de um coeficiente de fragilidade na norma atual, evidenciando uma abordagem mais cautelosa no dimensionamento de concreto com alta resistência. Essa modificação visa assegurar que o processo de dimensionamento seja realizado com uma margem adicional em prol da segurança estrutural.

Adicionalmente, é notável que os valores iniciais na tabela para resistência inferiores a 40 MPa não houve nenhuma alteração, no entanto no concreto de 45 MPa já se observou que o valor de K_c aumentou aproximadamente 5 cm²/kN. Esse aumento é mais evidente ao se considerar o concreto de resistência C90, que apresentou um acréscimo de cerca de 26 cm²/kN. Essas observações indicam uma resposta direta às alterações na norma, ressaltando a importância de revisões e análises para garantir que o dimensionamento esteja em conformidade com os padrões mais recentes e, ao mesmo tempo, assegure a segurança estrutural necessária.

4.4 Explicação das Razões dessas Alterações

A necessidade premente da alteração da NBR 6118 (ABNT, 2023) está intrinsecamente ligada às transformações no cenário da engenharia civil, notadamente pelo aumento do uso de concretos de alta resistência. Esses materiais, cuja resistência ultrapassa os 40 MPa, apresentam comportamentos distintos sob compressão, demandando uma revisão nos métodos de dimensionamento. A introdução do coeficiente de fragilidade, η_c , destaca-se como uma resposta precisa a essa realidade, reconhecendo a natureza frágil que o concreto pode adotar em determinadas condições. Essa adição não só representa uma abordagem mais refinada no cálculo da tensão do concreto comprimido, mas também atende à necessidade de promover maior segurança e eficiência estrutural.

Tabela 2– Flexão Simples em Seção Retangular, Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014)

