

SPDA Além da NBR 5419-3: Modelagem e Avaliação do Coeficiente k_c para Estruturas Longas, Tipo Galpões, segundo Boas Práticas Internacionais

Biagione Rangel de Araújo
Departamento de Engenharia
BRCLightninght
Natal, Brasil
ORCID 0000-0002-9111-1229

Resumo— Este artigo apresenta um estudo sobre os valores do coeficiente de partição k_c da corrente de raio entre as terminações aéreas e os condutores de descida em edificações com telhados inclinados dotados de captos tipo Franklin instalados na cumeeira. Essa configuração é reconhecida e normatizada internacionalmente, mas ainda não contemplada na norma brasileira em vigor para sistemas de proteção contra descargas atmosféricas.

O estudo foi conduzido por meio do desenvolvimento de um modelo baseado em arranjos de impedâncias indutivas, conforme princípios adotados em normas internacionais. O modelo converte o comprimento dos condutores em indutâncias equivalentes, representando o comportamento eletromagnético do sistema de terminação aérea e condutores de descida.

Foram elaborados circuitos equivalentes de impedâncias indutivas, validados com base em trabalhos apresentados em congressos internacionais e publicações científicas. As equações resultantes permitiram a construção de tabelas comparativas entre os valores de k_c obtidos por modelagem, simulações no software ATPDraw 6.0 e valores de referência estabelecidos na norma internacional.

Os resultados mostram forte correlação entre os valores calculados, simulados e normativos, com desvios limitados à ordem dos centésimos. Considerando que esse tipo de configuração é amplamente empregada em edificações industriais, comerciais, rurais e até residenciais — independentemente do material estrutural (alvenaria, concreto pré-moldado, metálico ou madeira) —, os resultados obtidos oferecem subsídios relevantes aos projetistas de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas. Esses subsídios podem contribuir para a mitigação de tensões induzidas internas, a otimização da distribuição das correntes de descida e a redução dos riscos de centelhamentos perigosos, além de permitir a definição mais precisa das distâncias de segurança.

Keywords — Proteção contra descargas atmosféricas; coeficiente de partição de corrente; captos Franklin; impedâncias indutivas; ATPDraw; NBR 5419; SPDA, IEC 62305.

I. INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta um estudo sobre os valores do coeficiente de partição ' k_c ' da corrente de raio entre as terminações aéreas e os condutores de descida em edificações com telhados inclinados dotados de captos tipo Franklin instalados na cumeeira. Essa configuração é reconhecida e normatizada internacionalmente, mas ainda não contemplada na norma brasileira em vigor [1-2].

O sistema de cabo suspenso com duas descidas (**Figura 1**) é adotado como configuração de referência, pois sua equação

de ' k_c ' é dedutível de forma direta e fornece a base para os demais modelos equivalentes. Geometrias mais complexas — como malhas, múltiplos captos ou anéis de aterramento — são reduzidas a circuitos equivalentes por meio da conversão dos comprimentos horizontais e verticais em indutâncias equivalentes.

Foram elaborados circuitos equivalentes de impedâncias indutivas, validados com base em trabalhos apresentados em congressos internacionais e publicações científicas [3]. As equações resultantes permitiram a construção de tabelas comparativas entre os valores de ' k_c ' obtidos por modelagem, simulações no software ATPDraw 6.0 e valores de referência estabelecidos na norma internacional [2].

Os resultados mostram forte correlação entre os valores calculados, simulados e normativos, com desvios limitados à ordem dos centésimos. Considerando que esse tipo de configuração é amplamente empregada em edificações industriais, comerciais, rurais e até residenciais — independentemente do material estrutural (alvenaria, concreto pré-moldado, metálico ou madeira) —, os resultados obtidos oferecem subsídios relevantes aos projetistas de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas - SPDA. Esses subsídios podem contribuir para a mitigação de tensões induzidas internas, a otimização da distribuição das correntes de descida e a redução dos riscos de centelhamentos perigosos, além de permitir a definição mais precisa das distâncias de segurança.

II. CONSIDERAÇÕES E CONDIÇÕES

Para os cálculos do coeficiente k_c , considerou-se que o ponto provável de impacto do raio ocorre em uma das extremidades superiores da estrutura (região da cumeeira), entre os dois extremos ou na extremidade — esta última correspondendo à condição representativa do pior caso para a distribuição de corrente. O valor de k_c é definido como a razão entre a corrente que percorre o condutor de descida associado ao ponto de impacto e a corrente total de descarga, conforme explicitado nas referências normativas [1-2].

