

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE CORRENTES ELÉTRICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

IMPACT ASSESSMENT OF ELECTRIC CURRENTS IN ARMED CONCRETE STRUCTURES

Viviane Macedo de Oliveira Juliate¹

Eduardo Gouveia Santiago Lage²

¹ Acadêmica do Curso de Engenharia Civil – Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos

² Orientador, Engenheiro Eletricista, Especialista em Saneamento e Meio Ambiente – Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos

RESUMO: O Brasil é líder mundial em incidência de raios, com cerca de 77,8 milhões por ano. Isso se dá devido ao Brasil ser o maior país da região tropical, com o clima mais quente, e desse modo favorece a formação de tempestades e consequentemente de raios. Em virtude da alta incidência, há a preocupação pelos prejuízos causados pelos raios, que podem causar morte ou causar perdas materiais. Ao atingir edificações, os raios podem causar a quebra/rompimento do concreto, diminuindo a resistência do mesmo. Nesse sentido, surge a necessidade de utilização do Sistema de Proteção a Descargas Atmosféricas (SPDA) à estrutura do pilar, designado à proteção dos diferentes tipos de estrutura contra os efeitos das descargas atmosféricas, evitando e/ou minimizando o impacto dos efeitos das descargas. Frente ao exposto, a pesquisa buscou evidenciar a perda da resistência à compressão do concreto, quando sua estrutura é submetida à uma descarga elétrica. Para tal, realizou-se a elaboração de doze corpos de prova, dispondo uma haste de aço CA50 de 12mm no centro, posteriormente submetidos à uma descarga elétrica. Verificou-se que, mesmo que a descarga elétrica não cause dano ao concreto, relacionado à sua quebra ou rompimento, ela pode causar uma perda significativa da resistência à compressão do concreto, ressaltando, portanto, a necessidade de as edificações disporem de um SPDA.

Palavras-chave: Descarga elétrica. Concreto armado. Resistência à compressão.

ABSTRACT: Brazil is the world leader in lightning incidence, with about 77.8 million per year. This is because Brazil is the largest country in the tropical region, with the warmer climate, and thus favors the formation of storms and consequently lightning. Due to the high incidence, there is concern for damage caused by lightning, which can cause death or cause material loss. When striking buildings, lightning can cause concrete to break / break, reducing its strength. In this sense, the need arises to use the Lightning Protection System (SPDA) to the pillar structure, designed to protect the different types of structure against the effects of lightning, avoiding and / or minimizing the impact of lightning effects. Given the above, the research sought to evidence the loss of compressive strength of concrete, when its structure is subjected to an electric

discharge. To this end, twelve specimens were prepared, with a 12mm CA50 steel rod in the center, which was subsequently subjected to an electric discharge. It has been found that, even if the electrical discharge does not cause damage to the concrete related to its breakage or rupture, it can cause a significant loss of the compressive strength of the concrete, thus emphasizing the need for the buildings to have an SPDA.

Keywords: Electric discharge. Reinforced concrete. Compressive strength.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Agência Brasil (2018), a média da incidência de raios no Brasil nos últimos anos é de cerca de 77,8 milhões, fazendo com que o país tenha destaque no âmbito mundial.

O Brasil é líder mundial em incidência de raios anualmente, sendo que houve 1790 mortes por raios entre 2000 a 2014 no país, além de, no âmbito mundial, uma a cada 50 pessoas que morrem anualmente por descargas atmosféricas encontra-se no Brasil, e 90% desses acidentes ocorrem nas estações mais quentes do ano, como o verão e a primavera (BRASIL, 2016).

De acordo com a Revista Ecológico nas Escolas (2018), a alta incidência no Brasil se dá devido ser o maior país da região tropical, com o clima mais quente, e desse modo favorece a formação de tempestades e consequentemente de raios.

Segundo a Agência Brasil (2018), o estado do Tocantins é o país brasileiro com a maior incidência de raios por quilometro quadrado, chegando a um número médio de 17,1, e a capital do estado é a segunda capital do país com essa maior incidência, atingindo cerca de 19,21 raios por quilômetro quadrado, acima da média do estado, e fica atrás somente da capital Rio Branco, que possui a incidência de 30,13.

