

## Sistemas de alerta de tempestades elétricas: Um estudo de caso na Arena Pantanal

### RESUMO

O Brasil está entre os países com maior incidência de descargas atmosféricas no mundo. Em média são registrados anualmente entre 110 e 300 vítimas fatais de descargas atmosféricas. Este estudo apresenta inicialmente uma revisão de literatura sobre os mecanismos de danos por descargas atmosféricas. Posteriormente é apresentada uma metodologia de alertas para áreas abertas em momentos de probabilidade de ocorrência de descargas atmosféricas. Foi aplicada a norma NBR 16785:2019 na Arena Pantanal, que é um estádio construído para abrigar os jogos de futebol da Copa do Mundo de 2014. Foi realizada uma avaliação do local na Arena Pantanal, localizada em Cuiabá-MT, e determinada a necessidade de implementação de um Sistema de Alertas de Tempestades Elétricas (SATE).

**PALAVRAS-CHAVE:** ABNT NBR 16785. Proteção de descargas atmosféricas em áreas abertas. Descargas atmosféricas. Proteção de raios.

**Giovanni Henrique Garcia Ronchi**  
Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Mato Grosso.  
[giovannironchi.tmf@hotmail.com](mailto:giovannironchi.tmf@hotmail.com)

**Hélio Eiji Sueta**  
Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo.  
[sueta@iee.usp.br](mailto:sueta@iee.usp.br)

**Jobson Modena**  
Diretor da GUISMO Engenharia, São Paulo.  
[jobson.modena@gmail.com](mailto:jobson.modena@gmail.com)

**Danilo Ferreira de Souza**  
Professor na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) & Pesquisador no Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP).  
[danilo.ferreira.souza@hotmail.com](mailto:danilo.ferreira.souza@hotmail.com)

## INTRODUÇÃO

As descargas atmosféricas são uma das principais causas de mortalidade relacionada ao clima em todo o mundo. Nas últimas décadas, pode-se notar um aumento de descargas atmosféricas devido ao agravamento do aquecimento global (PRICE; RIND, 1994; ROMPS et al., 2014).

As descargas atmosféricas danificam edificações e interrompem atividades econômicas e sociais. Os setores afetados incluem hospitais; silvicultura; geração, transmissão e distribuição de energia elétrica; agricultura; telecomunicações; transporte, turismo e lazer (COOPER; HOLLE, 2019a; MILLS et al., 2010). Uma das perdas econômicas mais significativas no que diz respeito à indústria, é o tempo de inatividade. Algumas horas de inatividade da operação regular ou a perda de alguns dados cruciais armazenados nos sistemas de informação digital podem causar perdas econômicas de vários milhões de Reais (R\$) (RENNI; KRAUSMANN; COZZANI, 2010).

As descargas atmosféricas também causam perdas de vidas humanas direta e indiretamente, pois podem iniciar incêndios que podem transformar um edifício em cinzas, ferindo as pessoas que vivem ou se abrigam no seu interior (KADIR; COOPER; GOMES, 2017). Em alguns casos, as mortes são causadas indiretamente por descargas atmosféricas, como no caso dos incêndios florestais (KOSHAK et al., 2015).

O Brasil está entre os países com maior número de descargas atmosféricas no mundo. É o maior país em área tropical, sendo cortado pelo Equador e pelo trópico de Capricórnio (PINTO et al., 1999). A Associação Brasileira de Conscientização dos Perigos da Eletricidade - ABRACOPEL publica anualmente o Anuário Estatístico de Acidentes Elétricos, organizado a partir da coleta de dados em reportagens jornalísticas. Segundo a Abracopel, entre 2013 e 2020 foram registradas 273 vítimas de descargas atmosféricas no Brasil (DANILO et al., 2023; MARTINHO; SANTOS; DE SOUZA, 2022; MARTINHO; MARTINHO; SOUZA, 2022).

As fatalidades causadas por descargas atmosféricas no Brasil entre 2000 a 2009, foram estudadas por CARDOSO et al. (2014). Onde foram analisados um total de 1.321 casos de mortes por descargas atmosféricas, ou seja, uma média de 132 casos por ano. Considerando a população média do Brasil nesse período (180 milhões de pessoas), a taxa anual de óbitos foi de 0,8 por milhão. Segundo CARDOSO et al. (2014) Atividades recreativas ou esportivas, como pesca, camping e golfe, são as principais circunstâncias envolvidas nas mortes por raios nos EUA, enquanto no Brasil a maioria das fatalidades ocorre com pessoas que trabalham na área rural na agricultura.

De Souza et al. (2022) analisaram as mortes por descargas atmosféricas no Brasil entre 2010 e 2020 utilizando dados emitidos pelo Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATA-SUS). No período analisado foram observados 781 casos de mortes causados diretamente por descargas atmosféricas. Neste estudo, foi observado que aproximadamente 37% das mortes por raios ocorrem em locais completamente abertos. E outros 37,2% das mortes, ocorreram locais que não são especificados nas fichas de óbito.

Apesar dos diversos estudos existentes apresentado os elevados números de acidentes causados por descargas atmosféricas, para COOPER; HOLLE e ANDREWS, (2017) as lesões por descargas atmosféricas são subnotificadas. Pois não há

nenhuma exigência legal para relatar estes acidentes. Além disso, muitas pessoas não vão para o hospital nos casos em que não consideram a lesão grave. A maioria das vítimas de raios não precisaram de internação hospitalar, minimizando ainda mais a possível captura de dados pelos órgãos coletores de estatísticas de saúde.

