v7.n11.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO CONCRETO À COMPRESSÃO NO DESEMPENHO ESTRUTURAL E CUSTOS DO CONCRETO DE EDIFÍCIOS EM CONCRETO ARMADO

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CONCRETE'S CHARACTERISTIC COMPRESSIVE STRENGTH ON THE STRUCTURAL PERFORMANCE AND CONCRETE COSTS OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGÓN A COMPRESIÓN EN EL DESEMPEÑO ESTRUCTURAL Y LOS COSTOS DEL HORMIGÓN DE EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO

Felipe Almeida Cardoso[1]; Filipe Bittencourt Figueiredo[2]; Kamilly Pereira Martins[1]; Nathalia Leite Bittencourt Figueiredo[3]

e7119133
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i11.9133

PUBLICADO: 11/2026

RESUMO

O presente estudo analisa a influência da variação da resistência característica do concreto (fck) nos deslocamentos horizontais, na estabilidade global e na relação custo-benefício de edifícios de múltiplos pavimentos. A metodologia adotada empregou a modelagem computacional de uma edificação de cinco pavimentos por meio do software TQS® Estudante, variando o fck entre 25 MPa e 50 MPa, mantendo constantes a geometria espacial e os carregamentos, em conformidade com as normativas NBR 6118 (ABNT, 2023), NBR 6120 (ABNT, 2019) e NBR 6123 (ABNT, 2023). Os resultados quantitativos indicaram uma redução progressiva nos deslocamentos laterais de topo, atingindo decréscimos de 34,38% na direção de 0° e de 33,33% na direção de 90° ao comparar as classes C25 e C50. Sob a ótica econômica, verificou-se que a transição do fck de 25 MPa para 50 MPa elevou o custo total do volume de concreto em 23,08%. Paralelamente, a análise do consumo de aço revelou comportamentos distintos entre os subsistemas: os pilares apresentaram redução e posterior estabilização na taxa de armadura, enquanto vigas e lajes demonstraram aumento no consumo de aço decorrente de critérios normativos de armadura mínima. Conclui-se que, para a tipologia analisada, a padronização de altas resistências não representa necessariamente a solução mais vantajosa, sendo o concreto C25 a opção que apresenta o menor custo do concreto entre as alternativas analisadas atendendo aos limites normativos de deslocamento. A comparação não compreende o custo global da estrutura, pois aço, fôrmas e mão de obra não foram precificados.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto armado. Efeitos de segunda ordem. Estabilidade global.

ABSTRACT

This study analyzes the influence of variation in the characteristic compressive strength of concrete (fck) on horizontal displacements, global stability, and the cost-effectiveness of multi-story buildings. The methodology employed computational modeling of a five-story building using TQS® Estudante software, varying the fck between 25 MPa and 50 MPa, while keeping the spatial geometry and loads constant, in compliance with standards NBR 6118 (ABNT, 2023), NBR 6120 (ABNT, 2019), and NBR 6123 (ABNT, 2023). Quantitative results indicated a progressive reduction in lateral top displacements, reaching decreases of 34.38% in the 0° direction and 33.33% in the 90° direction when comparing classes C25 and C50.

[1] Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD).
[2] Doutor em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD).
[3] Doutora em Ciência dos Materiais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

From an economic perspective, it was found that transitioning the fck from 25 MPa to 50 MPa increased the total concrete volume cost by 23.08%. Concurrently, the analysis of steel consumption revealed distinct behaviors among the subsystems: columns showed a reduction and subsequent stabilization in the reinforcement ratio, whereas beams and slabs demonstrated an increase in steel consumption due to regulatory minimum reinforcement criteria. It can be concluded that, for the typology analyzed, standardizing high-strength concrete is not necessarily the most advantageous solution; C25 concrete is the option with the lowest concrete cost among the alternatives analyzed, while meeting the regulatory displacement limits. The comparison does not include the overall cost of the structure, as steel, formwork, and labor were not factored into the pricing.

KEYWORDS: *Reinforced concrete. Second-order effects. Global stability.*

RESUMEN

El presente estudio analiza la influencia de la variación de la resistencia característica del hormigón (fck) en los desplazamientos horizontales, en la estabilidad global y en la relación coste-beneficio de los edificios de varias plantas. La metodología adoptada consistió en el modelado computacional de un edificio de cinco plantas mediante el software TQS® Estudante, variando el fck entre 25 MPa y 50 MPa, manteniendo constantes la geometría espacial y las cargas, de conformidad con las normas NBR 6118 (ABNT, 2023), NBR 6120 (ABNT, 2019) y NBR 6123 (ABNT, 2023). Los resultados cuantitativos indicaron una reducción progresiva de los desplazamientos laterales en la parte superior, alcanzando disminuciones del 34,38 % en la dirección de 0° y del 33,33 % en la dirección de 90° al comparar las clases C25 y C50. Desde el punto de vista económico, se observó que la transición de la resistencia a la compresión (fck) de 25 MPa a 50 MPa elevó el coste total del volumen de hormigón en un 23,08 %. Paralelamente, el análisis del consumo de acero reveló comportamientos distintos entre los subsistemas: los pilares presentaron una reducción y posterior estabilización en la tasa de armadura, mientras que las vigas y los forjados mostraron un aumento en el consumo de acero debido a los criterios normativos de armadura mínima. Se concluye que, para la tipología analizada, la estandarización de resistencias elevadas no representa necesariamente la solución más ventajosa, siendo el hormigón C25 la opción que presenta el menor coste entre las alternativas analizadas, siempre que se respeten los límites normativos de desplazamiento. La comparación no incluye el coste global de la estructura, ya que no se han presupuestado el acero, los encofrados ni la mano de obra.

PALABRAS CLAVE: *Hormigón armado. Efectos de segundo orden. Estabilidad global.*

1. INTRODUÇÃO

O uso de programas de análise estrutural tornou mais ágeis as etapas de modelagem e dimensionamento (Fregonezi, 2017). Esses programas, contudo, são instrumentos de apoio: cabe ao projetista definir hipóteses coerentes e interpretar criticamente os resultados, evitando superdimensionamento, custos desnecessários e problemas de desempenho (Kimura, 2018; Moncayo, 2011).

Ações horizontais, como o vento, produzem deslocamentos laterais que dependem da geometria e da distribuição de rigidez da estrutura. Seus efeitos tendem a ganhar importância

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

em edifícios mais altos ou esbeltos, nos quais a análise global e a consideração dos efeitos de segunda ordem exigem atenção especial (Carmo, 1995; Bueno, 2009).

A estabilidade global e os efeitos de segunda ordem devem, portanto, ser avaliados conforme as características de cada estrutura. Embora mais pronunciados em edifícios altos ou esbeltos, esses efeitos também podem ser examinados em um modelo de menor altura para comparar, sob condições controladas, a influência da classe de resistência do concreto sobre a resposta estrutural (Cicolin, 2007).

A resistência do concreto influencia o módulo de elasticidade e, consequentemente, pode alterar a rigidez e os deslocamentos da estrutura. Estudos anteriores examinaram essa relação, mas a adoção de classes mais resistentes também eleva o preço unitário do concreto, o que exige comparar separadamente desempenho e custos efetivamente orçados (Tavares, 2018; Fregonezi, 2017).

Este artigo avalia a influência da variação do fck nos deslocamentos horizontais e no coeficiente γz de uma edificação comercial de baixa altura. Também compara o custo direto do concreto e os quantitativos de aço obtidos para as classes analisadas, sem atribuir a esses dois indicadores uma medida de custo global da solução estrutural. A análise observa as NBR 6118 (ABNT, 2023), NBR 6120 (ABNT, 2019) e NBR 6123 (ABNT, 2023).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Estabilidade global

A análise de estabilidade global avalia a resposta da estrutura às ações aplicadas considerando, quando necessários, os acréscimos de esforços decorrentes de sua configuração deformada. Esses efeitos de segunda ordem podem ser mais relevantes em edifícios altos ou esbeltos. A NBR 6118 (ABNT, 2023) apresenta o parâmetro de instabilidade α e o coeficiente γz como critérios aproximados para avaliar a possibilidade de dispensar a consideração dos esforços globais de segunda ordem.