De acordo com a Confederação Nacional dos Municípios (2018), a incidência de raios no Tocantins é tão alta que somente nas primeiras semanas de 2018 houve o registo de 800 mil raios no estado.

Segundo Ribeiro e Cardoso (2016), os prejuízos causados pelas descargas atmosféricas giram em torno de milhões de dólares, não só no Brasil como em outros países. Os autores afirmam que há uma estimativa de que cerca de 70% dos desligamentos existentes em linhas de transmissão, e 30% das faltas de energia elétricas por parte de linhas de distribuição, são causados pelas descargas atmosféricas.

Em virtude da alta incidência de descargas atmosféricas, verifica-se os prejuízos causados ao atingir edificações. Quando uma descarga elétrica atinge edificações, telhados, torres, linhas de transmissão de energia, aeronaves, árvores, entre outros, possui o risco de causar danos mecânicos em materiais, como a quebra/rompimento de concreto em edificações, quebra e queima de telhados, rompimentos das linhas de transmissão, queima de árvores, etc (SUETA, 2005).

De acordo com Sueta (2005), a maioria das descargas atmosféricas possuem raios curtos e longos, que possuem cargas altas, apontadas como responsáveis pelos danos causados pelas descargas atmosféricas, como os danos destrutivos.

Segundo Ribeiro e Cardoso (2016), as descargas atmosféricas podem atingir edificações e afetar as estruturas, sendo divididas em: descargas diretas à estrutura; descargas atmosféricas perto da estrutura; descargas atmosféricas na linha; e descargas atmosféricas perto da linha; sendo que as descargas atmosféricas diretas à estrutura ou à linha possuem o risco de causar danos físicos e perigo à vida; já as descargas perto da estrutura ou perto da linha pode causar falhas em sistemas eletroeletrônicos, devido as sobretensões atmosférica nas instalações e nas linhas de energia.

A ABNT NBR 5419:2015 afirma que as descargas atmosféricas podem causar danos e perdas ao atingir as edificações, sendo: danos às pessoas devido ao choque elétrico; danos físicos devido aos efeitos das descargas atmosféricas; falhas nos sistemas internos; perda de vida humana; perda de serviço ao público; perda de patrimônio cultural; perda de valor econômico

Nesse sentido, em busca de novas maneiras de diminuir os impactos causados pelas descargas atmosféricas, surgiu o Sistema de Proteção a Descargas Atmosféricas (SPDA) à estrutura do pilar, designado à proteção dos diferentes tipos de estrutura contra os efeitos das descargas atmosféricas, evitando e/ou minimizando o impacto dos efeitos das descargas (ARAÚJO, 2010).

Segundo Coutinho e Altoé (2003) o SPDA – Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas, é um sistema que visa a proteção de uma construção ou estrutura contra as descargas atmosféricas e seus efeitos, sendo designado tradicionalmente por para-raios, e é formado por captação, descidas, anéis de cintamento, aterramento e equalização de potenciais internos, onde estes caracterizam-se por:

- captação: recebem as descargas no topo da edificação e distribui pelas descidas, sendo composta por elementos metálicos devidamente dimensionamentos;
- descidas: recebem as correntes distribuídas a partir da captação e encaminhá-las para o solo;
- anéis de cintamento: equalizam os potenciais das descidas para minimizar o campo elétrico dentro da edificação, e recebe as descargas laterais para distribuí-las pelas descidas;
- aterramento: recebe as correntes elétricas das descidas e dissipa as mesmas no solo, além de equalizar os potenciais das descidas e no solo;
- equalização de potenciais internos

Frente ao exposto, buscou-se, a partir do desenvolvimento dessa pesquisa, avaliar a resistência do concreto armado, após a ocorrência de passagem de corrente elétrica pela armadura, ou seja, identificando a necessidade do SPDA em virtude da perda de resistência.

2 METODOLOGIA

A pesquisa é definida como do tipo descritiva, exploratória, com abordagem quantitativa. Para o seu desenvolvimento, foram feitos corpos de prova de concreto com adição de hastes de ferro, simulando um SPDA.