A metodologia adotada consiste em converter o comprimento dos condutores aéreos e dos condutores de descida em indutâncias equivalentes, considerando o valor de 1,5 μH por metro de condutor, com diâmetro de 1 mm. Essa abordagem foi previamente aplicada e validada em outros estudos, apresentados em congressos internacionais e publicados em periódicos especializados [3]. O valor da indutância é calculado conforme (1), desconsiderando-se os efeitos resistivos dos condutores, em virtude da elevada frequência associada aos impulsos atmosféricos.

$$L_{\mu H} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot l_{mm} \cdot \left[\ln \left(\frac{4l_{mm}}{D_{mm}} \right) - 0,75 \right] (1)$$

onde: $\mu_0 = 1,2566 \times 10^{-6} \text{H/m}$ (permeabilidade do vácuo).

Em seguida, aplica-se a associação de indutâncias em série e paralelo, análoga à associação de resistências, para determinar as indutâncias equivalentes do sistema, utilizadas nos cálculos de partição de corrente. As combinações seguem as relações usuais (2–3):

$$L_{eq,série} = L_1 + L_2 + \dots (2)$$

$$\frac{1}{L_{eq,paralelo}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots (3)$$

Assim, as demais equações do estudo resultam de reduções sucessivas ou combinações diretas das indutâncias equivalentes, permitindo representar arranjos complexos de captos e descidas como sistemas eletromagneticamente equivalentes à configuração de cabo suspenso com duas descidas (**Figura 1**).

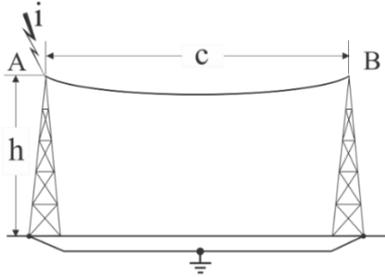


Figura 1 - Sistema de captação por cabo suspenso com duas descidas

O valor do coeficiente k_c para essa configuração é determinado pela equação (4).

A equação (4) é obtida pela dedução direta a partir do equilíbrio das correntes nas duas descidas, considerando que $I_1 \cdot h = I_2 \cdot (h + c)$.

$$k_c = \frac{h+c}{2h+c} (4)$$

A forma de onda da corrente de descarga atmosférica foi representada pela Função de Heidler, conforme definida em (5) e referenciada em [4;5;6;7]. Considerando que a análise desenvolvida neste estudo não se atém aos efeitos de indução eletromagnética, mas sim à distribuição das correntes entre os condutores de descida, adotou-se a parametrização correspondente ao primeiro impulso positivo, por representar o impulso de maior energia. Foram considerados picos de corrente de 150 kA (Classe II) [5-6], com constante de tempo da frente de onda $T_1=19\mu s$ e constante de tempo de cauda $T_2=485\mu s$, além do fator de correção para o valor de pico de corrente $k = 0,93$. Esses parâmetros foram aplicados na equação de Heidler (5), cuja forma de onda foi gerada e simulada no software ATPDraw 6.0, permitindo obter os valores instantâneos de corrente em cada condutor de descida para diferentes configurações de captação e interconexão

$$i(t) = \frac{I}{k} \cdot \frac{\left(\frac{t}{T_1}\right)^n}{1+\left(\frac{t}{T_1}\right)^n} \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right) (5)$$

III. MODELAGEM E RESULTADOS

Esta seção descreve os modelos, equações, diagramas e circuitos equivalentes utilizados no estudo, bem como apresenta os principais resultados obtidos por meio das simulações realizadas.

A norma [2] define doze configurações e arranjos de estruturas longas com telhado inclinado e terminações de captação localizadas na cumeeira. Entretanto, considerando que várias dessas configurações não apresentam diferenças significativas nos valores do coeficiente ' k_c ' em relação a geometrias mais simples, o presente estudo concentrou-se em oito dessas doze configurações. As quatro configurações restantes são discutidas posteriormente na análise comparativa dos resultados.