O coeficiente γz, definido pela NBR 6118 (ABNT, 2023), permite avaliar a importância dos efeitos globais de segunda ordem. Seu cálculo relaciona o momento global de primeira ordem devido às ações horizontais com o acréscimo de momento produzido pelos deslocamentos laterais (efeito P-Δ), conforme a Equação 1:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \qquad \text{Eq.1}$$

Sendo:

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

$M_{1,tot,d}$ é o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura;

$\Delta M_{tot,d}$ é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de 1ª ordem.

Conforme o item 15.5.3 da NBR 6118 (ABNT, 2023), a estrutura pode ser classificada como de nós fixos quando γz ≤ 1,10. Nessa condição, dispensa-se a consideração dos esforços globais de segunda ordem, permanecendo necessárias as verificações dos efeitos locais e localizados pertinentes. Para γz > 1,10, os efeitos globais devem ser considerados; o procedimento aproximado de majoração das ações horizontais descrito no item 15.7.2 é válido para γz ≤ 1,30.

A classificação em nós fixos ou móveis refere-se à importância dos esforços globais de segunda ordem, e não à inexistência de deslocamentos horizontais. Em estruturas de nós fixos, os acréscimos globais são desprezíveis segundo o critério normativo, mas os efeitos locais e localizados devem ser verificados. Nas estruturas de nós móveis, os efeitos globais, locais e localizados de segunda ordem precisam ser considerados, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2023).

Segundo o item 15.2 da NBR 6118 (ABNT, 2023), os efeitos de segunda ordem são esforços adicionais decorrentes da deformação da estrutura sob as ações aplicadas. Ao considerar a configuração deformada, a análise capta os momentos e esforços adicionais associados aos deslocamentos. Esses efeitos exigem atenção especial em estruturas altas ou esbeltas (Carmo, 1995; ABNT, 2023).

2.2. Impacto das propriedades do concreto na resistência à compressão (fck)

Conforme a NBR 6118 (ABNT, 2023), quando não há resultados de ensaio, o módulo de elasticidade tangente inicial (Eci) pode ser estimado pela Equação 2 a partir da resistência característica à compressão do concreto (fck) e do coeficiente αE, associado ao agregado graúdo.

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}} \qquad \text{Eq.2}$$

Sendo, α_E dependente do agregado graúdo:

α_E = 0,7 para arenito;

α_E = 0,9 para calcário;

α_E = 1,0 para granito e gnaisse;

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

α_E = 1,2 para basalto e diabásio.

A norma também informa que o módulo de elasticidade secante (Ecs), utilizado para a análise linear das estruturas, é dado pelo produto entre o módulo de elasticidade do concreto e αi (coeficiente utilizado para minorar a resistência), como exposto na Equação 3 e Equação 4.

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci} \quad \text{Eq.3}$$

Em que αi é o coeficiente definido pela Equação 4.

$$\alpha_i = 0{,}8 + 0{,}2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \leq 1{,}0 \quad \text{Eq.4}$$

Assim, a elevação de fck aumenta o módulo de elasticidade estimado, mas a resposta global da estrutura também depende de sua geometria, das condições de vinculação e da distribuição de rigidez.

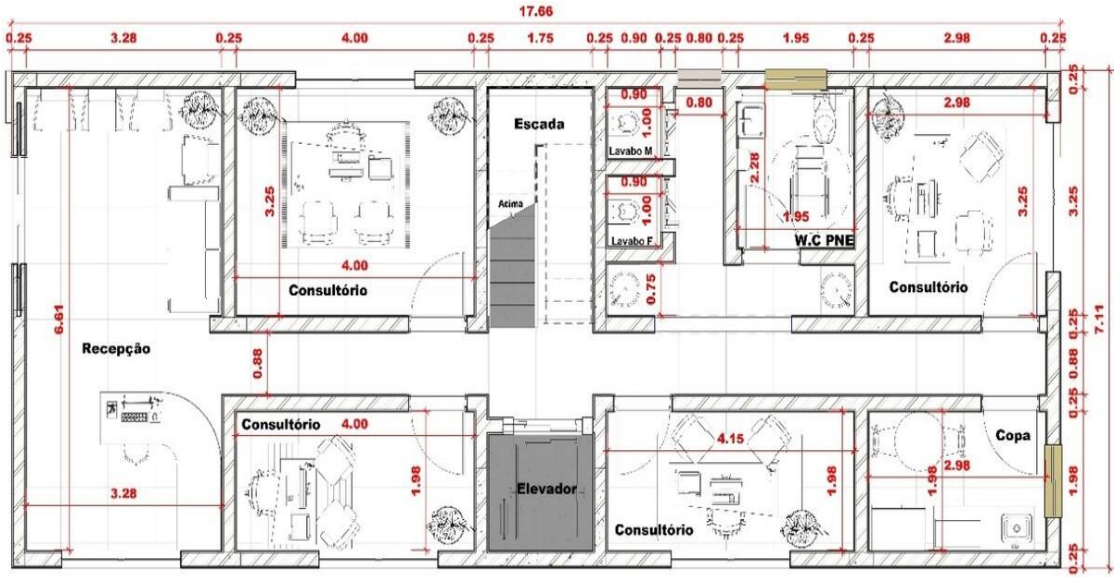
Para reduzir os efeitos de segunda ordem em um projeto estrutural, é possível adotar estratégias que aumentem a rigidez global da estrutura e minimizem os deslocamentos laterais. Entre as principais medidas estão: o uso de núcleos rígidos (como caixas de elevadores e escadas em concreto armado), aumento da seção transversal de pilares e vigas, a redução da esbeltez dos elementos estruturais, a introdução de contraventamentos verticais e a utilização de materiais com maior módulo de elasticidade, como concretos com fck elevado. Essas soluções contribuem para limitar os deslocamentos horizontais e, consequentemente, reduzir os acréscimos de esforços causados pelos efeitos de segunda ordem.

3. METODOLOGIA

Este estudo adota o método de modelagem computacional para simular o comportamento estrutural de uma edificação de cinco pavimentos, composta por: pavimento térreo, três pavimentos tipo e cobertura com reservatório elevado (Figuras 1, 2, 3, 4 e 5). Para a análise estrutural, utilizou-se o software TQS® Estudante, mantendo-se constantes a geometria espacial e as ações atuantes, variando-se exclusivamente a resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) nas classes de 25 MPa, 30 MPa, 35 MPa, 40 MPa, 45 MPa e 50 MPa. O pré-dimensionamento geométrico das seções transversais e a concepção estrutural (optando-se por lajes maciças) seguiram estritamente os critérios normativos descritos no item 13.2 da NBR 6118 (ABNT, 2023), a dimensão dos elementos construtivos está disposta nos Quadros 1, 2 e 3, e os pilares com geometria distinta (L e U) estão apresentados no Apêndice.

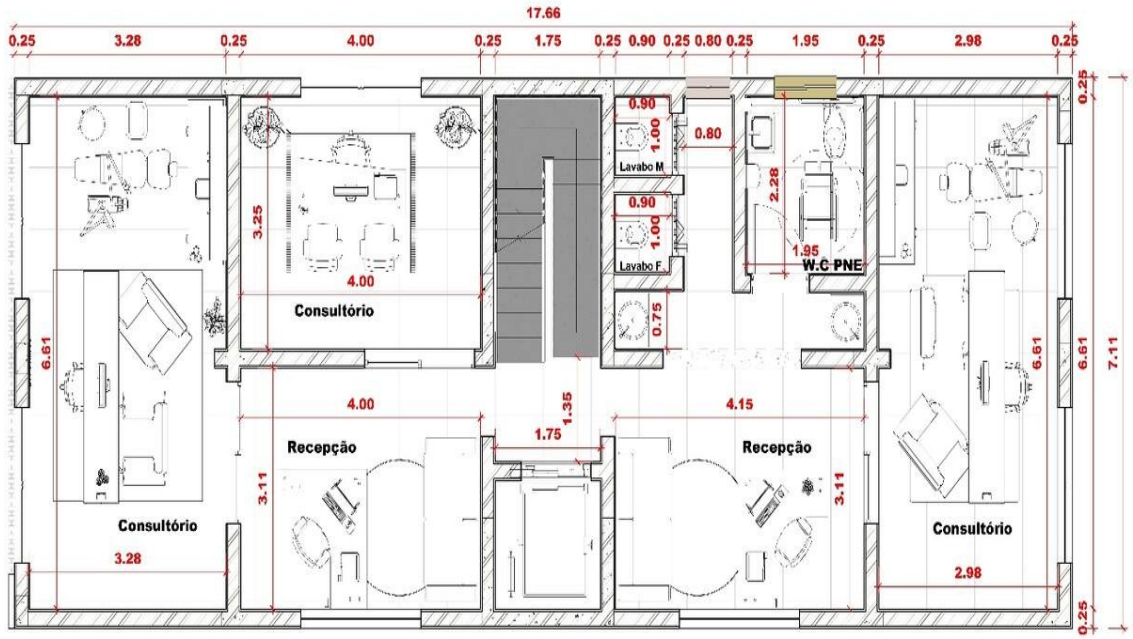
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 1. Planta Baixa – Pavimento Térreo (unidade de medida em metros)