Realizou-se o ensaio de granulometria com os agregados miúdo e graúdo, conforme a NBR NM 248:2003, para seleção do material adequado, afim de obter a resistência necessária. Também realizou-se ensaios de massa unitária, de acordo com a NBR NM 45:2006, e massa específica dos agregados, conforme a NBR 52:2001. Por fim foi realizada a caracterização do cimento, sendo a determinação da finura segunda a norma do DNIT – 054/2004-PRO, massa específica segundo a NBR 16605:2017, e o estabelecimento do tempo de pega da massa de cimento conforme a NBR NM 65:2003. A partir de então foi formulado a dosagem do concreto, com a determinação da resistência conforme a NBR 12655:2015.

Foram confeccionados 12 corpos de prova com as dimensões básicas utilizadas de 15x30 cm, com uma haste de ferro CA50 de 12mm no interior do CP, ao longo do eixo longitudinal, com a intenção de transporte elétrico. A haste de ferro foi colocada dentro da forma, antes de colocar o concreto, de modo a garantir que ficasse no centro, conforme a figura 1.

Figura 1 - Haste de ferro no centro da forma de corpo de prova.



Fonte: Autora (2019).

Respeitada a cura do concreto, 9 dos 12 corpos de prova foram submetidos à descarga elétrica, simulando uma descarga atmosférica. A corrente elétrica foi conduzida através da haste, fazendo assim transpor completamente o corpo de prova. Para isso, utilizou-se de uma máquina de solda, de modo improvisado, para a aplicação da corrente elétrica variável, conforme a figura 2.

Figura 2 - Preparação do corpo de prova para aplicação da corrente elétrica via máquina de solda.



Fonte: Autora (2019).

Do total de doze corpos de prova, três não foram submetidos à descarga elétrica, em virtude de servirem de base para a comparação quanto à resistência sem descarga elétrica.

Ainda no que se refere à passagem de corrente elétrica, ela foi feita da seguinte maneira:

- 3 corpos de prova submetidos a uma descarga elétrica por 20 segundos;
- 3 corpos de prova submetidos a uma descarga elétrica por 30 segundos;
- 3 corpos de prova submetidos a uma descarga elétrica por 40 segundos;

Em cada corpo de prova, a corrente elétrica e a tensão foi variável, medidas a partir de um multímetro.

A partir da descarga elétrica, verificando a corrente elétrica aplicada em cada corpo de prova, o tempo de descarga e a resistência em Ohms, foi calculado a energia em KJoules, através da seguinte fórmula:

$$\text{Energia} = \text{Resistência} \times \text{Corrente Elétrica}^2 \times \text{Tempo de descarga} / 1000$$

Após a descarga elétrica, cada corpo de prova foi submetido ao ensaio de compressão, conforme a NBR NM 67:1998, de modo a investigar a resistência do concreto possui após uma descarga elétrica, conforme demonstrado na figura 3.

Figura 3 - Ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Autora (2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da realização dos ensaios de granulometria dos agregados, massa unitária e massa específica, encontrou-se os seguintes resultados, conforme o quadro 1.

Quadro 1 - Resultados dos ensaios dos agregados.

Agregado	Módulo de finura	Diâmetro máximo	Massa unitária	Massa específica
Agregado Miúdo	2,80	-	1602 kg/m ³	2,50 g/cm ³

Agregado graúdo	7,07	25mm	1572,9 kg/m ³	2,649 g/cm ³
------------------------	------	------	--------------------------	-------------------------

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

A partir dos ensaios realizados, foi possível determinar o traço de concreto, chegando ao resultado conforme o quadro 2.

Quadro 2 - Determinação do traço do concreto.

1 m³ de concreto							
Quantidade material		C	Careia	Cb	Ca		
		(kg)	(kg)	(Kg)	(L)		
V (m³)		288,06	821,1	1031,56	193,00		
Cimento	0,091						
Areia	0,311						
Brita	0,389						
Ar. Ap	0,015	SÍLICA		Aditivo			
		(kg)		(kg)			
Água	0,193	0,0		2,30			
1 saco de cimento	50	Traço em massa (kg)					
		1	2,85	3,58	0,67		
		Traço em volume (L)					

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

A partir da determinação do traço do concreto, os doze corpos de prova foram moldados, utilizando-se uma haste de ferro CA50 de 12mm no centro.