		CONCRETO																				AÇO				
		fck																				CA				
β_x		C10	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80	C85	C90	Z5	50	60					
DOMÍNIO 2 A	0,02	535,82	357,21	267,91	214,33	178,61	153,09	133,95	119,07	107,16	101,49	97,01	93,46	90,67	88,51	86,88	85,72	84,96	0,0464	0,0232	0,0193					
	0,04	140,14	93,42	70,07	56,05	46,71	40,04	35,03	31,14	28,03	26,54	25,37	24,43	23,70	23,13	22,71	22,40	22,20	0,0467	0,0234	0,0195					
	0,06	65,54	43,69	32,77	26,22	21,85	18,73	16,38	14,56	13,11	12,41	11,86	11,42	11,08	10,81	10,61	10,47	10,37	0,0471	0,0236	0,0196					
	0,08	39,07	26,04	19,53	15,63	13,02	11,16	9,77	8,68	7,81	7,40	7,07	6,81	6,60	6,44	6,32	6,23	6,18	0,0475	0,0238	0,0198					
	0,1	26,73	17,82	13,36	10,69	8,91	7,64	6,68	5,94	5,35	5,06	4,83	4,65	4,51	4,40	4,32	4,26	4,22	0,0479	0,0240	0,0200					
DOMÍNIO 2 B	0,12	20,05	13,37	10,03	8,02	6,68	5,73	5,01	4,46	4,01	3,80	3,63	3,49	3,38	3,30	3,24	3,19	3,16	0,0483	0,0242	0,0201					
	0,14	16,14	10,76	8,07	6,45	5,38	4,61	4,03	3,59	3,23	3,05	2,92	2,81	2,72	2,66	2,60	2,57	2,54	0,0487	0,0244	0,0203					
	0,16	13,78	9,19	6,89	5,51	4,59	3,94	3,44	3,06	2,76	2,61	2,49	2,40	2,32	2,27	2,22	2,19	2,17	0,0491	0,0246	0,0205					
	0,18	12,44	8,30	6,22	4,98	4,15	3,56	3,11	2,77	2,47	2,35	2,25	2,16	2,10	2,04	2,00	1,98	1,96	0,0496	0,0248	0,0207					
	0,2	11,19	7,46	5,59	4,48	3,73	3,20	2,80	2,65	2,24	2,12	2,02	1,94	1,88	1,84	1,82	1,81	1,80	0,0500	0,0250	0,0208					
DOMÍNIO 3	0,22	10,26	6,84	5,13	4,10	3,42	2,93	2,57	2,28	2,05	1,94	1,85	1,78	1,73	1,68	1,65	1,63	1,61	0,0504	0,0252	0,0210					
	0,24	9,49	6,33	4,74	3,80	3,16	2,71	2,37	2,11	1,90	1,79	1,71	1,65	1,60	1,56	1,52	1,50	1,49	0,0509	0,0254	0,0212					
	0,26	8,84	5,89	4,42	3,54	2,95	2,53	2,21	1,96	1,77	1,67	1,59	1,53	1,49	1,45	1,42	1,40	1,38	0,0513	0,0257	0,0214					
	0,28	8,28	5,52	4,14	3,31	2,76	2,37	2,07	1,84	1,66	1,57	1,49	1,44	1,39	1,36	1,33	1,31	1,29	0,0518	0,0259	0,0216					
	0,3	7,80	5,20	3,90	3,12	2,60	2,23	1,95	1,73	1,56	1,47	1,41	1,35	1,31	1,28	1,25	1,23	1,22	0,0523	0,0261	0,0218					
DOMÍNIO 4	0,32	7,38	4,92	3,69	2,95	2,46	2,11	1,84	1,64	1,48	1,39	1,33	1,28	1,24	1,21	1,18	1,16	1,15	0,0528	0,0264	0,0220					
	0,34	7,01	4,67	3,50	2,80	2,34	2,00	1,75	1,56	1,40	1,32	1,26	1,21	1,18	1,14	1,12	1,10	1,09	0,0532	0,0266	0,0222					
	0,36	6,68	4,45	3,34	2,67	2,23	1,91	1,67	1,48	1,34	1,26	1,20	1,16	1,12	1,09	1,07	1,05	1,04	0,0537	0,0269	0,0224					
	0,38	6,39	4,26	3,19	2,56	2,13	1,83	1,60	1,42	1,28	1,21	1,15	1,11	1,07	1,04	1,02	1,00	0,99	0,0542	0,0271	0,0226					
	0,4	6,13	4,08	3,06	2,45	2,04	1,75	1,53	1,36	1,23	1,16	1,10	1,06	1,03	1,00	0,98	0,96	0,95	0,0548	0,0274	0,0228					
DOMÍNIO 5	0,42	5,89	3,93	2,95	2,36	1,96	1,68	1,47	1,31	1,18	1,11	1,06	1,02	0,99	0,96	0,94	0,92	0,91	0,0553	0,0276	0,0230					
	0,44	5,68	3,79	2,84	2,27	1,89	1,62	1,42	1,26	1,14	1,07	1,02	0,98	0,95	0,92	0,90	0,89	0,88	0,0558	0,0279	0,0233					
	0,46	5,48	3,66	2,74	2,19	1,83	1,57	1,37	1,22	1,10	1,04	0,99	0,95	0,92	0,89	0,87	0,86	0,85	0,0564							
	0,48	5,31	3,54	2,65	2,12	1,77	1,52	1,33	1,18	1,06	1,00	0,95	0,92	0,89	0,86	0,84	0,83	0,82	0,0569							
	0,5	5,15	3,43	2,57	2,06	1,72	1,47	1,29	1,14	1,03	0,97	0,92	0,89	0,86	0,83	0,82	0,80	0,79	0,0575							
DOMÍNIO 5	0,52	5,00	3,33	2,50	2,00	1,67	1,43	1,25	1,11	1,00	0,94	0,90	0,86	0,83	0,81	0,79	0,78	0,77	0,0581							
	0,54	4,86	3,24	2,43	1,95	1,62	1,39	1,22	1,08	0,97	0,92	0,87	0,84	0,81	0,79	0,77	0,76	0,75	0,0587							
	0,56	4,74	3,16	2,37	1,90	1,58	1,35	1,18	1,05	0,95	0,89	0,85	0,82	0,79	0,77	0,75	0,74	0,73	0,0593							
	0,58	4,62	3,08	2,31	1,85	1,54	1,32	1,16	1,03	0,92	0,87	0,83	0,80	0,77	0,75	0,73	0,72	0,71	0,0599							
	0,6	4,51	3,01	2,26	1,81	1,50	1,29	1,13	1,00	0,90	0,85	0,81	0,78	0,75	0,73	0,71	0,70	0,69	0,0605							
0,628	4,38	2,92	2,19	1,75	1,46	1,25	1,09	0,97	0,88	0,83	0,78	0,75	0,73	0,71	0,69	0,68	0,67	0,0614								
0,64	4,32	2,88	2,16	1,73	1,44	1,24	1,08	0,96	0,86	0,81	0,77	0,74	0,72	0,70	0,68	0,67	0,66	0,0620								
0,68	4,16	2,77	2,08	1,66	1,39	1,19	1,04	0,92	0,83	0,78	0,74	0,71	0,69	0,67	0,65	0,64	0,63	0,0626								
0,72	4,02	2,68	2,01	1,61	1,34	1,15	1,00	0,89	0,80	0,76	0,72	0,69	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,0632								
0,76	3,89	2,59	1,95	1,56	1,30	1,11	0,97	0,86	0,78	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,61	0,59	0,59	0,0638								
0,772	3,86	2,57	1,93	1,54	1,29	1,10	0,96	0,86	0,77	0,73	0,69	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,58	0,0644								