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

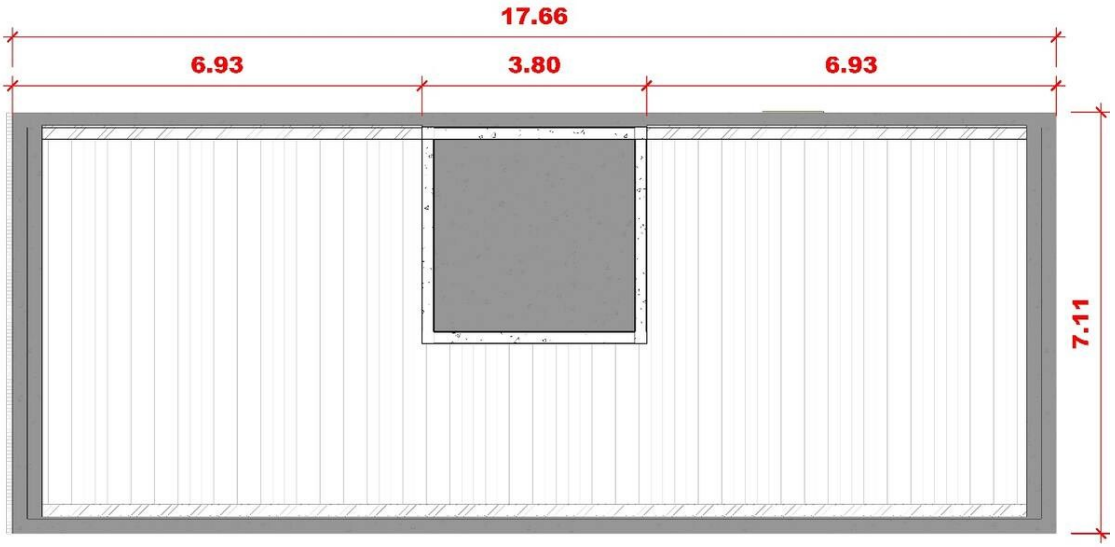
Figura 2. Planta Baixa – Pavimento Tipo (unidade de medida em metros)



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

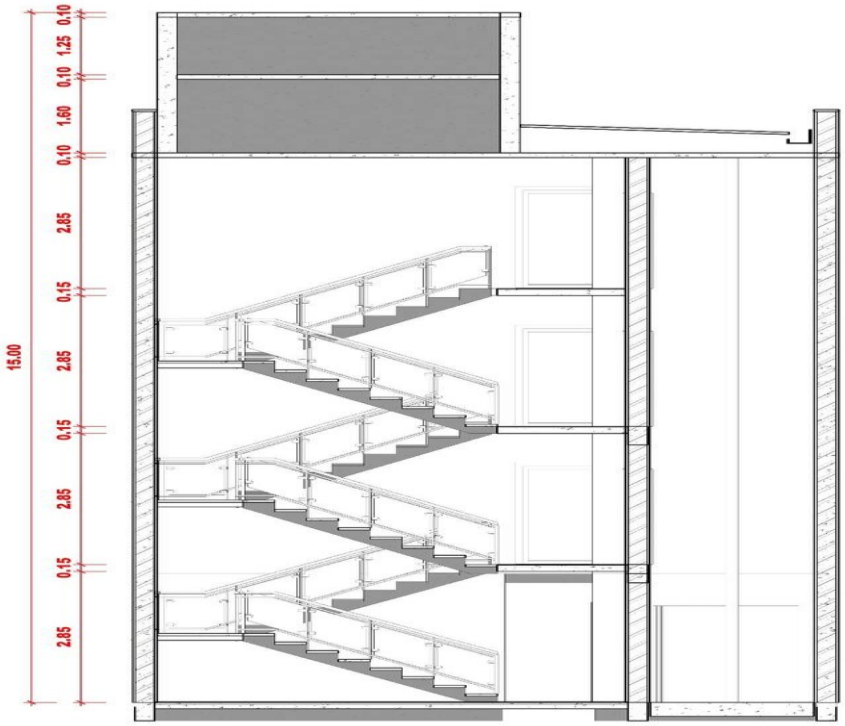
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 3. Planta Baixa – Planta de Cobertura (unidade de medida em metros)



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Figura 4. Corte A-A (unidade de medida em metros)



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 5. Vista Isométrica



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Quadro 1. Dimensão dos pilares núcleos

Elemento	Seção final	Observação
P1, P5, P12 e P16	Perfil L com envelope 40 × 40 e abas de 20	Pilares de canto
P2, P4, P6, P11, P13 e P15	40 × 20	Pilares retangulares
P7 e P10	60 × 20	Pilares retangulares internos
P8 e P9	20 × 120	Pilares alongados

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Elemento	Seção final	Observação
PES e PL	Perfil U externo 220 × 120, espessura 20	Núcleos da escada e do elevador; vazio interno 180 × 100
PS1, PS2, PS3 e PS4	50 × 20	Pilares da cobertura a caixa d'água

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Quadro 2. Dimensão das vigas

Pavimento ou série	Seção final	Elementos
Pavimentos do edifício	20 × 40	V101 a V116 e V301 a V312
Caixa d'água	20 × 135	V401 a V404

Fonte: elaborado pelos autores (2026)

Quadro 3. Dimensão das lajes

Local	Tipo	Espessura final
Pavimentos e cobertura	Lajes maciças L1 a L9	12 cm
Caixa d'água	Laje maciça L1	25 cm

Fonte: elaborado pelos autores (2026)

3.1. Quantificação dos deslocamentos horizontais e rigidez global

A estrutura foi modelada por meio de pórtico espacial tridimensional. O peso próprio dos elementos foi computado automaticamente com base nos pesos específicos teóricos de projeto. As cargas permanentes e variáveis foram estabelecidas em conformidade com as diretrizes da NBR 6120 (ABNT, 2019). As ações dinâmicas induzidas pelo vento foram calculadas com base na NBR 6123 (ABNT, 2023), adotando-se como premissas: velocidade básica de 47 m/s (região de Dourados/MS), fator topográfico plano (S_1 = 1,0), terreno com categoria de rugosidade III, classe da edificação A e fator estatístico S_3 = 1,0. Os coeficientes de arrasto e carregamentos resultantes estão sumarizados nos Quadros 4 e 5.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Quadro 4. Cargas adotadas para verificação dos deslocamentos

Ações	Situações	Cargas
Peso Próprio	Elementos Estruturais (Lajes, Vigas e Pilares)	2,50 tf/m³
Ação Permanente	Bloco cerâmico vazado - 19 cm de espessura (2 cm de revestimento por face)	0,23 tf/m²
	Empuxo e Pressão hidrostática	Topo da caixa d'água: 0,010 tf/m²
		Base da caixa d'água: 0,80 tf/m²
		Carga na Laje: 1,40 a 0,30 tf/m²
Ação Variável	Coberturas - Acesso apenas para manutenção ou inspeção	0,10 tf/m²
	Edifício comercial - Corredores de uso comum	0,30 tf/m²
	Edifício comercial - Salas de uso geral e sanitários	0,25 tf/m²
	Escadas e passarelas - Edifícios comerciais, clubes, escritórios, bibliotecas	0,30 tf/m²