A norma internacional estabelece valores de ' k_c ' para cada uma das doze configurações, associando-os à razão geométrica entre o comprimento horizontal c — correspondente ao trecho localizado na cumeeira que interliga duas descidas — e a altura h , correspondente às descidas desde a cumeeira até o solo, conforme será detalhado na subseção de modelagem. As razões c/h definidas pela norma [2] são: 0,33; 0,5; 1 e 2.

Como a norma não explicita os critérios que resultaram na definição desses valores, este estudo buscou formular equações que permitissem simular a partição das correntes entre os condutores e, assim, avaliar a coerência dos valores de referência. Além disso, a abordagem proposta fornece uma metodologia que possibilita determinar novos valores de ' k_c ' para configurações não simétricas, ou que apresentem diferentes comprimentos de interligação e descidas em cada seção da instalação.

A. Modelagem do circuito equivalente e validação dos resultados

Nesta etapa, é apresentada a modelagem de referência utilizada para a determinação do coeficiente de partição de corrente k_c . Inicialmente, foi analisada uma estrutura com quatro condutores de descida, situados nas extremidades (ver **Figura 2**), permitindo demonstrar o processo completo de modelagem e a dedução das expressões analíticas.

A modelagem baseia-se na conversão dos comprimentos horizontais e verticais em indutâncias equivalentes, conforme descrito na Seção II (ver **Figura 3**). A partir desse modelo, foram elaborados dois circuitos elétricos: um integral, com a representação de todas as indutâncias (ver **Figura 4**), e outro reduzido, no qual as demais indutâncias, exceto a da descida A–A₁₀, foram associadas em série e paralelo até resultar em uma indutância equivalente (ver **Figura 5**). Esses circuitos serviram de base para a etapa de simulação e validação do modelo, apresentada a seguir.

A expressão geral de k_c (6), que representa a parcela da corrente i_{A1} (ver **Figura 4**), foi obtida a partir da modelagem descrita na Seção II. O coeficiente é calculado para a descida realçada, conforme indicado nas figuras. Os resultados analíticos, quando comparados aos valores normativos da [2], apresentaram desvios da ordem de um centésimo (ver **Tabela 1**) para casos em que c/h — conforme **Figura 2** — é maior ou igual a 1, indicando que sua aplicação conduz a resultados mais conservativos.

$$k_c = \frac{2c+h}{4(h+c)} (6)$$

TABELA 1 – COMPARAÇÃO ENTRE OS k_c IEC E EXPRESSÃO (6)

c/h	0,33	0,5	1	2
k_c (IEC)	0,31	0,33	0,37	0,41
k_c eq (6)	0,31	0,33	0,38	0,42

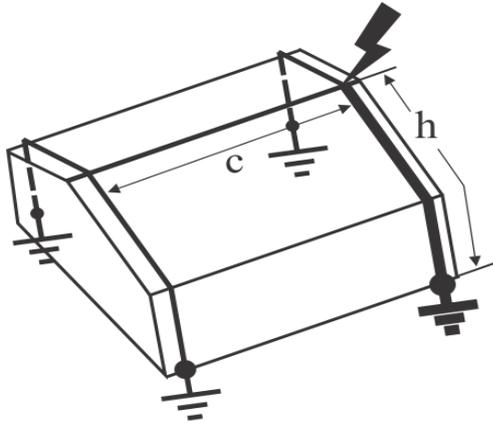


Figura 2 – Estrutura com telhado inclinado, SPDA na cumeeira, com 4 descidas

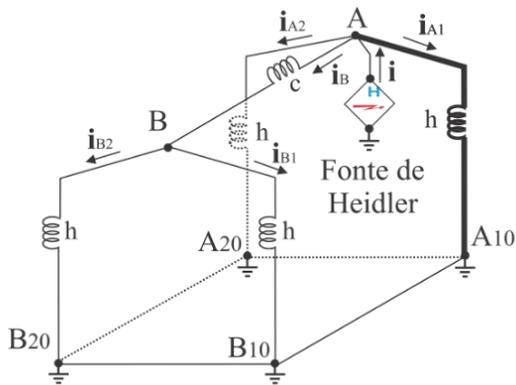


Figura 3 – Modelagem da Figura 2 em termos de indutâncias

Como contraprova do modelo, realizou-se a validação por meio de simulações no software ATPDraw 6.0, considerando a corrente de descarga representada pela função de Heidler (Seção II). Foram analisados dois circuitos: o completo, com todos os condutores convertidos em indutâncias (ver Figura 4), e o reduzido, no qual as demais indutâncias — exceto a da descida A_1 – A_{10} — foram substituídas por uma indutância equivalente obtida pela expressão (7) (ver Figura 5). Os resultados das simulações apresentaram excelente correlação com os valores analíticos e com os parâmetros normativos da IEC, conforme mostrado nas Tabela 2 e Tabela 3. Esses resultados confirmam a consistência e a aplicabilidade do modelo, que foi então estendido às demais sete configurações apresentadas na Seção III–B.