Os acidentes causados por descargas atmosféricas podem ser descritos em seis grupos (COOPER; HOLLE, 2019b), conforme Tabela 1:

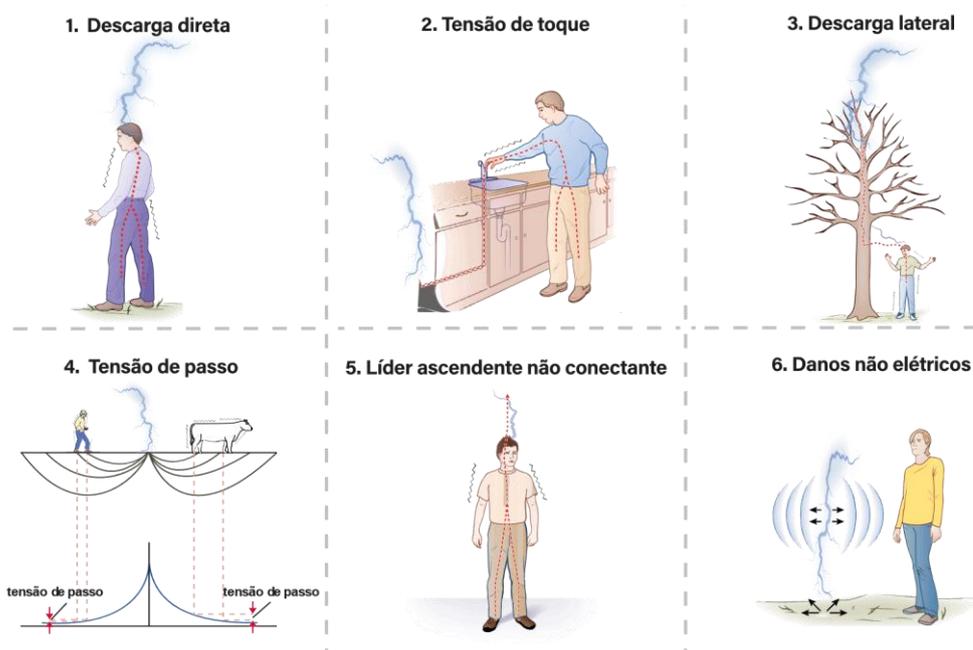
Tabela 1 - Mecanismos de danos por descargas atmosféricas

Tipos de mecanismos	Referências
1. Descarga direta: É o caso mais intuitivo, quando um indivíduo é atingido diretamente por um raio. Entretanto não é o mais comum, estima-se que apenas entre 3% e 5% das mortes por descargas atmosféricas sejam causadas por descargas diretas.	(COOPER, 2012; COORAY; COORAY; ANDREWS, 2007; LICHTENBERG et al., 1993; OKAFOR, 2005; SHIPMAN et al., 2020)
2. Tensão de toque: Ocorre quando a descarga atmosférica energiza algum elemento metálico e afeta alguém que está em contato direto com esta massa metálica. Estima-se que a lesão por tensão de toque corresponda aproximadamente entre 15% e 25% das mortes.	(ANDREWS, 1992; KOUMBOURLIS, 2002; RITENOUR et al., 2008).
3. Descarga lateral: Ocorre quando a descarga atmosférica atinge um objeto e uma parte da energia salta em formato de centelhamento para a vítima próxima para completar seu caminho até o solo. Estima-se que a lesão por descarga lateral represente entre 20% e 30% das mortes por descargas atmosféricas.	(ALYAN et al., 2006; EDLICH et al., 2005; FULDE; FULDE, 2015; JITSUIKI et al., 2020)
4. Tensão de Passo: Ocorre quando a descarga atmosférica atinge o solo ou uma estrutura metálica com pequena distância da vítima. A corrente da descarga se espalha pelo solo e forma linhas equipotenciais provocadas pela variação do campo magnético. Estima-se que a lesão por tensão de passo represente entre 40% e 50% das mortes por descargas atmosféricas.	(ANDERSON, 2001; BIER et al., 2005; COOPER, 2002; O'KEEFE GATEWOOD; ZANE, 2004);
5. Líder ascendente não conectante: Ocorre quando o campo elétrico da nuvem carregada provoca uma carga oposta em objetos próximos no solo. Mesmo sem realizar a conexão, o líder ascendente possui energia suficiente para ferir gravemente uma pessoa, ou até mesmo matar. Estima-se que tipo de fenômeno cause entre 10% e 15% das mortes por descargas atmosféricas.	(ANDERSON, 2001; BECERRA; COORAY, 2009; COOPER, 2002; CUMMINS et al., 2018)
6. Existem outros mecanismos não elétricos que podem causar ferimentos nas pessoas que experimentaram proximidades à uma descarga atmosférica. Como, por exemplo: a) os barotraumas que podem ocorrer quando a vítima está perto o suficiente do canal da descarga atmosférica e experimenta um brusco movimento de expansão do ar para fora, semelhante a uma explosão que pode ser suficiente para derrubá-la ou causar lesão de órgãos internos; b) Lesão por estilhaço ou projétil: uma vítima recebe trauma penetrante quando um impacto da descarga atmosférica em uma superfície lança estilhaços;	(BLUMENTHAL, 2012; BLUMENTHAL; WEST, 2015; COOPER et al., 2016)