Fonte: Da Autora (2023).

Tabela 3– Flexão Simples em Seção Retangular. Segundo a NBR 6118(ABNT, 2023)

		CONCRETO																		AÇO		
		f _{ck}																		CA		
β _x	C10	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80	C85	C90	25	50	60		
DOMÍNIO 2 A	0,02	535,82	357,21	267,91	214,33	178,61	153,09	133,95	123,84	115,44	112,86	111,05	109,88	109,27	109,14	109,46	110,20	111,34	0,0464	0,0232	0,0193	
	0,04	140,14	93,42	70,07	56,05	46,71	40,04	35,03	32,39	30,19	29,51	29,04	28,73	28,56	28,53	28,61	28,80	29,09	0,0467	0,0234	0,0195	
	0,06	65,54	43,69	32,77	26,22	21,85	18,73	16,38	15,15	14,12	13,80	13,58	13,43	13,35	13,33	13,37	13,45	13,59	0,0471	0,0236	0,0196	
	0,08	39,07	26,04	19,53	15,63	13,02	11,16	9,77	9,03	8,42	8,23	8,09	8,00	7,95	7,94	7,96	8,01	8,09	0,0475	0,0238	0,0198	
	0,1	26,73	17,82	13,36	10,69	8,91	7,64	6,68	6,18	5,76	5,63	5,53	5,47	5,44	5,43	5,44	5,48	5,53	0,0479	0,0240	0,0200	
DOMÍNIO 2 B	0,12	20,05	13,37	10,03	8,02	6,68	5,73	5,01	4,63	4,22	4,15	4,10	4,08	4,07	4,08	4,11	4,14	0,0483	0,0242	0,0201		
	0,14	16,14	10,76	8,07	6,45	5,38	4,61	4,03	3,73	3,48	3,40	3,34	3,30	3,28	3,27	3,28	3,30	0,0487	0,0244	0,0203		
	0,16	13,78	9,19	6,89	5,51	4,59	3,94	3,44	3,18	2,97	2,90	2,85	2,82	2,80	2,79	2,80	2,82	0,0491	0,0246	0,0205		
	0,18	12,44	8,30	6,22	4,98	4,15	3,56	3,11	2,88	2,66	2,62	2,57	2,54	2,53	2,52	2,53	2,54	0,0496	0,0248	0,0207		
	0,2	11,19	7,46	5,59	4,48	3,73	3,20	2,80	2,59	2,41	2,35	2,31	2,29	2,27	2,27	2,27	2,42	2,43	0,0500	0,0250	0,0208	
DOMÍNIO 3	0,22	10,26	6,84	5,13	4,10	3,42	2,93	2,57	2,37	2,21	2,16	2,12	2,10	2,08	2,08	2,08	2,09	2,11	0,0504	0,0252	0,0210	
	0,24	9,49	6,33	4,74	3,80	3,16	2,71	2,37	2,19	2,04	2,00	1,96	1,94	1,92	1,92	1,92	1,93	1,95	0,0509	0,0254	0,0212	
	0,26	8,84	5,89	4,42	3,54	2,95	2,53	2,21	2,04	1,90	1,86	1,83	1,80	1,79	1,79	1,79	1,80	1,81	0,0513	0,0257	0,0214	
	0,28	8,28	5,52	4,14	3,31	2,76	2,37	2,07	1,91	1,78	1,74	1,71	1,69	1,68	1,67	1,67	1,68	1,70	0,0518	0,0259	0,0216	
	0,3	7,80	5,20	3,90	3,12	2,60	2,23	1,95	1,79	1,68	1,64	1,61	1,59	1,58	1,57	1,57	1,58	1,59	0,0523	0,0261	0,0218	
DOMÍNIO 4	0,32	7,38	4,92	3,69	2,95	2,46	2,11	1,84	1,71	1,59	1,55	1,52	1,50	1,49	1,49	1,49	1,49	1,51	0,0528	0,0264	0,0220	