Fonte: elaborado pelos autores (2026)

Quadro 5. Coeficientes de arrasto

Altura	Ápice – 15,00 m					
Ângulo (°)	L1	L2	H	L1/L2	H/L1	C.A.
0	7,11	17,66	15,00	0,40	2,11	0,86
90	17,66	7,11	15,00	2,43	0,88	1,27

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

As combinações para a verificação do Estado Limite Último (ELU) foram utilizadas conforme Santos et al. (2023, p. 180-181). Em seu livro Fgk representa a ação permanente; Fqk

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

a ação variável; Vk ação do vento e ψ_0 o coeficiente de redução. As combinações estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1. Combinações processadas

Nº	Verificação	Combinação
1	ELU	$F_d = 1{,}4 \cdot F_{gk} + 1{,}4 \cdot F_{qk}$
2	ELU	$F_d = 1{,}4 \cdot F_{gk} + 1{,}4 \cdot F_{qk} + 1{,}4 \cdot \psi_0 \cdot V_{k,0°}$
3	ELU	$F_d = 1{,}4 \cdot F_{gk} + 1{,}4 \cdot F_{qk} + 1{,}4 \cdot \psi_0 \cdot V_{k,90°}$
4	ELU	$F_d = 1{,}4 \cdot F_{gk} + 1{,}4 \cdot F_{qk} + 1{,}4 \cdot \psi_0 \cdot V_{k,180°}$
5	ELU	$F_d = 1{,}4 \cdot F_{gk} + 1{,}4 \cdot F_{qk} + 1{,}4 \cdot \psi_0 \cdot V_{k,270°}$
6	ELU	$F_d = 1{,}4 \cdot F_{gk} + 1{,}4 \cdot V_{k,0°} + 1{,}4 \cdot \psi_0 \cdot F_{qk}$
7	ELU	$F_d = 1{,}4 \cdot F_{gk} + 1{,}4 \cdot V_{k,90°} + 1{,}4 \cdot \psi_0 \cdot F_{qk}$
8	ELU	$F_d = 1{,}4 \cdot F_{gk} + 1{,}4 \cdot V_{k,180°} + 1{,}4 \cdot \psi_0 \cdot F_{qk}$
9	ELU	$F_d = 1{,}4 \cdot F_{gk} + 1{,}4 \cdot V_{k,270°} + 1{,}4 \cdot \psi_0 \cdot F_{qk}$
10	ELU	$F_d = 1{,}4 \cdot F_{gk} + 1{,}4 \cdot V_{k,0°}$
11	ELU	$F_d = 1{,}4 \cdot F_{gk} + 1{,}4 \cdot V_{k,90°}$
12	ELU	$F_d = 1{,}4 \cdot F_{gk} + 1{,}4 \cdot V_{k,180°}$
13	ELU	$F_d = 1{,}4 \cdot F_{gk} + 1{,}4 \cdot V_{k,270°}$

Fonte: Santos et al. (2023).

Cabe mencionar que, por padrão, o TQS® Estudante utiliza-se da maior ponderação para cargas acidentais (bibliotecas, oficinas e arquivos); estas estão prescritas na Tabela 11.2 da NBR 6118 (ABNT, 2023).

3.2. Avaliação econômica do incremento de fck

A avaliação econômica restringiu-se ao custo direto do concreto usinado. Para cada classe, utilizou-se a média das cotações de três fornecedores de Dourados/MS informadas para

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

outubro de 2025; os custos totais foram calculados com as médias antes do arredondamento dos preços unitários. Não foram monetizados separadamente o aço, as fôrmas ou a mão de obra. As cotações disponibilizadas não discriminam condições comerciais como frete, bombeamento, tributos e quantidade mínima; por isso, os valores servem à comparação deste caso e não representam um orçamento completo de execução.

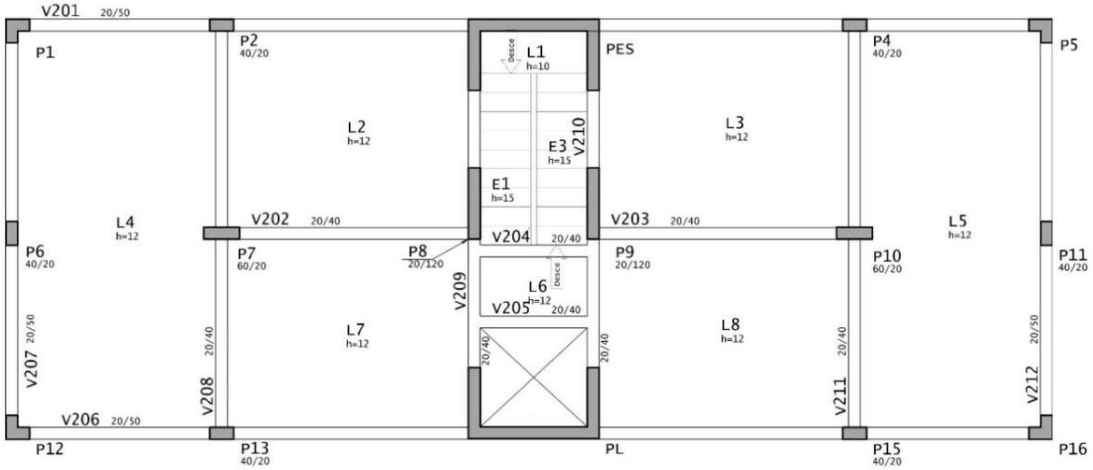
3.3. Avaliação do consumo de aço em relação ao incremento do fck

Os quantitativos de aço por pavimento foram obtidos dos resumos do projeto e comparados entre as seis classes de concreto. Para cada grupo, a massa de aço foi dividida pelo volume total de concreto da edificação; esse indicador não é a taxa de armadura calculada com o volume de concreto de cada pavimento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o pré-dimensionamento dos elementos estruturais, foi realizada a padronização das suas dimensões para uma melhor coerência de projeto. As dimensões adotadas estão presentes nas plantas de forma, sendo apresentadas na Figura 6, as demais plantas como térreo, cobertura e caixa d'água, estão apresentadas no apêndice.

Figura 6. Planta de Forma – Pav. Tipo



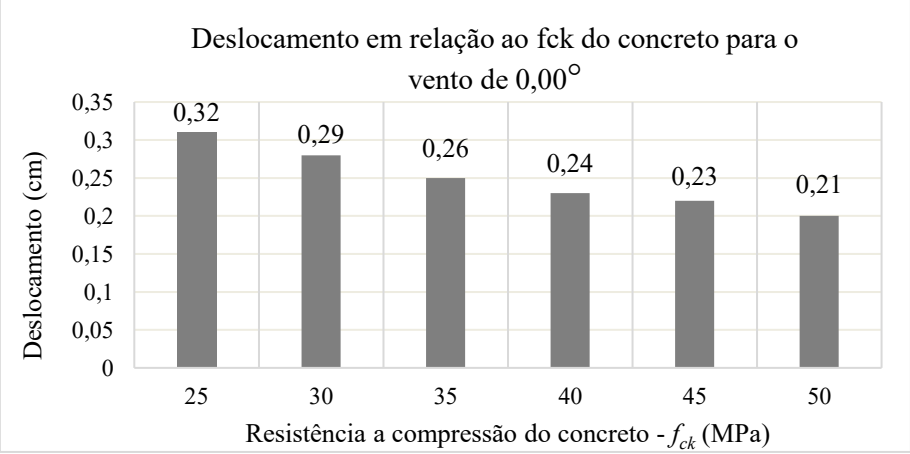
Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

4.1. Análise dos deslocamentos

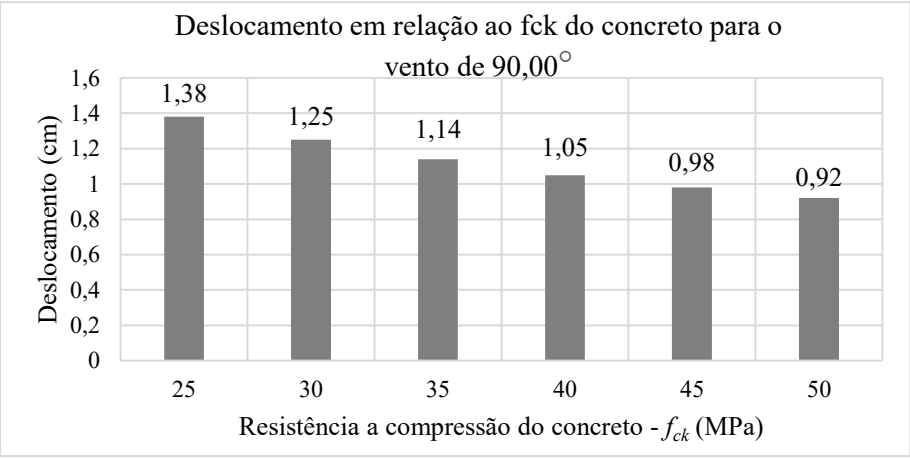
Os resultados apresentados nas Figuras 7 e 8 mostram redução dos deslocamentos horizontais de topo com o aumento do fck. A Figura 9 expressa a variação percentual em relação à classe C25. O aumento do módulo de elasticidade secante pode elevar a rigidez à flexão dos elementos e reduzir os deslocamentos, mas as curvas ajustadas aos seis pontos não devem ser interpretadas como uma lei física linear.