Tipos de mecanismos	Referências
<p>c) Lesão contundente: ocorre quando a vítima é arremessada de uma distância por contração muscular induzida por uma descarga atmosférica.</p> <p>d) Efeito do campo eletromagnético diretamente nas pessoas, principalmente aquelas que utilizam marca-passo.</p>	

Os seis mecanismos de danos por descargas atmosféricas estão apresentados na Tabela 1, estão também ilustrados graficamente na Figura 1. Onde é possível observar no item (1.) A Descarga direta, no item (2.) a Tensão de toque, no item (3.) a Descarga lateral, no item (4.) Tensão de passo, no item (5.) a situação de Líder ascendente não conectante, e no item (6.) um dos possíveis exemplos de Danos não elétricos associados as descargas atmosféricas.

Figura 1 - Mecanismos de danos por descargas atmosféricas



Fonte: Adaptado de (COOPER et al., 2016)

Todos os mecanismos de danos podem ocorrer em áreas abertas ou semiabertas, como os casos dos estádios de futebol. A Tabela 2 apresenta alguns registros de casos de acidentes em áreas abertas com afluência de públicos envolvendo descargas atmosféricas.

Tabela 2 – Registros de acidentes em locais de afluência de público

Casos relatados	Referências
<p>Uma descarga atmosférica ocorreu durante uma partida de futebol em um estádio de Joanesburgo no dia 28 de outubro de 1988 às 16 horas e 30 minutos, ferindo vários jogadores, alguns gravemente. O principal mecanismo de ferimento foram os líderes ascendentes não conectantes.</p>	<p>(RB ANDERSON; IR JANDRELL; HE NEMATSWERANI, 2002)</p>

Casos relatados	Referências
Uma descarga atmosférica provocou danos em 12 pessoas, sendo 5 adultos e 7 adolescentes que estavam no parque Monte Whitney no final de julho de 2005.	(SPANNO et al., 2015)
Trinta e oito crianças jogando ou assistindo a um jogo de futebol foram vítimas de uma descarga atmosférica. O acidente ocorreu em uma tarde de sábado no início do outono de 1980. Os jogadores eram alunos da quinta e sextas séries de duas cidades do sul de Illinois - EUA.	(DOLLINGER, 1985)
Uma jovem que foi atingida por uma descarga atmosférica falava ao telefone celular enquanto estava em uma reunião sindical em um estádio de futebol ao ar livre.	(MILZMAN; MOSKOWITZ; HARDEL, 1999)
Foram apresentados casos de acidentes e mortes no futebol relatadas entre julho de 1990 a junho de 2010 nos Estados Unidos. Houve três mortes por descargas atmosféricas. Os acidentes ocorreram durante os treinos e em um durante o jogo. Duas mortes ocorreram no Texas e uma ocorreu na Flórida.	(BODEN et al., 2013)
Foram apresentados 21 eventos com 36 mortes e 248 lesões em doze diferentes países ocorridos em estádios de futebol. Também foram analisados 18 casos com 9 mortes e 95 lesões que foram coletadas de vítimas estavam envolvidas partidas de beisebol e softbol, seja na torcida, jogando ou trabalhando no estádio.	(HOLLE, 2003)
Descarga atmosférica fere seis pessoas e mata uma em estádio de futebol no Piauí. O fato ocorreu dia 15 de março de 2011 no município de Simões – PI.	(CAROLINE OLIVEIRA, 2011)
Árbitro de futebol morre após ser atingido por uma descarga atmosférica durante partida de futebol em Jatobá – PI. A fatalidade ocorreu em 12 de março de 2022.	(MOURA, 2022)
Em agosto de 1964, cinquenta mil pessoas estavam no estádio do Morumbi em São Paulo. Uma descarga atmosférica caiu no estádio, o que resultou num tumulto na saída dos torcedores do estádio. Um torcedor morreu pisoteado pelo pânico.	(GIESBRECHT, 2019)
Uma descarga atmosférica em campo de futebol matou uma pessoa e provocou lesões em outras 14 na cidade de Gravataí – RS.	(EGÍDIO, 2019)
Trinta pessoas ficaram feridas e onze jogadores morreram durante uma partida de futebol na República Democrática do Congo em outubro de 1998 devido a uma descarga atmosférica. O interessante é que os onze mortos eram todos do time visitante e nenhum jogador do time da casa foi a óbito. Houve desconfiança de bruxaria ou atentado político (havia uma guerra civil ainda não bem resolvida no país), mas deve ter sido o fato que todos os jogadores que morreram estavam com chuteiras com travas metálicas e os demais não.	(TANNER, 1998)

Relatar todos os acidentes ocorridos em estádios seria demasiado para um estudo. Assim, a Tabela 2 apresenta apenas alguns registros para demonstrar os riscos envolvidos nas situações de afluência de públicos. Um elemento de destaque nas análises realizadas, é que além dos seis mecanismos descritos na Tabela 1 e apresentados na Figura 1, um sétimo mecanismo pode ser considerado se analisadas as mortes causadas pelo pânico na evacuação das áreas com afluência de público, como no caso relatado por Giesbrecht (2019)

Para Gratz e Noble (2006), a falta de políticas específicas que abordem a segurança contra raios em grandes estádios podem ser decorrente de suposições inadequadas dos gestores do evento, e mais recentemente, dos construtores dos estádios. Especialmente, os gestores de grandes eventos podem assumir que não podem proteger suas instalações contra raios e que a evacuação de uma instalação inteira não é uma resposta razoável à ameaça. Ao contrário dessas suposições, as medidas para proteger uma instalação e seus ocupantes são bastante baratas em comparação com o custo de grandes projetos de construção, talvez tão baixos quanto dezenas de milhares de dólares para um grande estádio.