	0,34	7,01	4,67	3,50	2,80	2,34	2,00	1,75	1,62	1,51	1,47	1,45	1,43	1,42	1,41	1,41	1,42	1,43	0,0532	0,0266	0,0222	
	0,36	6,68	4,45	3,34	2,67	2,23	1,91	1,67	1,54	1,44	1,40	1,38	1,36	1,35	1,34	1,34	1,35	1,36	0,0537	0,0269	0,0224	
	0,38	6,39	4,26	3,19	2,56	2,13	1,83	1,60	1,48	1,38	1,34	1,32	1,30	1,29	1,28	1,28	1,29	1,30	0,0542	0,0271	0,0226	
	0,4	6,13	4,08	3,06	2,45	2,04	1,75	1,53	1,42	1,32	1,29	1,26	1,25	1,24	1,23	1,23	1,24	1,24	0,0548	0,0274	0,0228	
DOMÍNIO 5	0,42	5,89	3,93	2,95	2,36	1,96	1,68	1,47	1,36	1,27	1,24	1,21	1,20	1,19	1,18	1,18	1,19	1,20	0,0553	0,0276	0,0230	
	0,44	5,68	3,79	2,84	2,27	1,89	1,62	1,42	1,31	1,22	1,19	1,17	1,15	1,14	1,14	1,14	1,14	1,15	0,0558	0,0279	0,0233	
	0,46	5,48	3,66	2,74	2,19	1,83	1,57	1,37	1,27	1,18	1,15	1,13	1,11	1,10	1,10	1,10	1,10	1,11	0,0564			
	0,48	5,31	3,54	2,65	2,12	1,77	1,52	1,33	1,23	1,14	1,11	1,09	1,08	1,07	1,06	1,06	1,07	1,07	0,0569			
	0,5	5,15	3,43	2,57	2,06	1,72	1,47	1,29	1,19	1,11	1,08	1,06	1,04	1,03	1,03	1,03	1,03	1,04	0,0575			
DOMÍNIO 5	0,52	5,00	3,33	2,50	2,00	1,67	1,43	1,25	1,16	1,08	1,05	1,03	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	0,0581			
	0,54	4,86	3,24	2,43	1,95	1,62	1,39	1,22	1,12	1,05	1,02	1,00	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,98	0,0587			
	0,56	4,74	3,16	2,37	1,90	1,58	1,35	1,18	1,09	1,02	0,99	0,97	0,96	0,95	0,94	0,94	0,95	0,95	0,0593			
	0,58	4,62	3,08	2,31	1,85	1,54	1,32	1,16	1,07	1,00	0,97	0,95	0,93	0,93	0,92	0,92	0,92	0,93	0,0599			
	0,6	4,51	3,01	2,26	1,81	1,50	1,29	1,13	1,04	0,97	0,95	0,93	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,0605			
DOMÍNIO 5	0,628	4,38	2,92	2,19	1,75	1,46	1,25	1,09	1,01	0,94	0,92	0,90	0,88	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,0614			
	0,64	4,32	2,88	2,16	1,73	1,44	1,24	1,08	1,00	0,93	0,91	0,89	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,0614			
	0,68	4,16	2,77	2,08	1,66	1,39	1,19	1,04	0,96	0,90	0,87	0,85	0,84	0,83	0,82	0,82	0,82	0,83	0,0614			
	0,72	4,02	2,68	2,01	1,61	1,34	1,15	1,00	0,93	0,87	0,84	0,82	0,81	0,80	0,79	0,79	0,79	0,80	0,0614			
	0,76	3,89	2,59	1,95	1,56	1,30	1,11	0,97	0,90	0,84	0,81	0,80	0,78	0,77	0,77	0,76	0,76	0,77	0,0614			
0,772	3,86	2,57	1,93	1,54	1,29	1,10	0,96	0,89	0,83	0,81	0,79	0,78	0,77	0,76	0,76	0,76	0,76	0,0614				