$$h_{eq} = \frac{h(2c+h)}{(2c+3h)} \quad (7)$$

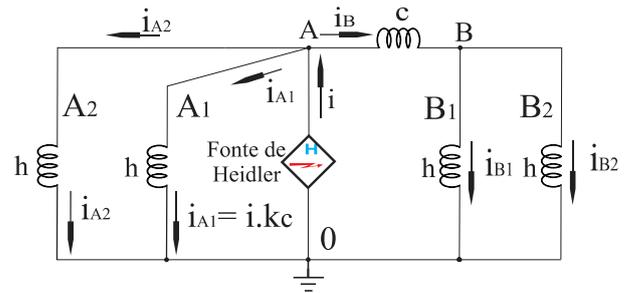


Figura 4 – Circuito elétrico integral da modelagem das indutâncias utilizado nas simulações.

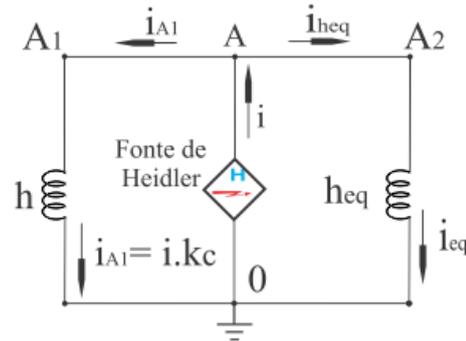


Figura 5 – Circuito elétrico equivalente da modelagem das indutâncias utilizado nas simulações.

TABELA 2 – DISTRIBUIÇÃO DAS CORRENTES POR DESCIDA (SIMULAÇÃO)

c/h	i	ia1	ia2	ib1	ib2	k_c ($ia1/i$)
0,33	149,3	46,59	46,59	28,066	28,066	0,31
0,5	149,3	49,771	49,771	24,885	24,885	0,33
1	149,3	55,992	55,992	18,664	18,664	0,38
2	149,3	62,213	62,213	12,443	12,443	0,42

TABELA 3 DISTRIBUIÇÃO DAS CORRENTES NO CIRCUITO EQUIVALENTE (SIMULAÇÃO)

c/h	i	ia1	iheq	k_c ($ia1/i$)
0,33	149,3	46,59	102,74	0,31
0,5	149,3	49,771	99,541	0,33
1	149,3	55,992	93,32	0,38
2	149,3	62,213	87,113	0,42

As Figura 6 e Figura 7 apresentam as formas de onda das correntes simuladas no ATPDraw para o caso $c/h = 2$, condição que resulta no maior valor de k_c e, portanto, representa a situação mais crítica em termos de indução eletromagnética e centelhamentos perigosos. As simulações para o circuito integral (Figura 4) confirmaram correntes simétricas entre as descidas dos pontos A e B, conforme a configuração da estrutura segundo a IEC (ver Figura 6), motivo pelo qual as curvas de i_{A1} e i_{A2} bem como i_{B1} e i_{B2} , se sobrepõem. No circuito equivalente (Figura 5), a simulação evidencia a quebra dessa simetria, permitindo observar a diferença entre as correntes individuais das descidas em estudo de ' k_c ' e a corrente equivalente i_{eq} (ver Figura 7).