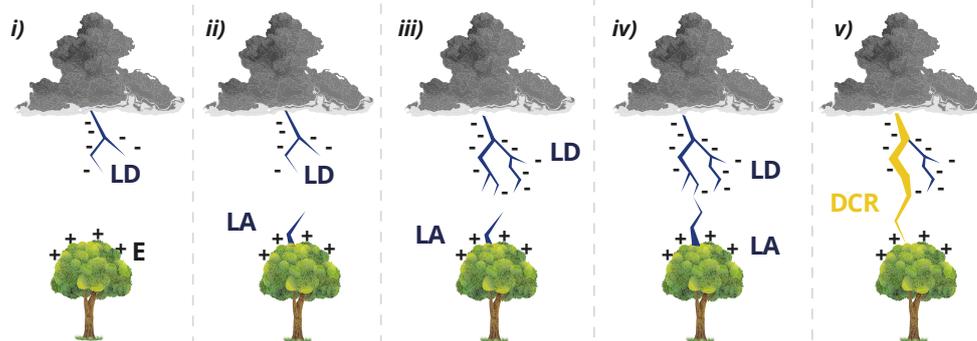
Considerando que o Brasil é um dos países que mais possui descargas atmosféricas do mundo; considerando que as descargas atmosféricas tendem a aumentar devido ao agravamento do aquecimento global; considerando que o número de estádios e o público dos grandes eventos está aumentando; considerando que além dos seis mecanismos de danos por descargas atmosféricas propostos, no caso dos estádios, o pânico pode ser considerado o sétimo mecanismo; este estudo apresenta uma metodologia para avaliação e implementação de um Sistema de Alerta de Tempestades Elétricas na Arena Pantanal localizado em Cuiabá – MT, para evitar os acidentes causados por descargas atmosféricas no estádio e no seu entorno imediato.

## **METODOLOGIA**

A proteção de uma estrutura e dos seus equipamentos elétricos é realizada pela aplicação dos quatro cadernos da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 5419 (2015a, 2015b, 2015c, 2015d). Para evitar acidentes com pessoas em áreas abertas, deve ser aplicada a norma NBR 16785 (2019), que possui como referência principal a IEC 62793 (2016). A NBR 16785 (2019) foi publicada pela primeira vez no Brasil em 2019, e fornece informações sobre as características dos Sistemas de Alerta de Tempestades Elétricas (SATE) aplicáveis à obtenção de dados em tempo real sobre as descargas atmosféricas e/ou sobre a eletrização das nuvens. Tais dispositivos têm sofrido intenso desenvolvimento tecnológico e estão disponíveis em diferentes tecnologias. Um deles é o de alerta antecipado, que permite avisar pessoas que se encontram em locais abertos do risco próximo de ocorrência de descargas atmosféricas, a tempo suficiente para que elas, cumprindo correto procedimento de evacuação, se dirijam a abrigos adequados.

A formação das descargas atmosféricas nuvem-solo se inicia quando o campo elétrico é suficientemente intenso para que, a nuvem comece a descarregar cargas elétricas para a terra. O caminho que a descarga percorre pode ser explicado resumidamente em 5 etapas: *i*) formação de um Líder Descendente (LD) e eletrização (E) das regiões mais altas do solo, *ii*) formação de um Líder Ascendente (LA), *iii*) redução da distância de atração pela aceleração principalmente do Líder Descendente (LD), *iv*) conexão entre os líderes e *v*) ocorrência da Descarga com Corrente de Retorno (DCR), conforme Figura 2.

Figura 2 - As cinco etapas principais de uma descarga atmosférica



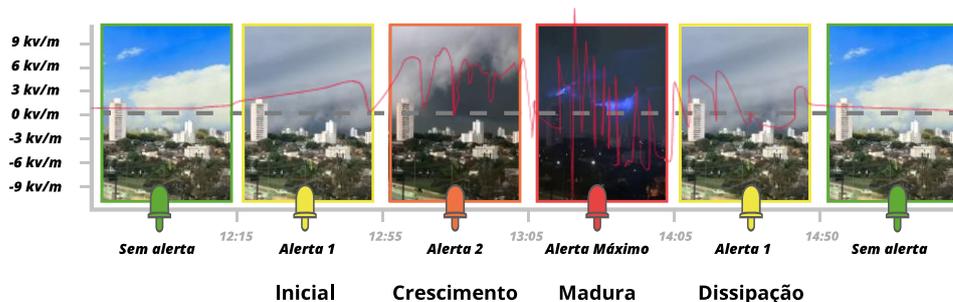
Fonte: Adaptado de (RAKOV et al., 2001)

Durante a descarga atmosférica é possível medir o campo magnético, este inclusive é um dos principais mecanismos que os sensores de localização de descargas utilizam. Entretanto, o importante é saber que uma descarga poderá ocorrer, e para esta situação, se faz importante medir o campo elétrico formado pela eletrização por atrito da massa da nuvem.