Figura 7. Gráfico dos deslocamentos gerados pelo vento a 0° no topo



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

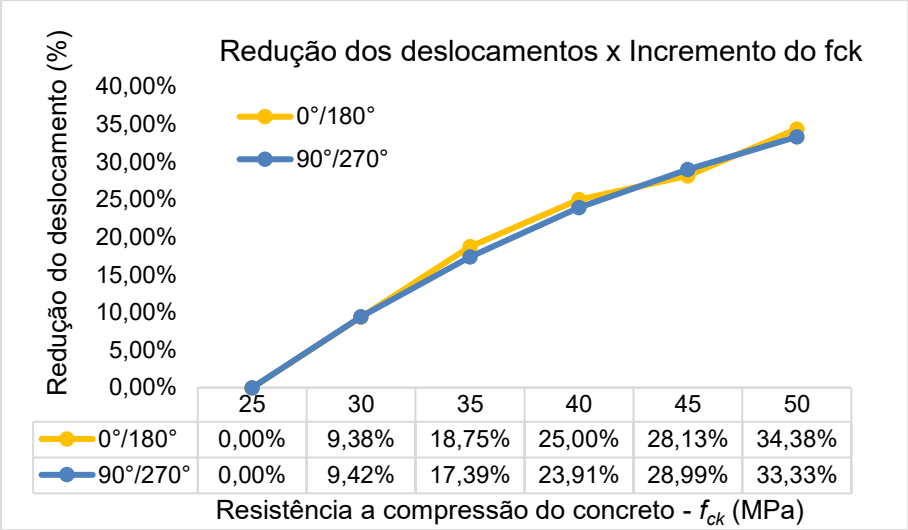
Figura 8. Gráfico dos deslocamentos gerados pelo vento a 90° no topo



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 9. Gráfico aumento do fck x redução de deslocamentos



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Já a Tabela 2 realiza uma comparação com os trabalhos de Zen e Rebelo (2018) e Cabral e Silva (2019) com os dados obtidos a partir do gráfico da Figura 8. Em suas pesquisas, verificou-se que o incremento do fck contribuiu para a rigidez global, reduzindo os deslocamentos em 25%. É importante pontuar que, mesmo os autores empregando modelos com mais de 10 pavimentos, a proporcionalidade das reduções se assemelha aos dados alcançados.

Tabela 2. Redução dos deslocamentos obtidos pelos autores

Autores Referencia	Incidência do vento	Resistencia a compressão característica						
		25	30	35	40	45	50	60
Zen e Rebelo (2018)	0°/180°	-	0,00%	8,71%	15,85%	21,65%	26,56%	-
	90°/270°	-	0,00%	8,65%	15,82%	21,73%	26,58%	-
Cabral e Silva (2019)	0°/180°	-	0,00%	11,11%	16,67%	-	-	27,78%
	90°/270°	-	0,00%	6,90%	13,79%	-	-	26,44%
Autor	0°/180°	0,00%	9,38%	18,75%	25,00%	28,13%	34,38%	-
	90°/270°	0,00%	9,42%	17,39%	23,91%	28,99%	33,33%	-

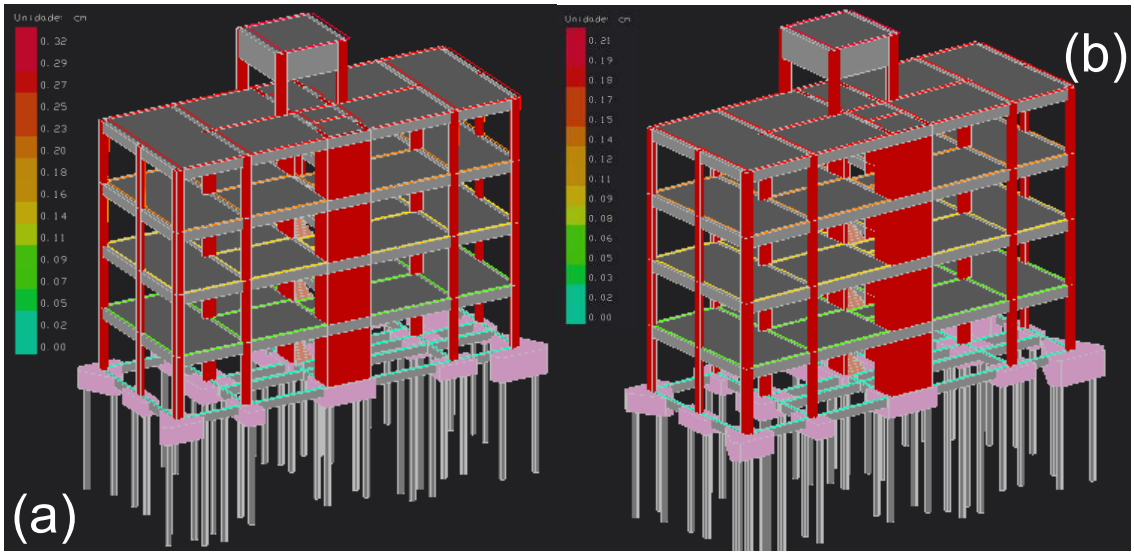
Fonte: elaborado pelos autores (2026).

No modelo deste estudo, os percentuais apresentados são maiores que alguns dos resultados de referência. Essa diferença pode decorrer das características geométricas, da

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

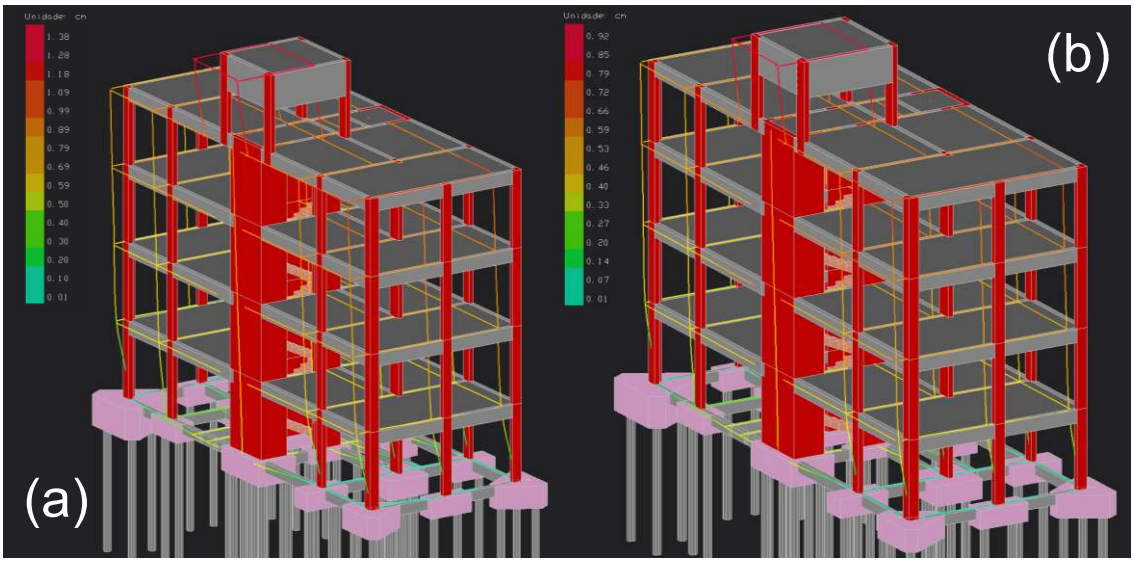
distribuição de rigidez e dos critérios de modelagem de cada trabalho. A resposta à ação do vento deve, portanto, ser interpretada dentro das condições específicas de cada estudo. As Figuras 10 e 11 comparam os deslocamentos calculados para as classes C25 e C50 sob vento nas direções de 0° e 90°, respectivamente.