Após 28 dias de cura, verificou-se a resistência à compressão de três corpos de prova, de modo a servir com base para a verificação da resistência após a descarga elétrica. Nesse sentido, verificou-se as seguintes resistências à compressão:

- Corpo de prova 1: 27,61 Mpa
- Corpo de prova 2: 33,61 Mpa
- Corpo de prova 3: 30,51 Mpa

Nesse sentido, a resistência a compressão média do concreto com a haste de ferro no centro é de 30,58 Mpa.

Os outros nove corpos de prova foram submetidos a uma descarga elétrica anteriormente à verificação da resistência à compressão. Em cada corpo de prova, a resistência em Ohms e a corrente elétrica foram diferentes, o que por consequência em cada um foi aplicado uma energia diferente também. Os resultados estão determinados no quadro 3.

Quadro 3 - Valores da descarga elétrica aplicada por corpo de prova.

Corpo de Prova	Corrente elétrica em Ampéres	Tempo de corrente elétrica em segundos	Resistência em Ohms	Energia em Kjoules
1	218 A	20"	0,1 Ω	95,048
2	218 A	20"	0,1 Ω	95,048
3	218 A	20"	0,2 Ω	190,096
4	180 A	30"	0,2 Ω	194,4
5	179 A	30"	0,2 Ω	192,246
6	124 A	30"	0,2 Ω	138,624
7	152 A	40"	0,2 Ω	123,008
8	169 A	40"	0,1 Ω	114,244
9	156 A	40"	0,3 Ω	292,032

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Identifica-se, a partir dos dados do quadro 3, que em virtude da descarga elétrica ter sido aplicada de forma improvisada, houve uma variação de corrente elétrica, resistência e energia para cada corpo de prova.

Ao realizar o ensaio de resistência à compressão, obteve os seguintes resultados por corpo de prova, disposto no quadro 4.

Quadro 4 - Resistência a compressão por corpo de prova.

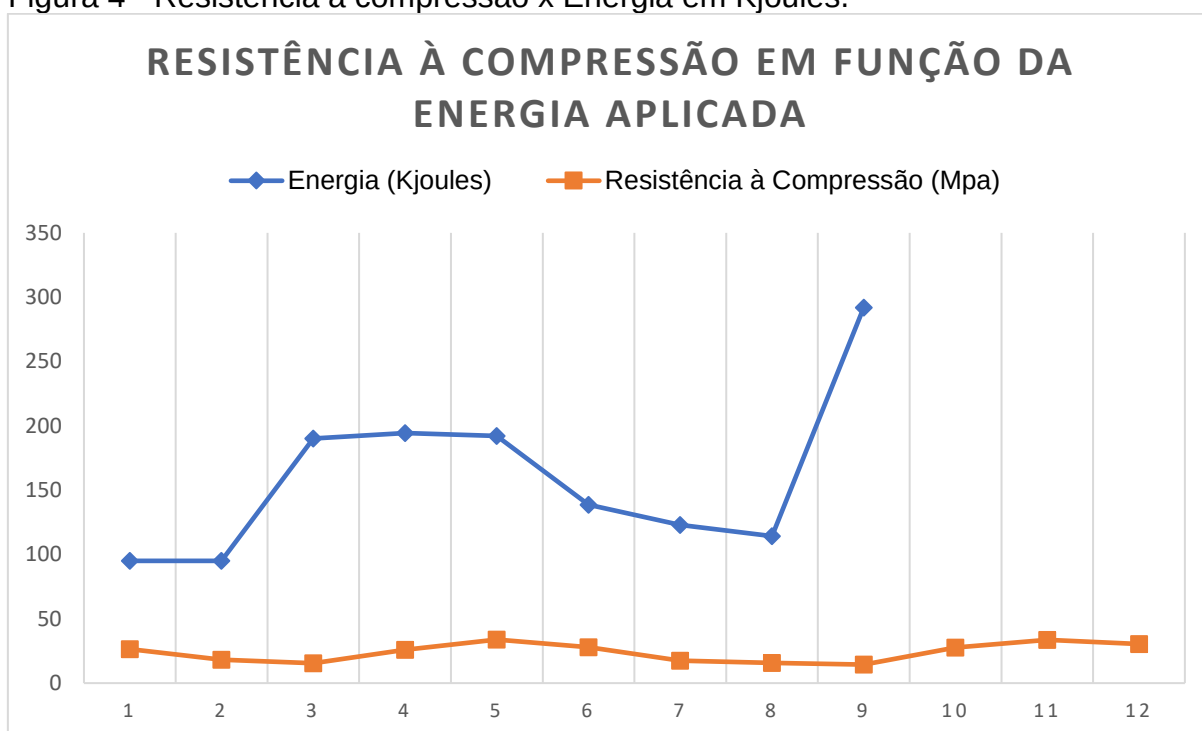
Corpo de Prova	Resistência a compressão
01	26,45 Mpa
02	18,09 Mpa
03	15,37 Mpa
04	25,97 Mpa
05	33,85 Mpa