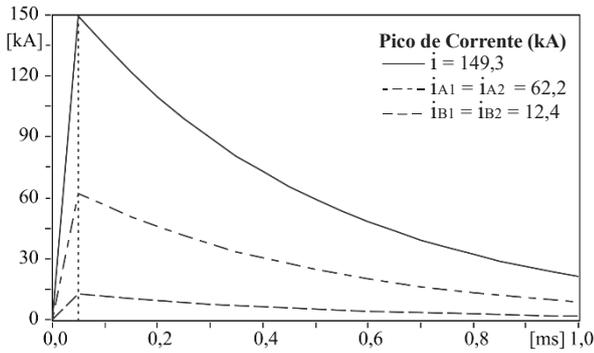


Figura 6 – Correntes resultantes da simulação no ATPDraw para o circuito integral da Figura 4

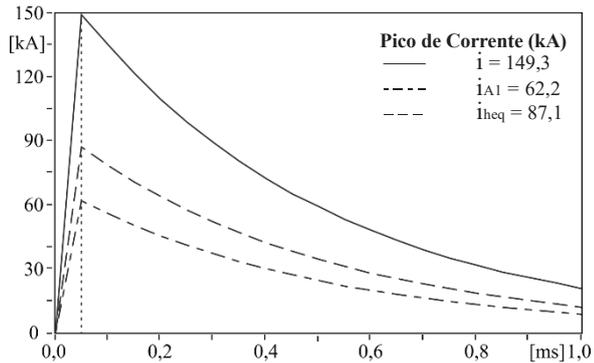


Figura 7 – Correntes resultantes da simulação no ATPDraw para o circuito equivalente da Figura 5

B. Análise de Outras Configurações pela Metodologia

Nesta seção são apresentadas sete configurações complementares à modelagem principal, sendo a primeira correspondente a uma estrutura com duas descidas (ver Figura 8). São resumidas suas representações geométricas, expressões analíticas e os valores de k_c definidos pela IEC — ' $k_c^{(1)}$ ' bem como os valores calculados pelas expressões de cada configuração, ' $k_c^{(2)}$ '. Os resultados obtidos complementam o modelo de referência e demonstram a aplicação do método proposto em diferentes arranjos de descidas e interligações.

Como pode ser observado, esta configuração é similar à apresentada na Figura C.1 da Norma [2] e, conseqüentemente, à expressão (8). Assim, não foram identificadas divergências entre o valor ' $k_c^{(1)}$ ' estabelecido pela norma (Figura C.3 de [2]) e os valores calculados pela expressão (8), conforme ' $k_c^{(2)}$ '. Na seqüência, é analisada uma estrutura similar com três descidas (ver Figura 9).

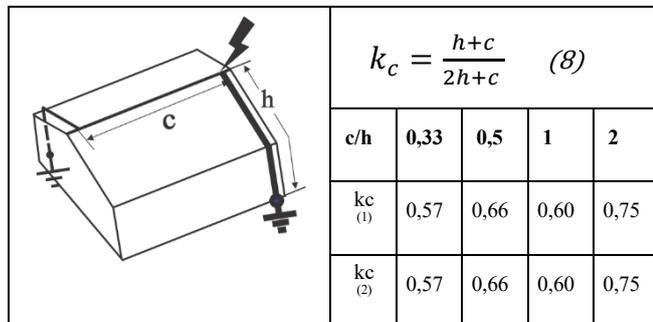


Figura 8 – Configuração com duas descidas, expressão sintetizada de k_c e comparação entre valores normativos da IEC e calculados pela expressão (8).

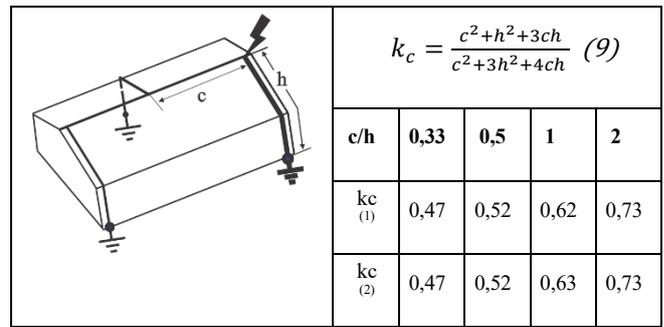


Figura 9 – Configuração com três descidas, expressão sintetizada de k_c e comparação entre valores normativos da IEC e calculados pela expressão (9).

Esta configuração é similar à da Figura 8, acrescida de uma terceira descida, o que elimina a simetria de distribuição. Considerando o impacto da descarga em uma extremidade, como no caso anterior, o valor de k_c para $c/h = 2$ reduziu ligeiramente de 0,75 para 0,73, enquanto para $c/h = 1$ aumentou de 0,60 para 0,62 (IEC [2]) e 0,63 pela expressão (9), variação de 1 centésimo. Os demais valores permaneceram inalterados, indicando que o acréscimo de descidas não foi determinante na redistribuição da corrente quando o impacto ocorre em uma extremidade. Esse pequeno desvio para $c/h = 1$ confirma a validade da expressão (9).