Figura 10. Deslocamentos gerados pelo vento de 0° para o fck de 25 MPa (a) e 50 MPa (b)



Fonte: elaborado pelos autores (2026)

Figura 11. Deslocamentos gerados pelo vento de 90° para o fck de 25 MPa (a) e 50 MPa (b)



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

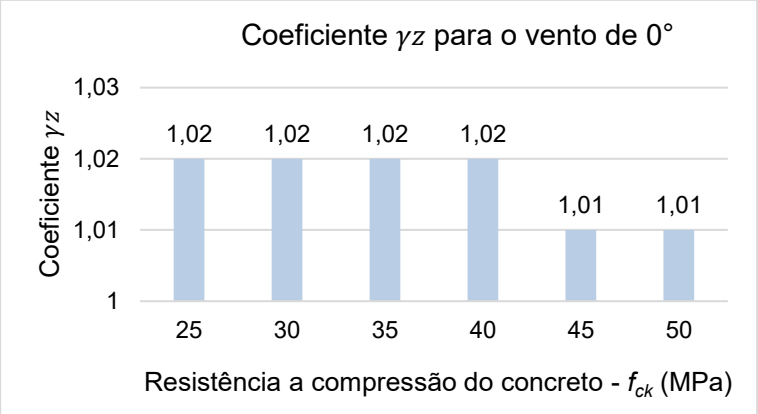
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Na direção de 0° (Figura 10), os valores apresentados variam de 0,32 cm para C25 a 0,21 cm para C50. A diminuição observada é compatível com o aumento da rigidez do concreto, mas os seis resultados não demonstram, por si, uma relação física linear entre fck e deslocamento.

Na direção de 90° (Figura 11), os deslocamentos apresentados também diminuem com o aumento do fck e permanecem superiores aos da direção de 0°. Essa diferença indica sensibilidade do modelo à direção das ações e à distribuição de rigidez em planta, devendo ser interpretada para a configuração estrutural analisada (Camicia, 2017).

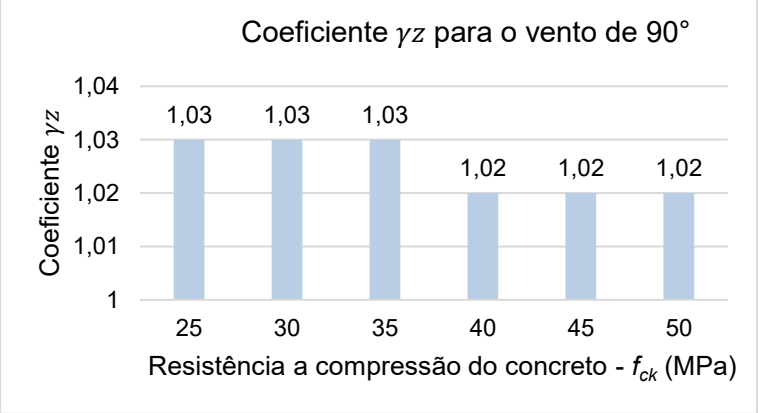
Por sua vez, as Figuras 12 e 13 ilustram o comportamento do coeficiente γz no intervalo de 25 MPa a 50 MPa, para as direções x (0°) e y (90°).

Figura 12. Gráfico do comportamento do coeficiente γz para vento de 0°



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Figura 13. Gráfico do comportamento do coeficiente γz para vento de 90°



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Nas Figuras 12 e 13, γz varia aproximadamente de 1,02 para 1,01 na direção de 0° e de 1,03 para 1,02 na direção de 90°. O aumento do fck, portanto, está associado a uma pequena redução do coeficiente no modelo analisado. Todos esses valores são inferiores ao limite de 1,10 usado pela NBR 6118 (ABNT, 2023) para a classificação de nós fixos. A variação de γz não foi convertida em percentual de redução dos efeitos de segunda ordem, pois essa equivalência não decorre diretamente dos valores apresentados.

Os resultados apresentados indicam influência mais expressiva do aumento do fck sobre os deslocamentos horizontais do que sobre γz. A escolha da classe de concreto deve considerar essa diferença juntamente com o custo direto do concreto e os quantitativos de aço, sem inferir custo global a partir dos dados disponíveis.

4.2. Avaliação econômica

Os preços unitários do concreto usinado foram obtidos por média de três cotações locais de Dourados/MS informadas para outubro de 2025 (Quadro 6). A Figura 14 apresenta o custo do volume total de concreto de cada alternativa. O estudo não precificou aço, fôrmas nem mão de obra; as cotações não discriminam frete, bombeamento e demais condições comerciais.

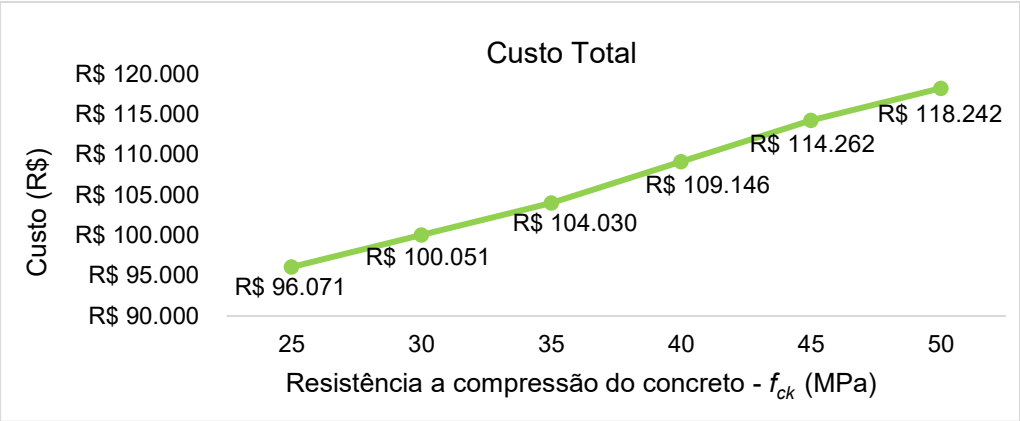
Quadro 6. Custos unitários dos insumos

Insumo	Unidade	Preço Unitário (2025)
Concreto usinado com resistência característica a compressão de 25 MPa	m³	R$ 564,00
Concreto usinado com resistência característica a compressão de 30 MPa	m³	R$ 587,00
Concreto usinado com resistência característica a compressão de 35 MPa	m³	R$ 610,00
Concreto usinado com resistência característica a compressão de 40 MPa	m³	R$ 640,00
Concreto usinado com resistência característica a compressão de 45 MPa	m³	R$ 670,00
Concreto usinado com resistência característica a compressão de 50 MPa	m³	R$ 694,00

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Figura 14. Gráfico de custo total para os valores de incremento do concreto



Fonte: elaborado pelos autores (2026)

A Figura 14 mostra que o custo calculado do concreto passou de aproximadamente R$ 96.071,00 para R$ 118.242,00 entre C25 e C50, acréscimo de 23,08%. Em comparação com C25, as classes intermediárias apresentaram aumentos entre 4,15% e 18,94%. Esses valores se referem exclusivamente ao concreto.

No modelo analisado, a massa de aço dos pilares diminuiu discretamente com o aumento do fck. Essa redução quantitativa, contudo, não pode ser tratada como compensação econômica do acréscimo no preço do concreto, pois o aço não foi precificado. Nas vigas e lajes, a massa de aço aumentou nas classes mais resistentes. As respostas distintas dos subsistemas mostram que o incremento do fck não produz redução uniforme do consumo de armadura.