06	27,84 Mpa
07	17,51 Mpa
08	15,65 Mpa
09	14,42 Mpa

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Ao correlacionar a resistência a compressão com a energia em kJoules aplicada, obtêm-se o disposto na figura

Figura 4 - Resistência à compressão x Energia em Kjoules.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Ao analisar os corpos de prova 01, 02 e 03 com a mesma corrente elétrica, de 218 A, e mesmo tempo de aplicação, 20 segundos, da corrente elétrica, verifica-se que houve uma variação muito grande de perda de resistência a compressão. Ao fazer uma média dos três corpos de prova, encontra-se uma resistência a compressão média de 19,97 Mpa. Considerando uma resistência a compressão média de 30,58 Mpa sem a descarga elétrica, identifica-se que houve uma perda de 10,61 Mpa, um valor muito considerável, onde a resistência do concreto diminuiu 34,69%.

Entretanto ao identificar uma correlação com a energia aplicada, identifica-se que a houve uma menor resistência ao aplicar uma maior energia, bem como uma maior resistência em Ohms, verificado no corpo de prova 3.

Para os corpos de prova 04, 05 e 06, onde houve uma mesma resistência em Ohms, com uma corrente elétrica distinta para cada um e inferiores às aplicadas nos 3 primeiros corpos de prova, identifica-se que novamente a resistência à compressão do concreto foi variável. Ao fazer uma média da resistência a compressão, identifica-se um valor de 293,22 Mpa. A diminuição do valor de referência, 30,58 Mpa, é de 1,36 Mpa ou de 4,45%. Desse modo, identifica-se que, apesar de um tempo maior de aplicação da descarga elétrica, houve uma corrente elétrica menor aplicada, em relação aos 3 primeiros corpos de prova, fazendo, portanto, com que a perda de resistência seja menor.