Uma tempestade pode ser dividida de forma resumida em seis etapas. Conforme Figura 3, pode-se observar:

- Fase zero (0), onde estão inalteradas as condições do local estudado;
- Fase inicial (1) onde ocorre a eletrificação da nuvem por meio de separação de cargas elétricas ou a aproximação de uma nuvem já carregada. As cargas são distribuídas em regiões dentro da nuvem e produzem um campo elétrico que pode ser medido no nível do solo;
- Fase de crescimento (2), onde as primeiras descargas intranuvem aparecem como desenvolvimento da separação de cargas em certas regiões da nuvem;
- Fase madura (3), atividade máxima de descargas atmosféricas intranuvem e/ou nuvem terra, caracteriza-se pela presença de ambas as descargas atmosféricas intranuvem e nuvem terra;
- Fase de dissipação (4) é caracterizada pela redução do campo elétrico para níveis existentes quando há ausência de nuvens eletrificadas;
- Fase de pós tempestade (5) é caracterizada pela existência mínima de campo elétrico. Pode ser comparada à Fase 0.

Figura 3 - Variação do campo elétrico nas diversas fases da tempestade



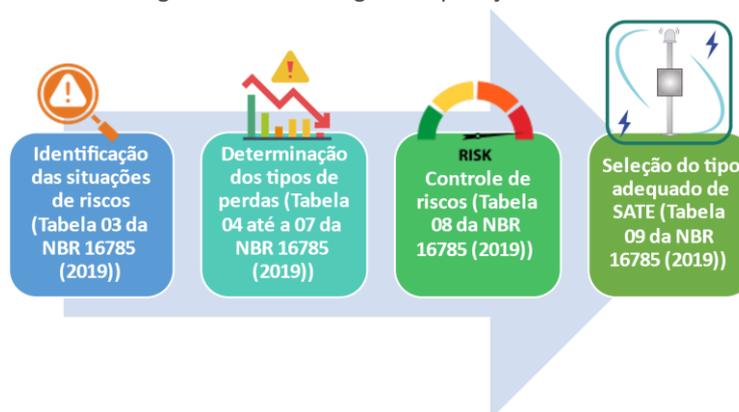
Em locais com afluência e aglomeração de pessoas, como o exemplo dos estádios de futebol, são estruturas amplas, com partes abertas onde uma descarga atmosférica pode provocar lesão ou morte de pessoas pelos sete mecanismos

descritos. Ao monitorar as etapas da formação de uma tempestade, é possível emitir alertas para movimentar as pessoas para locais seguros de acordo com um plano de ação pré-estabelecido. Assim, foi aplicada a NBR 16785 (2019) para implementação de um Sistema de Alerta de Tempestades Elétricas – SATE.

O SATE consiste em um sistema composto por detectores da atividade de tempestades elétricas, capaz de monitorar a atividade em uma área determinada e, por meio de sensores de campo elétrico e magnético, posteriormente processar os dados obtidos, com a finalidade de emitir alerta válido relacionado aos eventos associados à probabilidade de ocorrência de descargas atmosféricas em uma área-alvo estabelecida.

Para a determinação da necessidade de aplicação de um SATE, foi realizada a análise de risco com procedimentos de avaliação da situação de tempestades elétricas em quatro procedimentos, conforme Figura 4.

Figura 4 - Metodologia de Aplicação do SATE



Fonte: Adaptado de NBR 16785 (2019)

- Etapa 1 - Identificação das situações de risco das condições do local a partir das possibilidades apresentadas na norma ABNT NBR 16785:2019;
- Etapa 2 - Determinação dos tipos de possibilidades de danos: pessoas, bens, serviços, e ao ambiente;
- Etapa 3 - Controle de risco – Aplicação das etapas 1 e 2 para avaliar a necessidade de seleção, implementação e monitoramento de medidas adequadas para o controle e redução do risco via um SATE.
- Etapa 4 - Seleção da tecnologia adequada de um SATE para a referida aplicação em análise.

A Arena Pantanal é um centro de eventos esportivos e cultural, localizado na cidade de Cuiabá, no estado de Mato Grosso - Brasil. O estádio tem capacidade para 41.112 pessoas, onde existe elevado fluxo nos momentos de jogos nas suas áreas abertas, bem como, no seu gramado (LIMA, 2021). A Figura 5 apresenta a imagem de projeto da Arena Pantanal e o seu entorno, que até o momento da escrita do trabalho não foi completamente finalizada.

Figura 5 - Projeto completo da Arena Pantanal



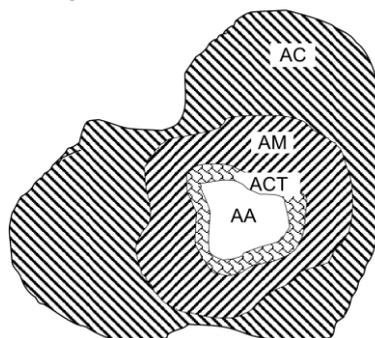
Fonte: Adaptado de (COSTA, 2021)

No momento da escrita deste trabalho (2022) não foram localizadas publicações sobre a aplicação da NBR 16785 (2019). E por este motivo, toda a etapa de avaliação e dimensionamento do SATE foi considerado como um resultado do trabalho, e na metodologia foram apresentadas as premissas utilizadas e as etapas do dimensionamento.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi definida como área alvo a Arena Pantanal e o seu entorno. Pois nas redondezas da Arena estão previstas a realização de atividades esportivas e artísticas. A NBR 16785 necessita da classificação de quatro diferentes áreas para a construção da análise, conforme ilustra a Figura 6.