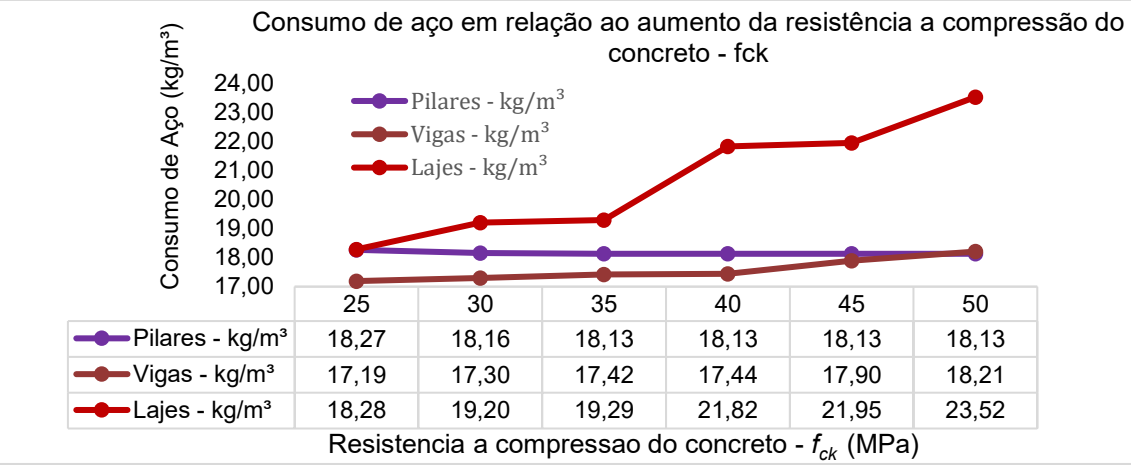
Conclui-se nesta seção que o aumento do fck elevou o custo direto do concreto nas alternativas analisadas. A avaliação de eventual ganho ou perda econômica global dependeria da precificação do aço e dos demais insumos de execução.

4.3. Consumo de aço

A Figura 15 apresenta a massa de aço de pilares, vigas e lajes normalizada pelo volume total de concreto da edificação; o Quadro 7 mostra a massa total de aço de cada subsistema.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 15. Gráfico de relação consumo de aço variando apenas o fck



	25	30	35	40	45	50
Pilares - kg/m³	18,27	18,16	18,13	18,13	18,13	18,13
Vigas - kg/m³	17,19	17,30	17,42	17,44	17,90	18,21
Lajes - kg/m³	18,28	19,20	19,29	21,82	21,95	23,52

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Quadro 7. Massa total de aço por subsistema e classe de concreto (kg)

Classe	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros	Total
C25	3.115	2.932	3.118	1.322	189	10.676
C30	3.097	2.951	3.274	1.292	193	10.807
C35	3.092	2.971	3.290	1.292	203	10.848
C40	3.092	2.974	3.721	1.276	221	11.284
C45	3.092	3.052	3.743	1.276	240	11.403
C50	3.092	3.105	4.011	1.276	304	11.788

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

A massa de aço dos pilares diminuiu de 3.115 kg em C25 para 3.092 kg em C50. Divididos pelo volume total de concreto da edificação (170,54 m³), esses valores correspondem a aproximadamente 18,27 e 18,13 kg/m³ na Figura 15. A pequena variação sugere predominância de condicionantes mínimos ou de detalhamento, mas essa causa não pode ser isolada apenas pelos quantitativos agregados.

Nas vigas, a massa total de aço aumentou de 2.932 kg em C25 para 3.105 kg em C50, equivalentes a aproximadamente 17,19 e 18,21 kg/m³ quando referidos ao volume total de concreto. As Figuras 16 e 17 ilustram a mudança observada na bitola dos estribos de 5,0 mm para 6,3 mm em exemplos de detalhamento. Essa evidência não permite, por si, atribuir todo o aumento da massa de aço exclusivamente ao fck.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 16. Armadura de cisalhamento referente ao concreto de 25 MPa – (Pav. Tipo)

Cisalhamento

Vão	Faixa	L (cm)	ρ_{sw} (%)	Armadura			V_{Sd}/V_{Rd2} (%)
				$Ø_e$ (mm)	c/ (cm)	Ramos	
1	1	303.6	0.22	5	18	2	11.34
2	1	394.5	0.22	5	18	2	13.6
3	1	410	0.22	5	18	2	17.85
4	1	272.9	0.22	5	18	2	9.87

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Figura 17. Armadura de cisalhamento referente ao concreto de 50 MPa – (Pav. Tipo)

Cisalhamento

Vão	Faixa	L (cm)	ρ_{sw} (%)	Armadura			V_{Sd}/V_{Rd2} (%)
				$Ø_e$ (mm)	c/ (cm)	Ramos	
1	1	303.6	0.36	6.3	18	2	6.38
2	1	394.5	0.36	6.3	18	2	7.65
3	1	410	0.36	6.3	18	2	10.04
4	1	272.9	0.36	6.3	18	2	5.55

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

O item 17.4.1.1.1 da NBR 6118 (ABNT, 2023) estabelece a armadura transversal mínima em função, entre outros parâmetros, da resistência média do concreto à tração. A escolha de bitolas pelo dimensionamento automático também depende da discretização e dos critérios de detalhamento do software; por isso, a causa específica da alteração observada deve ser interpretada com cautela.

Nas lajes, a massa total de aço cresceu de 3.118 kg em C25 para 4.011 kg em C50. Os indicadores normalizados pelo volume total de concreto passaram de aproximadamente 18,28 para 23,52 kg/m³. A armadura mínima prevista na NBR 6118 (ABNT, 2023) pode contribuir para essa tendência, mas os quantitativos agregados não permitem quantificar isoladamente sua parcela.

As lajes participam do comportamento global como diafragmas, coletando e transmitindo ações horizontais e compatibilizando deslocamentos entre os elementos verticais resistentes. Elas não constituem, neste modelo, o principal sistema vertical de contraventamento, mas sua

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

participação na transferência das ações laterais não deve ser desconsiderada (Paulay e Priestley, 1992).

A comparação mostra respostas distintas dos subsistemas ao aumento do fck: enquanto a massa de aço dos pilares caiu ligeiramente, as massas de vigas e lajes aumentaram. Nas condições deste modelo, esse resultado recomenda avaliar separadamente o desempenho e o consumo de materiais de cada grupo, sem concluir que uma classe única seja economicamente ótima para a estrutura inteira.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas simulações apresentadas, o aumento do fck exerceu influência relevante sobre os deslocamentos horizontais, mas modificou pouco o coeficiente γz. Esses resultados pertencem ao estudo de caso e devem ser comparados com outras estratégias de rigidez antes de sua generalização.

O custo calculado do concreto aumentou 23,08% de C25 para C50. Os quantitativos de aço tiveram respostas diferentes: a massa dos pilares diminuiu discretamente, enquanto as massas de vigas e lajes aumentaram. Como o aço não foi precificado, esses dados não permitem determinar o custo global de cada alternativa.

As lajes atuaram como diafragmas na transferência das ações horizontais aos elementos verticais resistentes. O aumento da massa de armadura das lajes deve ser considerado na comparação de materiais, mesmo que elas não sejam o principal sistema vertical de contraventamento do edifício.

Nas condições do modelo e considerando exclusivamente o custo direto do concreto, a classe C25 apresentou o menor valor calculado e atendeu aos limites de deslocamento considerados conforme a NBR 6118 (ABNT, 2023). Esses resultados não demonstram que C25 seja a alternativa de menor custo global, pois não foram monetizados o aço nem os demais insumos de execução.