Esta configuração da Figura 10, equivalente à da Figura 9, considera agora o impacto da descarga no ponto central da estrutura. Os valores calculados pela expressão (10) apresentaram plena concordância com [2], sem desvios registrados, validando a expressão (10). Observou-se, entretanto, redução de cerca de 17% no valor de k_c do condutor central, em todas as razões c/h , devido à simetria das descidas laterais. Na seqüência, são avaliadas configurações similares, com quatro e cinco descidas, apresentadas nas Figuras 11 e Figura 12.

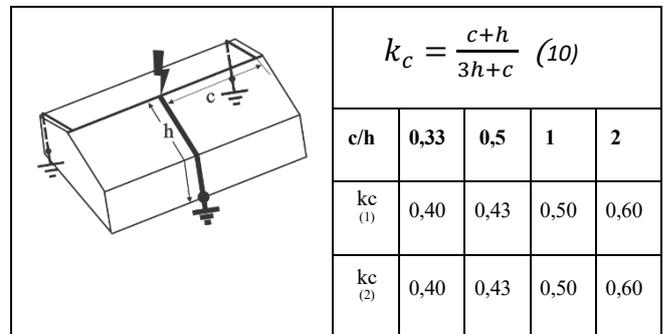


Figura 10 – Configuração com três descidas e impacto central, expressão sintetizada de k_c e comparação entre valores normativos da IEC e calculados pela expressão (10).

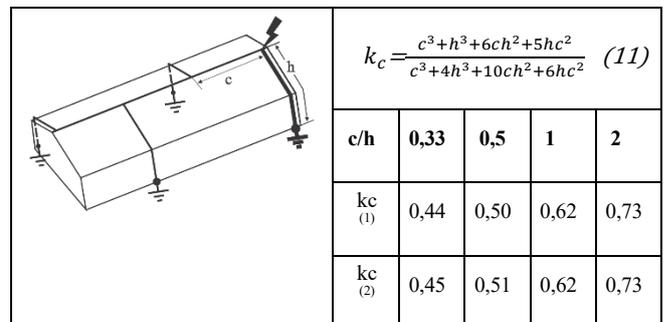


Figura 11 – Configuração com quatro descidas alternadas, expressão sintetizada de k_c e comparação entre valores normativos da IEC e calculados pela expressão (11).

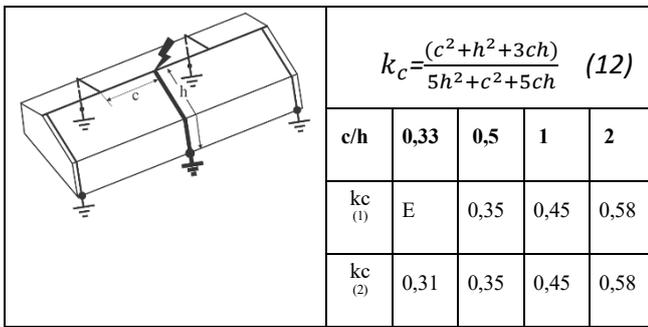


Figura 12 - Configuração com cinco descidas alternadas, expressão sintetizada de k_c e comparação entre os valores normativos da IEC e os calculados pela expressão (12).

Os valores normativos de k_c e os obtidos pela expressão (11), referentes à Figura 11 (quatro descidas alternadas com impacto na extremidade), apresentaram divergência máxima de um centésimo nas menores razões c/h (0,33 e 0,5), validando a expressão (11) e resultando em condição ligeiramente mais conservativa. Em comparação à configuração com três descidas e impacto na extremidade (Figura 9), os valores de k_c mantiveram-se iguais (0,73 e 0,62), indicando que o acréscimo de descidas não altera de forma significativa a redistribuição de corrente. As pequenas reduções observadas para $c/h = 0,33$ e 0,5 (de 0,47 para 0,45 e de 0,52 para 0,50) são desprezíveis.

Já em relação à configuração simétrica de quatro descidas (Figura 2), o aumento de k_c é expressivo, variando de 74% a 42% entre $c/h = 2$ para $c/h = 0,33$, demonstrando que a simetria das descidas influencia diretamente a distribuição das correntes de descarga e reduz os efeitos de indução eletromagnética e centelhamentos perigosos.