Figura 6 - Delimitações das Áreas a Serem Monitoradas



Fonte: ABNT NBR 16785 (2019)

Segue as definições das áreas a serem delimitadas:

**Área-Alvo (AA):** é uma área geográfica de referência necessária a um sistema de alerta para facilitar a tomada de decisões e ações preventivas antes que ali ocorra um Evento Relacionado ao Raio (ERR).

**Área de Contorno (ACT):** área geográfica que circunda e inclui a área-alvo de monitoramento. Esta área é utilizada para avaliar um sistema de alerta de

tempestades elétricas quanto à taxa de alarmes falsos e em outros parâmetros de desempenho.

Área de Monitoramento (AM): área geográfica onde a atividade de descarga atmosférica ou outros parâmetros associados a tempestades elétricas são monitorados a fim de oferecer um alarme para a área-alvo.

Área de Cobertura (AC): área onde um dado equipamento de alarme possui suficiente eficiência de detecção e/ou precisão para emitir um alarme.

Conforme o fluxo apresentado na Figura 4, foram realizados quatro procedimentos para a determinação da necessidade de aplicação de um SATE.

#### 1º Passo – Identificação das Situações de Risco

Conforme as possibilidades contidas na tabela NBR 16785 (2019), na Tabela 3 deste estudo, é necessário identificar uma situação mais adequada para classificar o que se encontra na área alvo em que se deseja proteger

Tabela 3 - Identificação de Situações Perigosas

Número	Descrição da Situação
1	Pessoas em áreas abertas sem abrigo apropriado contra descargas atmosféricas, de acordo com a série ABNT NBR 5419 ou outros documentos IEC. Atividades externas, esportes, competições, eventos com agrupamento de grande número de pessoas, agricultura, pesca, pecuária, praias, áreas de convivência e lazer.
2	Proteção de bens sensíveis: sistemas microprocessados ou sistemas elétricos, ou eletrônicos dotados de duas ou mais linhas elétricas (de energia ou sinal).
3	Perdas em operações e processos industriais.
4	Estruturas contendo substâncias perigosas (inflamáveis, radioativas, tóxicas ou explosivas).
5	Serviços básicos, onde a qualidade do fornecimento ou o pronto restabelecimento de operação devem ser garantidos (sinais, geração, transmissão e distribuição de energia, serviços sanitários ou emergenciais).
6	Infraestruturas: portos, aeroportos, ferrovias, rodovias, autoestradas e teleféricos.
7	Segurança no local de trabalho (atividades que impliquem risco em locais de trabalho durante as tempestades elétricas).
8	Zonas que necessitam de proteção civil ou ambiental: prevenção de incêndios em florestas etc.
9	Construções, transporte ou indústrias cujo funcionamento necessite de pessoas na área externa.
10	Outras situações.

Fonte: ABNT NBR 16785 (2019)

#### 2º Passo – Determinação do Tipo de Perda:

Para cada uma das situações selecionado na Tabela 3, deve-se posteriormente avaliar as diferentes perdas relacionadas a pessoas (Tabela 4), bens (Tabela 5),

serviços (Tabela 6) e ambiente (Tabela 7) para determinar a categoria da perda A, B, C ou -.

Tabela 4 - Perdas relacionadas a pessoas

Perdas	Categoria da Perda
Perda de vida humana	A
Ferimento grave em pessoas	B
Ferimentos pequenos em pessoas	C
Nenhum ferimento	-

Fonte: ABNT NBR 16785 (2019)

Tabela 5 - Perdas relacionadas a bens

Perdas	Categoria da Perda
Perda de bens valiosos	A
Perda de bens comuns	B
Perdas de bens de pequeno valor	C
Nenhuma perda	-

Fonte: ABNT NBR 16785 (2019)

Tabela 6 - Perdas relacionadas a serviços

Perdas	Categoria da Perda
Perda de serviços valiosos	A
Perda de serviços comuns	B
Perdas pequenas de serviços	C
Nenhuma perda	-

Fonte: ABNT NBR 16785 (2019)

Tabela 7 - Perdas relacionadas ao ambiente

Perdas	Categoria da Perda
Desastre ambiental	A
Dano ao ambiente	B
Pequeno dano ao ambiente	C
Nenhuma perda	-

Fonte: ABNT NBR 16785 (2019)

### 3º Passo – Controle do Risco:

Cada situação possível da Tabela 3 posteriormente classificada pelo analista conforme o tipo de perda contido nas Tabelas 4 a 7 direcionam para um grau de necessidade adequado de SATE (Tabela 8).

Tabela 8 - Controle do risco

Peso das Perdas (Tabelas 4 a 7)	Implantação de um SATE
A	Extremo
B	Alto
C	Médio

Peso das Perdas (Tabelas 4 a 7)	Implantação de um SATE
-	Baixo

Fonte: ABNT NBR 16785 (2019)

4º Passo – Seleção do Tipo de Sistema de Alerta de Tempestades Elétricas (SATE):

Para a seleção correta de um SATE, é necessário especificar o tempo necessário para tomar a ação preventiva a ser tomada tanto para tempestades elétricas formando-se sobre a área-alvo, quanto para aquelas que se aproximam desta área. A correta seleção do SATE deve estar fundamentada no tempo necessário e suficiente para a tomada da ação preventiva de acordo com as necessidades da situação. A Tabela 9 apresenta os tipos de sistema de alerta de tempestades elétricas correlacionando com a cobertura das etapas de tempestade definidas na Figura 3.