Fonte: Da Autora (2023).

Ao assumir valores inferiores a 1, o coeficiente de fragilidade age como um fator dinâmico, desempenhando um papel vital na redução da resistência do concreto e, conseqüentemente, incrementando o fator de segurança no dimensionamento estrutural. Essa abordagem mais cautelosa não apenas amplia a precisão do dimensionamento, mas também responde proativamente às crescentes demandas por materiais de construção de alto desempenho.

A atualização da NBR 6118 (ABNT, 2023) não é apenas uma resposta isolada, mas sim uma incorporação necessária diante do constante avanço tecnológico e científico na engenharia civil. A norma evolui em consonância com descobertas recentes e práticas recomendadas, assegurando que as estruturas sejam projetadas de maneira eficaz e segura. Ao destacar a importância do coeficiente de fragilidade, a revisão da norma não apenas reflete o compromisso com a precisão e a segurança estrutural, mas também se adapta às demandas emergentes da indústria, garantindo que as estruturas estejam alinhadas com os mais recentes padrões de segurança e eficiência.

4.5. Exemplos Resolvidos

Neste segmento, será conduzida à resolução de três exemplos de dimensionamento, empregando a tabela previamente elaborada anteriormente, com o intuito de destacar os resultados segundo as duas versões da norma. Os exemplos escolhidos para a resolução foram retirados da obra de Carvalho e Figueiredo Filho (2014). O propósito desse exercício é evidenciar as discrepâncias nos resultados decorrentes da aplicação das diferentes versões normativas, oferecendo uma visão mais aprofundada das implicações práticas das alterações normativas. Nota-se que os exercícios foram selecionados de maneira a abranger concretos de resistências mais elevadas, proporcionando uma análise mais evidente das alterações, uma vez que é nessa categoria que tais modificações se destacam de forma mais significativa.