Os valores normativos e os calculados pela expressão (12) para a configuração da Figura 12 — cinco descidas alternadas com impacto central — mostraram plena concordância, validando a expressão (12).

Comparada à configuração de três descidas (Figura 10), observou-se redução de 3 a 22,5% nos valores de k_c , da maior razão $c/h = 2$ para $c/h = 0,33$. Isso evidencia que, embora a corrente na descida atingida varie pouco, o encurtamento do espaçamento entre descidas reduz a corrente total e atenua os efeitos eletromagnéticos e de centelhamento.

Por fim, são apresentadas as configurações com seis descidas simétricas, ilustradas nas Figura 13 e Figura 14, considerando impactos na extremidade e no centro da estrutura, respectivamente.

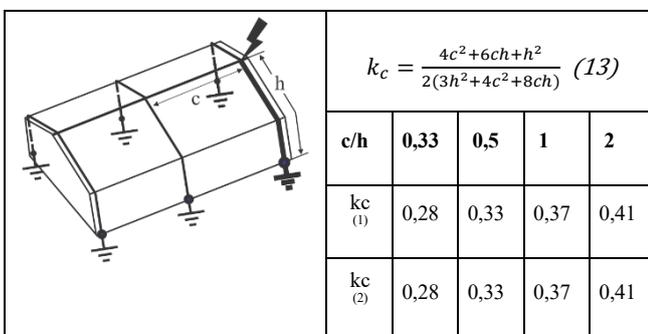


Figura 13 - Configuração com seis descidas simétricas, impacto na extremidade; expressão sintetizada de k_c e comparação entre os valores normativos da IEC e os calculados pela expressão (13).

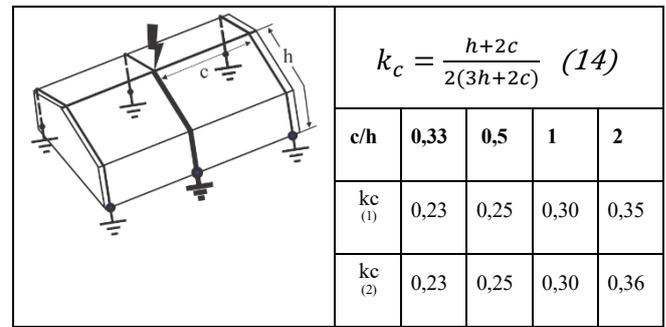


Figura 14 - Configuração com seis descidas simétricas, impacto no centro; expressão sintetizada de k_c e comparação entre os valores normativos da IEC e os calculados pela expressão (14).

Os valores normativos e os calculados pelas expressões (13) e (14) para as configurações das Figura 13 e Figura 14 — seis descidas simétricas, nas extremidades e no centro — apresentaram plena concordância, validando as expressões (13) e (14). A única divergência observada foi de 1 centésimo a mais para a expressão (14), em $c/h = 2$.

Comparando com a configuração de quatro descidas (Figura 12), os valores de k_c permanecem iguais para $c/h \geq 0,5$. A única redução significativa ocorreu em $c/h = 0,33$, de 0,31 para 0,28.

A Figura 14 não possui configuração similar para comparação direta; frente à configuração com impacto na extremidade, a redução de k_c varia entre 14% e 26% da maior para a menor razão c/h (2 a 0,33), informação útil para recomendações de abrigo de equipamentos sensíveis próximos ao centro de estruturas desse tipo.

C. Configurações não analisadas

As demais configurações previstas na IEC não foram analisadas neste estudo, pois apresentam comportamento muito semelhante às já apresentadas. Configurações com oito descidas simétricas e impacto na extremidade exibem valores de k_c praticamente idênticos aos da configuração de seis descidas, divergindo apenas em 0,01 para a menor razão $c/h = 0,33$. Para oito e dez descidas com impacto central, os valores seguem o mesmo padrão da configuração de seis descidas, coincidindo em $c/h = 2$ e apresentando pequenas reduções de 0,01 a 0,02 para $c/h \geq 0,5$ e $c/h = 0,33$. A configuração de quatro descidas alternadas com impacto central não foi analisada, pois o valor normativo de k_c corresponde à média entre as configurações de três e cinco descidas com impacto central, não sendo relevante para os objetivos deste estudo. Essa constatação, de que o aumento do número de descidas não afeta significativamente a distribuição das correntes entre elas, está em consonância com o artigo [8], que estudou a captação em malha na cobertura da edificação.