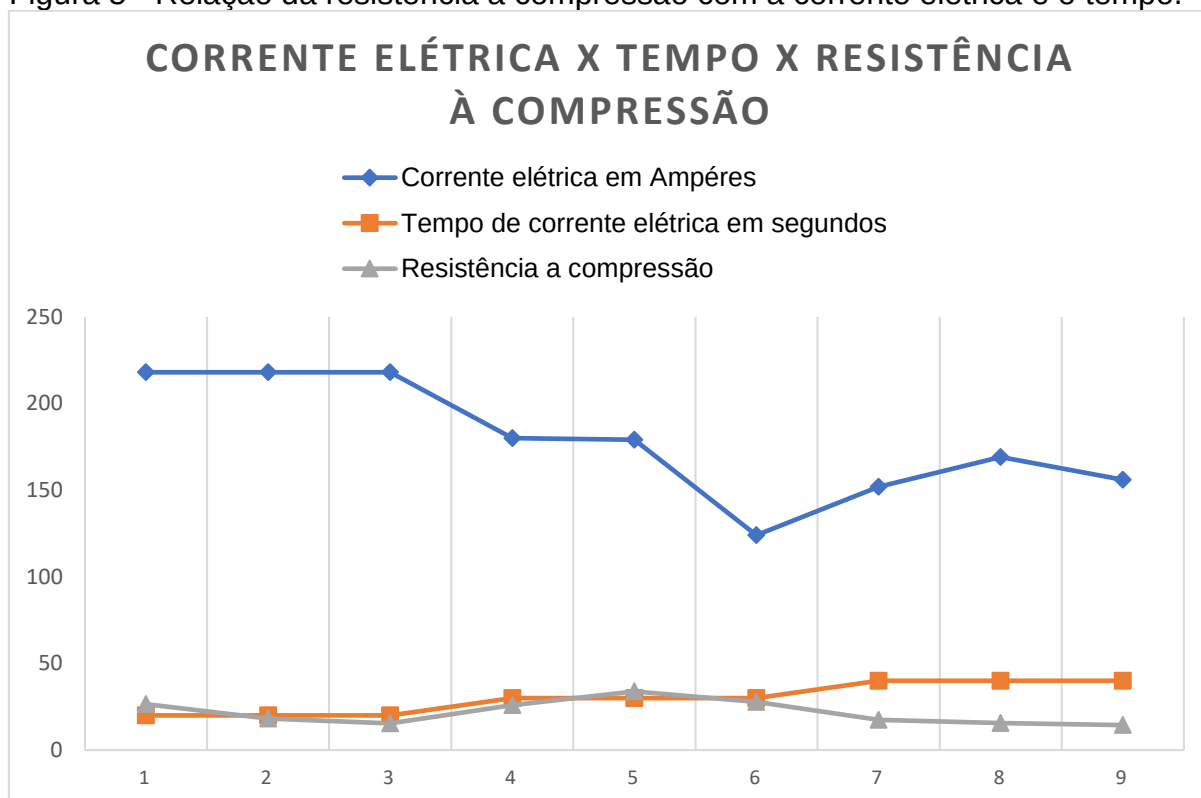
Ao identificar a correlação entre a resistência à compressão e a energia aplicada, identifica-se que para os corpos de prova 04 e 05 a energia foi semelhante, e para o corpo de prova 06 a energia foi muito inferior, influenciando na resistência à compressão, onde a maior energia aplicada foi no corpo de prova 04, obtendo a menor resistência à compressão, e o inverso no corpo de prova 06.

Para os corpos de prova 07, 08 e 09, a corrente elétrica aplicada foi diferente para os três, além de ser abaixo da corrente elétrica aplicada nos 3 primeiros corpos de prova. A resistência em Ohms também foi diferente para os três, já o tempo de aplicação de corrente elétrica foi o mesmo, 40 segundos. As resistências à compressão para os três foi bem abaixo dos outros corpos de prova, fazendo uma média da mesma, identifica-se um valor de 15,86 Mpa, o menor valor encontrado, com uma perda de resistência de 14,72 Mpa ou 48,14%. Comparando com a média dos corpos de prova 01, 02 e 03, que tiveram uma corrente elétrica em um menor tempo, identifica-se que apesar dos corpos de prova 07, 08 e 09 terem uma corrente elétrica aplicada menor, o tempo de aplicação foi o dobro dos outros três corpos de prova. Nesse sentido, verifica-se que quanto maior o tempo de descarga elétrica, maior é a perda de resistência a compressão do concreto.

Ao correlacionar a resistência à compressão com a energia aplicada, identifica-se que no corpo de prova 9 obteve-se a maior energia, assim como a menor resistência à compressão observada. Podendo identificar que a perda de resistência está relacionada ao aumento de energia.

A partir da identificação da relação da resistência à compressão dos corpos de prova junto à corrente elétrica e ao tempo de aplicação da descarga elétrica, encontra-se o disposto na figura 5.

Figura 5 - Relação da resistência à compressão com a corrente elétrica e o tempo.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