4.5.1. Exemplo 1

Neste item, a armadura será determinada para uma seção retangular de concreto armado com $b = 0,12$ m e $d = 0,29$ m sob a ação de um momento fletor de cálculo igual a $Md = 17,08$ kN.m. Dados: $fck = 90$ MPa (90.000 kN/m²); aço CA-50 ($f_yd = f_yk/1,15 = 500/1,15 = 434,78$ MPa = 43,478 kN/cm²)

Compatibilização de unidades:

$b=12$ cm ; $d=29$ cm e $Md=1708$ KN.cm

NBR 6118 (ABNT, 2014)

$$k_c = \frac{b * d^2}{Md} = \frac{12 * 29^2}{1708} = 5,91 \text{ cm}^2/\text{KN}$$

Fazendo a interpolação dos valores da Tabela 4 da NBR 6118 (ABNT, 2014) tem-se:

$$\frac{0,08 - 0,1}{6,18 - 4,22} = \frac{x - 0,1}{5,91 - 4,22} = 0,083$$

Logo $\beta x = 0,083$ com esse valor através da tabela é possível determinar que K_s assim como para determinação de βx houve a necessidade de realizar uma interpolação dos valores.

$$\frac{0,0238 - 0,0240}{0,08 - 0,1} = \frac{k_s - 0,0240}{0,083 - 0,1} = 0,02383 \text{ cm}^2/\text{KN}$$

Logo $K_s = 0,02383 \text{ cm}^2/\text{KN}$, com essa informação é possível calcular o A_s da seção pela equação a seguir:

$$A_s = \frac{K_s * Md}{d} = \frac{0,02383 * 1708}{29} = 1,404 \text{ cm}^2$$

NBR 6118 (ABNT, 2023)

$$k_c = \frac{b * d^2}{Md} = \frac{12 * 29^2}{1708} = 5,91 \text{ cm}^2/\text{KN}$$

Fazendo a interpolação dos valores da tabela da NBR 6118 (ABNT, 2023) tem-se:

$$\frac{0,08 - 0,1}{8,09 - 5,53} = \frac{x - 0,1}{5,91 - 5,53} = 0,103$$

Logo $\beta x = 0,097$ com esse valor através da tabela é possível determinar que K_s assim como para determinação de K_c houve a necessidade de realizar uma interpolação dos valores.

$$\frac{0,0238 - 0,0240}{0,08 - 0,1} = \frac{k_s - 0,0240}{0,097 - 0,1} = 0,02397 \text{ cm}^2/\text{KN}$$

Logo $K_s = 0,02383 \text{ cm}^2/\text{KN}$, com essa informação é possível calcular o A_s da seção pela equação a seguir:

$$A_s = \frac{K_s * Md}{d} = \frac{0,02397 * 1708}{29} = 1,412 \text{ cm}^2$$

4.5.2. Exemplo 2

Agora, uma seção retangular de concreto armado com $b = 0,25 \text{ m}$ e $d = 0,40 \text{ m}$ sob a ação de um momento fletor de cálculo $Md = 31,5 \text{ kN.m}$, será dimensionada. Dados: $f_{ck} = 45 \text{ MPa}$; aço CASO CA-50 ($f_{yd} = f_y/k/1,15 = 500/1,15 = 434,78 \text{ MPa} = 43,478 \text{ kN/cm}^2$)

Compatibilização de unidades:

$b = 25 \text{ cm}$; $d = 40 \text{ cm}$ e $Md = 3150 \text{ KN.cm}$

NBR 6118 (ABNT, 2014)

$$k_c = \frac{b * d^2}{Md} = \frac{25 * 40^2}{3150} = 12,70 \text{ cm}^2/\text{KN}$$

Fazendo a interpolação dos valores da tabela da NBR 6118 (ABNT, 2014) tem-se:

$$\frac{0,06 - 0,08}{14,56 - 8,68} = \frac{x - 0,08}{12,7 - 8,68} = 0,066$$

Logo $\beta x = 0,066$ com esse valor através da tabela é possível determinar que K_s assim como para determinação de K_c houve a necessidade de realizar uma interpolação dos valores.

$$\frac{0,0236 - 0,0238}{0,06 - 0,08} = \frac{k_s - 0,0238}{0,066 - 0,08} = 0,02366 \text{ cm}^2/\text{KN}$$