IV. ANÁLISE DE RESULTADOS

As análises realizadas para as diferentes configurações de descidas de uma estrutura mostraram padrões consistentes na redistribuição da corrente de descarga, conforme representado pelos valores de k_c .

Para configurações com poucas descidas (2 a 3), observou-se que o impacto da descarga em extremidades ou no ponto central provoca variações pequenas nos valores de k_c , indicando que a adição de descidas em número ímpar não altera significativamente a redistribuição das correntes. Para configurações simétricas com maior número de descidas (4 a

6), os resultados evidenciam que a simetria na disposição das descidas influencia diretamente a partição das correntes, com reduções irrelevantes em k_c quando o impacto ocorre no ponto central.

Comparações com as normas [2] mostraram plena concordância para a maioria das razões c/h , com pequenas divergências (ordem de centésimos) apenas em casos de relações extremas. Configurações com maior número de descidas (8 e 10), não analisadas detalhadamente, seguem o mesmo comportamento, reforçando que a simetria e o espaçamento das descidas são fatores determinantes na mitigação de efeitos de indução eletromagnética e centelhamentos perigosos.

Essa síntese permite avaliar de forma sistemática os impactos do número, posição e simetria das descidas, servindo como base para recomendações de projeto e abrigo de equipamentos sensíveis em estruturas de proteção contra descargas atmosféricas.

V. CONCLUSÃO

O estudo mostrou que a redistribuição da corrente de descarga depende da simetria e do posicionamento das descidas, sendo pouco sensível ao aumento do número de descidas além de cinco em impactos nas extremidades ou no centro da estrutura. As expressões sintetizadas para k_c concordam com os valores normativos [2] e com estudos anteriores [3–8], validando o método, permitindo cálculo direto sem interpolação, como recomenda a norma [2], e preenchendo lacunas na norma brasileira [1]. Embora não confirme a predominância da distribuição da corrente por cinco descidas, como observado em [3–8], constatou-se que aumentar o número de descidas não altera significativamente a redistribuição, sendo, contudo, importante para escoar a corrente até o aterramento em impactos fora das extremidades. A metodologia permitiria calcular k_c para configurações assimétricas, com descidas e espaçamentos distintos; porém, isso não foi contemplado neste estudo, podendo servir de referência para pesquisas futuras. Recomenda-se manter descidas simétricas para reduzir efeitos de induções eletromagnéticas. A norma brasileira vigente não contempla essas instalações, nem simétricas nem assimétricas, e a norma internacional não contempla estruturas assimétricas, tornando o estudo referência útil para projetos similares.

VI. BIBLIOGRAFIA

- [1] ABNT, Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida, ABNT, 2015.
- [2] IEC, “IEC 62305-3 - Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard,” IEC, p. 280, 2024.
- [3] B. R. de Araujo, “Study of k_c coefficient values established in the Brazilian and International Standards for Lightning Protection Systems,” em 2022 36th International Conference on Lightning Protection (ICLP), Cape Town, 2022, pp. 423-428, doi: 10.1109/ICLP56858.2022.9942494..
- [4] ABNT, Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 1: Princípios Gerais, ABNT, 2015.
- [5] IEC, “IEC 62305-1 - Protection against lightning - Part 1: General principles,” IEC, p. 153, 2024.
- [6] F.H. Heidler and W.J. Zischank, “Necessary separation distances for lightning protection systems – IEC 62305-3 revisited,” em X International Symposium on Lightning Protection (X SIPDA), Nov, 2009, Curitiba, Brazil.
- [7] A. R. Panicali, J. C. O. Silva, C. F. Barbosa and N. V. B. Alves,, “Separation Distance Between External LPS and Structure

Conductive Parts,” pp. International Symposium on Lightning Protection (XIII SIPDA), pp. 367-372, doi:10.1109/SIPDA.2015.7339288, 2015.

- [8] B. R. D. Araújo, Separation Distance Versus Induced Voltages, Suzhou, China: 2023 International Symposium on Lightning Protection (XVII SIPDA), , 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/SIPDA59763.2023.10349095. , 2023.