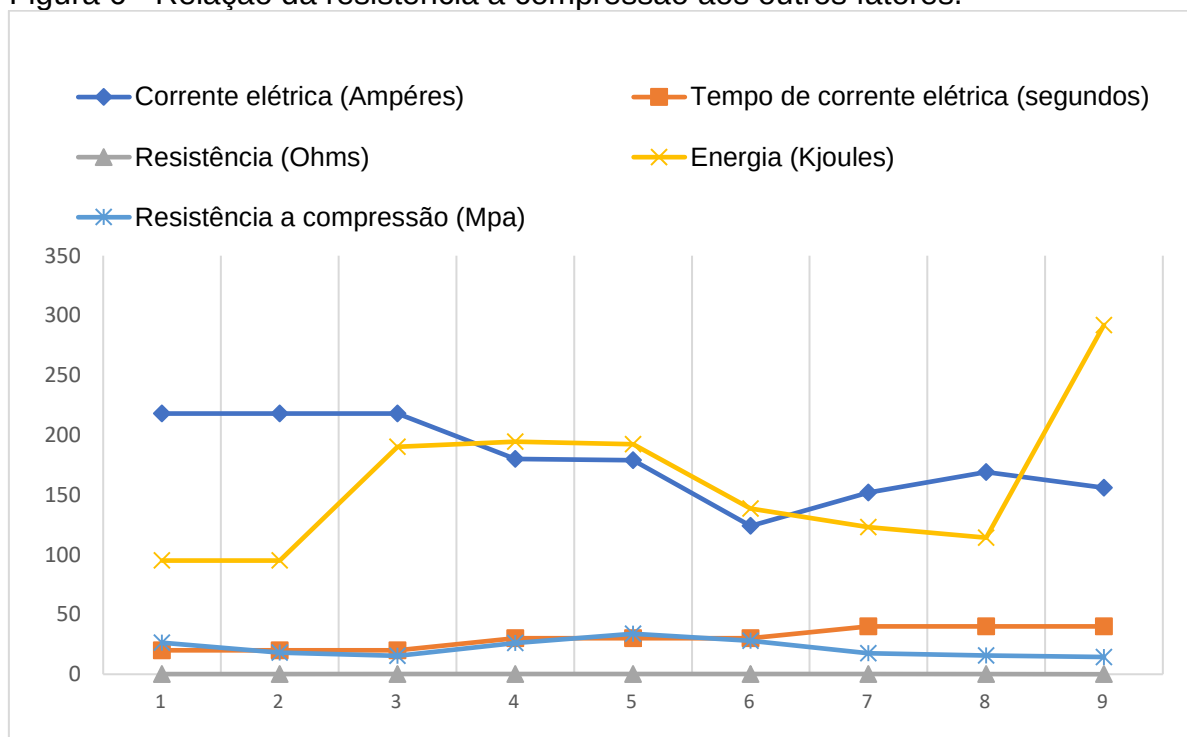
Após analisar os corpos de prova a partir de uma divisão de três grupos de três, divididos pelo tempo de corrente elétrica, verificou-se que a resistência à compressão diminui conforme aumenta o tempo de descarga elétrica.

A partir do disposto na figura 5, verifica-se que os corpos de prova 7, 8 e 9 foram os que tiveram as menores resistências à compressão, assim como os que tiveram o maior tempo de aplicação.

Verifica-se que os corpos de prova 1, 2 e 3 tiveram resistências à compressão menos variáveis que os 07, 08 e 09, entretanto não se tratam das maiores resistências, isso pode ser explicado em virtude de serem os corpos de prova com a maior aplicação de corrente elétrica.

Ao verificar a associação de todos os fatores para a diminuição da resistência à compressão do concreto, identifica-se o disposto na figura 6.

Figura 6 - Relação da resistência à compressão aos outros fatores.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Verifica-se que a resistência em Ohms não possui uma influência a ser observada pelo gráfico, em virtude do baixo valor. Ao analisar os outros fatores, identifica-se os corpos de prova 1, 2 e 3 a resistência à compressão foi decaindo, principalmente no de número 3, quando aumentou a energia e manteve o restante constante. Nos corpos de prova, 4, 5 e 6, obteve as maiores resistências à compressão, e apesar de aumentar a energia, diminuiu a corrente elétrica. Nos corpos de prova 7, 8 e 9, obteve as menores resistências à compressão, com o tempo constante e um aumento da corrente, além de um aumento da energia, onde quanto maior a energia, menor a resistência.

Chama atenção o corpo de prova número 9, onde obteve-se a maior energia aplicada e a menor resistência à compressão.

Apesar dos resultados variáveis, identifica-se que a resistência à compressão do concreto ao ser submetido à uma descarga elétrica é reduzida em relação à corrente elétrica, ao tempo de aplicação e à energia aplicada.