Tabela 9 - Seleção do tipo de sistema de alerta de tempestades elétricas

Necessidades do Usuário	Implantação de um SATE
Alertar sobre tempestades elétricas que se formam sobre a área-alvo (Fase 1)	DCE <sup>a</sup>
Alerta sobre tempestades elétricas em crescimento que se aproximam da área-alvo (Fase 2) <sup>b</sup>	DCE, DEM23
Alerta sobre tempestades elétricas maduras que se aproximam da área de monitoramento (Fase 3)	DCE, DEM, DEM3
Alertar sobre tempestades elétricas em fase de dissipação sobre a área-alvo (Fase 4)	DCE
Interesse meteorológico amador	DEM3L
<sup>a</sup> Dentro deste tipo de detectores, a seleção da tecnologia a ser utilizada pode ser determinada pelos requisitos de manutenção. <sup>b</sup> Em algumas situações não existem diferenças de tempo claro em ler a primeira descarga intranuvem e nuvem-terra.	

Fonte: ABNT NBR 16785 (2019)

No caso em análise, a área alvo especificada é a Arena Pantanal e o seu entorno imediato, conforme ilustra Figura 7.

Figura 7 - Delimitações da Área-Alvo (AA)



Fonte: Dos autores

Foi realizada a aplicação das quatro etapas para a análise do caso da Arena Pantanal.

1º Passo: Identificação de situações perigosas; identificar uma ou mais situações de perigo entre as diferentes possibilidades da Tabela 3;

2º Passo: Determinação dos tipos de perdas; para cada situação selecionada na Tabela 3, avaliação das diferentes perdas relacionadas a pessoas, bens, serviços e ambiente para determinar a categoria da perda;

3º Passo: Controle de risco; considerando o tempo suficiente para que sejam iniciadas as ações necessárias; posteriormente foi determinado uma tecnologia de SATE adequada para o caso em questão, conforme Tabelas 8 e 9.

Tabela 10 – Configuração final dos quatro tipos de perdas

Número	Descrição da Situação	Tab. 4	Tab. 5	Tab. 6	Tab. 7	Necessidade
		Pessoas	Bens	Serviços	Ambiente	
1	Pessoas em áreas abertas sem abrigo apropriado contra descargas atmosféricas, de acordo com a série ABNT NBR 5419 ou outros documentos IEC, Atividades externas, esportes, competições, eventos com agrupamento de grande número de pessoas, agricultura, pesca, pecuária, praias, áreas de convivência e lazer.	A	C	C	-	Extremo
2	Proteção de bens sensíveis: sistemas microprocessados ou sistemas elétricos, ou eletrônicos dotados de duas ou mais linhas elétricas (de energia ou sinal).	C	A	C	-	Extremo
5	Serviços básicos, onde a qualidade do fornecimento ou o pronto restabelecimento de operação devem ser garantidos (sinais, geração, transmissão e distribuição de energia, serviços sanitários ou emergenciais).	B	A	A	C	Extremo

Fonte: Dos autores

No caso da Arena Pantanal, é importante realizar o monitoramento em todas as etapas da tempestade, dado a capacidade de elevado número de pessoas dentro e no entorno do complexo. Portanto, deverá ser utilizado um detector DCE para cobrir as 4 fases de detecção, ainda para melhorar o desempenho pode-se utilizar o DEM23 para auxiliar nas fases 2 e 3.

#### Ações Preventivas

Possíveis ações preventivas podem ser tomadas a partir da identificação das tempestades elétricas. A principal delas é a construção de um plano de ação detalhado envolvendo o projetista e o operador do complexo.

Existe uma grande variedade de situações e instalações que podem precisar da implantação de um sistema de alerta de tempestades elétricas. Desta forma, recomenda-se que as ações preventivas, tomadas a partir da análise resultante da informação fornecida por este sistema e pelo usuário final sejam determinadas pelo projetista responsável pela implantação.

Decisões ou ações preventivas podem envolver ações (automáticas, manuais etc.) direcionadas para seus próprios processos. Estas ações devem ter um aumento gradativo dependendo da severidade da tempestade elétrica, o que determina o nível de ativação a ser utilizado pelo sistema de alerta de tempestades elétricas. No caso da Arena Pantanal, as seguintes ações podem ser tomadas:

Nível de alerta nulo:

a) Operação normal na área-alvo.

Nível 1 – Alerta:

a) ações primárias preventivas, consistindo em dados informativos, como mensagens visuais ou acústicas etc. Alertando a plateia e as pessoas no entorno, da possibilidade de formação de chuva com raios;

b) grupos geradores de energia elétrica, e demais sistemas auxiliares podem ser ativados;

c) não iniciar as atividades planejadas nas áreas abertas (entorno da Arena Pantanal e no seu gramado).