Logo $K_s = 0,02366 \text{ cm}^2/\text{KN}$, com essa informação é possível calcular o A_s da seção pela equação a seguir:

$$A_s = \frac{K_s * Md}{d} = \frac{0,02366 * 3150}{40} = 1,863 \text{ cm}^2$$

NBR 6118 (ABNT, 2023)

$$k_c = \frac{b * d^2}{Md} = \frac{25 * 40^2}{3150} = 12,70 \text{ cm}^2/\text{KN}$$

Fazendo a interpolação dos valores da tabela da NBR 6118 (ABNT, 2023) tem-se:

$$\frac{0,06 - 0,08}{15,15 - 9,03} = \frac{x - 0,08}{12,7 - 9,03} = 0,068$$

Logo $\beta x = 0,068$ com esse valor através da tabela é possível determinar que K_s assim como para determinação de βc houve a necessidade de realizar uma interpolação dos valores.

$$\frac{0,0236 - 0,0238}{0,06 - 0,08} = \frac{k_s - 0,0238}{0,068 - 0,08} = 0,02368$$

Logo $K_s = 0,02368 \text{ cm}^2/\text{KN}$, com essa informação é possível calcular o A_s da seção pela equação a seguir:

$$A_s = \frac{K_s * Md}{d} = \frac{0,02383 * 3150}{40} = 1,865 \text{ cm}^2$$

4.5.3. Exemplo 3

Por fim, para uma seção retangular de concreto armado com $b = 13 \text{ cm}$ e $d = 30 \text{ cm}$ sob ação do momento fletor $Md = 11.02 \text{ kNm}$ a quantidade de armadura longitudinal necessária será determinada considerando concreto C70 e aço CA-50

Compatibilização de unidades:

$$Md = 1102 \text{ KN.cm}$$

NBR 6118 (ABNT, 2014)

$$k_c = \frac{b * d^2}{Md} = \frac{13 * 30^2}{1102} = 10,62 \text{ cm}^2/\text{KN}$$

Fazendo a interpolação dos valores da tabela da NBR 6118 (ABNT, 2014) tem-se:

$$\frac{0,06 - 0,08}{11,08 - 6,60} = \frac{x - 0,08}{10,62 - 6,60} = 0,062$$

Logo $\beta x = 0,062$ com esse valor através da tabela é possível determinar que K_s assim como para determinação de βx houve a necessidade de realizar uma interpolação dos valores.

$$\frac{0,0236-0,0238}{0,06-0,08} = \frac{k_s-0,0238}{0,062-0,08} = 0,02362 \text{ cm}^2/\text{KN}$$

Logo $K_s = 0,02362 \text{ cm}^2/\text{KN}$, com essa informação é possível calcular o A_s da seção pela equação a seguir:

$$A_s = \frac{K_s * M_d}{d} = \frac{0,02362 * 1102}{30} = 0,868 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

NBR 6118 (ABNT, 2023)

$$k_c = \frac{b * d^2}{M_d} = \frac{13 * 30^2}{1102} = 10,62 \text{ cm}^2/\text{KN}$$

Fazendo a interpolação dos valores da tabela da NBR 6118 (ABNT, 2023) tem-se:

$$\frac{0,06 - 0,08}{13,35 - 7,95} = \frac{x - 0,08}{10,62 - 7,95} = 0,070$$

Logo $\beta_x = 0,070$ com esse valor através da tabela é possível determinar que K_s assim como para determinação de β_x houve a necessidade de realizar uma interpolação dos valores.

$$\frac{0,0236-0,0238}{0,06-0,08} = \frac{k_s-0,0238}{0,070-0,08} = 0,0237 \text{ cm}^2/\text{KN}$$