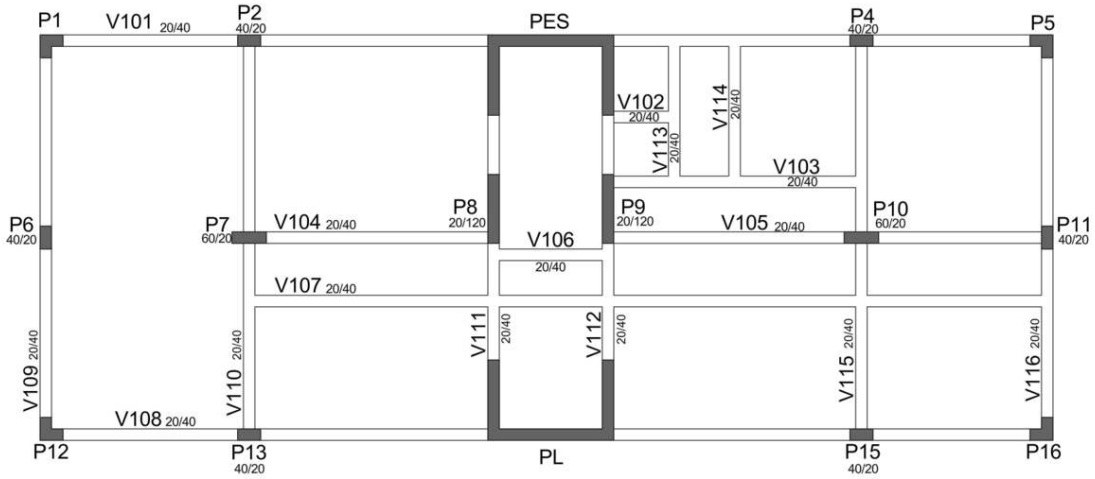
As conclusões se restringem à tipologia e aos parâmetros deste estudo de caso. Os preços são regionais e as cotações disponibilizadas não explicitam todas as condições comerciais. A avaliação econômica abrange apenas o concreto usinado; os custos de aço, fôrmas e mão de obra não foram incluídos, e frete e bombeamento não foram discriminados. A extrapolação para edifícios de maior altura ou outros arranjos estruturais requer novas análises.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

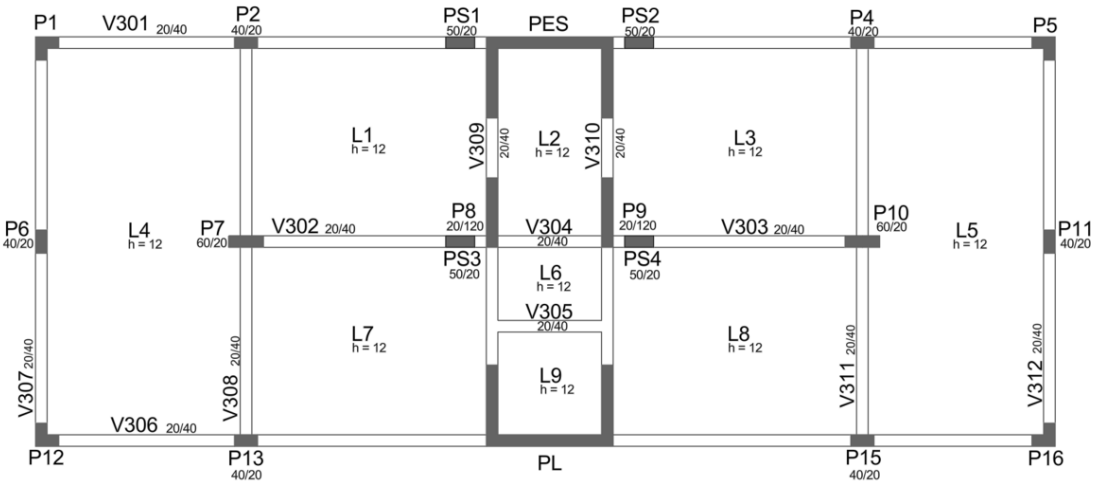
Como trabalhos futuros, recomenda-se incorporar o custo do aço e dos demais insumos em uma análise econômica integrada, avaliar edifícios de diferentes alturas e testar classes de fck distintas por subsistema estrutural.

APÊNDICE

Planta de Forma – Pav. Térreo

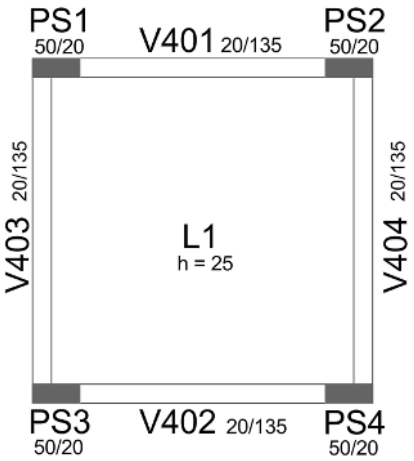


Planta de Forma – Pav. Cobertura

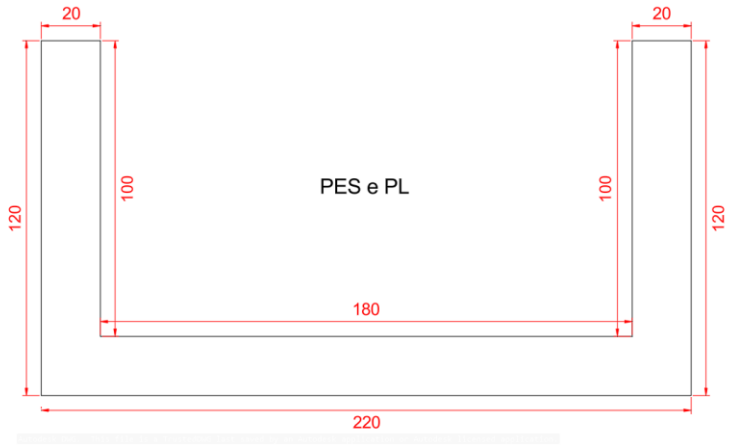


Planta de Forma – Caixa d'água

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

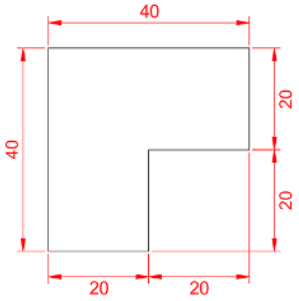


Dimensões dos núcleos rígidos



Dimensões dos pilares L

P1, P5, P12 e P16



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2023.

BUENO, M. M. E. Avaliação dos parâmetros de instabilidade global em estruturas de concreto armado. 2009. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009. Disponível em: http://repositorio.unb.br/handle/10482/4622.

CABRAL, B. L. P.; SILVA, W. Q. Influência da resistência característica à compressão do concreto (fck) na análise de deformação da estrutura. ITEGAM-JETIA, v. 5, n. 18, p. 73–80, 2019. Disponível em: https://itegam-jetia.org/journal/index.php/jetia/article/view/414.

CAMICIA, R. J. M. Análise da estabilidade global de edifícios com múltiplos pavimentos em concreto armado com diferentes tipos de lajes e inclusão de núcleos rígidos. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3055.

CARMO, R. N. S. Efeitos de segunda ordem em edifícios usuais de concreto armado. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995. Disponível em: https://doi.org/10.11606/D.18.2018.tde-24042018-120327.

CICOLIN, L. A. B. Estabilidade em edifícios de concreto armado com pavimentos em lajes planas. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/handle/20.500.14289/4622.

FREGONEZI, G. M. Estudo da influência dos concretos de alta resistência em pilares no dimensionamento de edifícios. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2017. Disponível em: http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/5709.

KIMURA, A. E. Informática aplicada a estruturas de concreto armado. 2. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

MONCAYO, W. J. Z. Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado. 2011. Dissertação (Mestrado em Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

PAULAY, T.; PRIESTLEY, M. J. N. Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings. New York: Wiley, 1992.

SANTOS, A. C. dos; LORIGGIO, D. D.; TRAUTWEIN, L. M.; NÓBREGA, P. G. B. da; FRANÇA, R. L. e S; SANTOS, S. H. de C. Estabilidade global e deslocabilidade lateral. In: KIMURA, Alio Ernesto et al. (ed.). *Estruturas de concreto armado: volume 2 – capítulos básicos B10 a B18*. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2023.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

TAVARES, C. M. Análise da estabilidade global de um edifício alto de concreto armado com estrutura de lajes nervuradas lisas. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/32234.

ZEN, S. D.; REBELO, J. F. Influência da resistência característica do concreto na estabilidade global e reverberações no custo: estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS, 10., 2018, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro, 2018.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.