De um modo geral, verifica-se que a perda de resistência à compressão no concreto foi significativa, o que leva à percepção do perigo das descargas elétricas em edificações, ressaltando a importância de haver, portanto, um Sistema de Proteção a Descargas Atmosféricas (SPDA).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da pesquisa realizada, identificou-se que as descargas elétricas são totalmente prejudiciais às edificações.

Nos ensaios realizados, verifica-se que houve uma variação dos resultados, que pode estar relacionada ao método aplicado, onde as descargas elétricas foram aplicadas de modo improvisado, com características distintas em cada corpo de prova.

E apesar de haver uma variância significativa nos resultados, onde cada corpo de prova se comportou de uma maneira, é indiscutível a perda de resistência à compressão do concreto, associada à corrente elétrica, ao tempo de aplicação e à energia aplicada.

Sueta (2005) afirma que as descargas elétricas, ao atingir as edificações, podem causar a quebra/rompimento do concreto. Nesse sentido, em casos assim, há uma redução da resistência da estrutura. Entretanto, mesmo não havendo uma quebra do concreto, verifica-se que somente a aplicação da descarga elétrica na estrutura do concreto é suficiente para haver uma redução da resistência, e representar um risco à edificação.

Considerando que as edificações devem proporcionar segurança às pessoas, dispondo de resistência suficiente às tensões aplicadas, identifica-se que ao aplicar uma descarga elétrica, o concreto perde parte da sua resistência. Nesse sentido, verifica-se a fundamental importância de as edificações disporem do SPDA.

Frente ao exposto, sugere-se, para futuras pesquisas, uma investigação da perda de resistência do concreto a partir de uma aplicação de descarga elétrica constante e igual para todos os corpos de prova analisados, bem como uma verificação da resistência do aço, visto que não foi possível realizar essa investigação para a presente pesquisa, em virtude da falta de equipamento necessário.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. **Especialistas alertam para alta incidência de raios durante primavera.** São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-09/especialistas-alertam-para-alta-incidencia-de-raios-durante-primavera>>. Acesso em 21 abr. 2019.

ARAÚJO, Marcel Ayres de. **Projeto de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas para uma linha de transmissão de 69 kV**. Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-18112011-093114/publico/Araujo_Marcel_Ayres_de.pdf>. Acesso em 16 abr. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419:2015. Proteção de Estruturas contra descargas atmosféricas**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579: Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200) - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 65: Cimento Portland - Determinação do tempo de pega**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998. 39

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

BRASIL. **Brasil é líder mundial na incidência de raios por ano**. 2016. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/meio-ambiente/2016/10/brasil-e-lider-mundial-na-incidencia-de-raios-por-ano>>. Acesso em 21 abr. 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS MUNICÍPIOS. **Descargas elétricas: o Brasil é o país onde mais ocorrem raios no mundo**. 2018. Disponível em: <<https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/descargas-eletricas-o-brasil-e-o-pais-onde-mais-ocorre-raios-no-mundo>>. Acesso em 18 abr. 2019.

COUTINHO, Fernando Nominato; ALTOÉ, Cássio Alexandre. **Levantamento de estruturas que necessitam de SPDA na UnB e análise de seus efetivos sistemas de proteção.** Universidade de Brasília, Brasília, 2003. Disponível em: <<http://www.gsep.ene.unb.br/osem/leandro/PESQUISA/Projeto%20Final%20-%20REV3.pdf>>. Acesso em 18 abr. 2019.

REVISTA ECOLÓGICO NAS ESCOLAS. **Que raio foi esse?** Revista nº 53, 2018. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/elatMidia/arquivos/20180418141929Ecologico%20nas%20Escolas%20-%20Raios.pdf>>. Acesso em 21 abr. 2019.

RIBEIRO, Alessandra Germiniani; CARDOSO, Maíra Campos. **Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas: a avaliação de risco segundo a versão da norma ABNT NBR 5419 de maio de 2015.** Universidade Federal de Itajubá, 2016. Disponível em: <<https://saturno.unifei.edu.br/bim/20160081.pdf>>. Acesso em 15 abr. 2019.

SUETA, Hélio Eiji. **Uso de componentes naturais de edificações como parte integrante do sistema de proteção contra descargas atmosféricas – uma visão relativa aos danos físicos.** Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-15022006-172839/pt-br.php>>. Acesso em 18 abr. 2019.