Logo $K_s = 0,0237 \text{ cm}^2/\text{KN}$, com essa informação é possível calcular o A_s da seção pela equação a seguir:

$$A_s = \frac{K_s * M_d}{d} = \frac{0,0237 * 1102}{30} = 0,871 \text{ cm}^2$$

Após a resolução dos exemplos, notou-se uma leve modificação nos valores de β_x , resultando em uma posição ligeiramente mais cautelosa da linha neutra na seção. Em alguns casos, essa alteração pode influenciar a classificação do domínio de dimensionamento da seção, evidenciando que as mudanças na norma têm impacto na segurança estrutural. No entanto, em relação a K_s , não foram observadas alterações significativas, o que era esperado, uma vez que as revisões na NBR 6118 (ABNT, 2023) afetam principalmente as características do concreto, enquanto as propriedades do aço permanecem inalteradas. Isso foi observado na resolução dos exercícios acima. No entanto, em diferentes situações, podem ocorrer mais alterações de uma versão para outra, onde uma seção, ao ser dimensionada em um domínio, pode passar a ser dimensionada em outro. Isso não só altera sutilmente a posição da linha neutra (LN) como também pode variar a relação constitutiva da seção, aumentando, por exemplo, a proporção de aço. Isso pode levar a mudanças na área de aço da seção, não necessariamente refletindo o que foi encontrado nos exercícios resolvidos, mas sendo uma possibilidade em alguns casos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dinâmica do cenário das estruturas de concreto armado no Brasil tem sido marcada por um movimento constante em direção à robustez e à incorporação de novos materiais de alta resistência. A revisão de 2023 da NBR 6118, evidencia essa necessidade de adaptação das normas à evolução do setor. As mudanças significativas nessa revisão, como a divisão mais clara na resistência do concreto, critérios para garantir durabilidade e a introdução do coeficiente de fragilidade η_c , têm impactos diretos no processo de cálculo e dimensionamento de elementos estruturais. Este estudo se propôs a realizar uma análise dessas alterações, com foco especial no impacto do coeficiente de fragilidade na equação de tensão de compressão. A análise comparativa entre as versões de 2014 e 2023 revelou uma leve modificação nos valores de β_x , indicando uma posição ligeiramente mais cautelosa da linha neutra na seção. Em alguns casos, essa alteração pode impactar a classificação do domínio de dimensionamento da seção, destacando que as mudanças na norma têm repercussões na segurança estrutural, essa alteração do domínio pode influenciar na relação constitutiva da seção ao deixa de ser dimensionada em um domínio para outro. A explicação das razões por trás dessas mudanças destacou a capacidade da norma de se adaptar às demandas em constante evolução da engenharia civil, acompanhando os avanços tecnológicos e científicos. Essa abordagem não só contribui para a precisão do dimensionamento, mas também atende às crescentes exigências da indústria por estruturas que sejam tanto seguras quanto eficientes. Em resumo, a revisão de 2023 da NBR 6118 representa um avanço para a segurança estrutural no Brasil, evidenciando um compromisso constante com a melhoria das práticas de engenharia civil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

CARVALHO, R. C., FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**: Segundo a NBR 6118:2014. 4ªEd., São Carlos, EdUFSCar, 2014.

DE, M. **Curso de concreto armado**. Rio Grande: Editora Dunas, 2010.

Oliveira, E.; Oliveira, P.; DE SOUZA, S. **Projeto ótimo de pilares de concreto de alta resistência conforme ABNT NBR 6118:2014**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://rpee.lnec.pt/Ficheiros/rpee_serieIII_n06/rpee_sIII_n06_pg53_66.pdf>. Acesso em: 7 dez. 2023.

Prof. Dr. Paulo Sérgio dos Santos Bastos. Disponível em: <<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos>>. Acesso em: 7 dez. 2023.

PINHEIRO, L. M. **UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS Departamento de Engenharia de Estruturas FUNDAMENTOS DO CONCRETO E PROJETO DE EDIFÍCIOS**. maio 2007.

QI, A. **GUI COMPLETO NBR 6118 (2023)**. [s.l: s.n.].