Nível 2 – Emergência:

a) ações preventivas secundárias, como emissão de alerta visual nos telões e auditivo em sistema de sonorização da Arena Pantanal são emitidos. Os colaboradores treinados informam os espectadores sobre a ação para cada grupo;

b) sistemas de potência auxiliar podem ser operados;

c) sistemas críticos ou sensíveis podem ser desconectados e a operação pode ser ilhada;

d) direcionamento de pessoas das áreas abertas para regiões protegidas sem gerar pânico, a partir das ações já treinadas com os colaboradores em ações simuladas;

e) verificação da realização efetiva das ações anteriores;

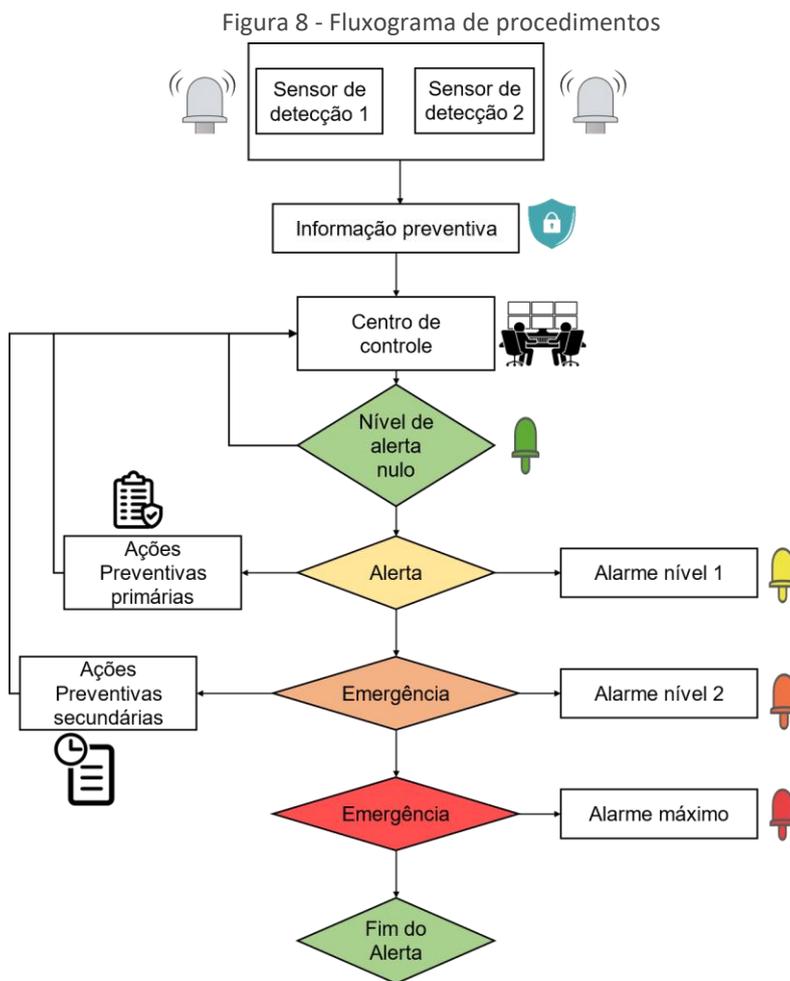
f) acompanhamento da evolução da atividade de tempestades elétricas;

Nível 3 – Fim do alerta:

a) volta da operação normal da área-alvo.

b) no caso da ocorrência de um evento relacionado ao raio, inspecionar o estado do sistema de alerta de tempestades elétricas, inclusive verificando se há necessidade de nova calibração.

Uma proposta de procedimento simplificado pode ser resumida conforme o fluxograma da Figura 8.



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 16785 (2019)

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

No caso brasileiro, a população não está acostumada com os alertas de emergências, como no caso dos Estados Unidos, onde riscos naturais como tornados, furacões e terremotos recebem cobertura da mídia de massa e emissão de alertas padronizados. No caso das descargas atmosféricas, a natureza isolada dos acidentes dificulta ainda mais o desenvolvimento da cultura dos alertas para situações afins.

A maioria dos espectadores supõe (corretamente) que a chance de uma descarga atmosférica ocorrer no estádio durante o jogo é bastante baixa. Com este

pressuposto, os espectadores entram no estádio e tendem a ignorar qualquer aviso de risco com trovoadas.

Sem um procedimento bem planejado e informado para movimentação para local seguro quando da ocorrência de descargas atmosféricas, o movimento descontrolado de uma multidão (pânico) tentando buscar abrigo tem o potencial de ferir muito mais pessoas do que as poucas que poderiam sofrer danos em função de um raio.

Os aplicativos de celular com alertas meteorológicos ativados via função de GPS, podem ser ferramenta importante de familiarização e convencimento das pessoas fortalecendo os aletas emitidos pelo SATE.

O SATE não substitui a PDA, complementa-a. Ao fornecer informações em tempo real sobre a atividade elétrica da atmosfera, o SATE proporciona condições de melhor avaliação para a tomada de decisões relacionadas à prevenção.

Reforça-se nesta pesquisa, que é responsabilidade da administração do estádio monitorar qualquer atividade de possível descarga atmosférica no entorno do espaço.

As tecnologias apresentadas na NBR 16785 consistem, de modo geral, em sensores que medem o campo elétrico atmosférico gerado por sistemas convectivos e, através das variações desse campo, identificam a aproximação e/ou formação de uma tempestade elétrica na área alvo. Neste sistema, o monitoramento e a previsão de descargas atmosféricas ocorrem de forma indireta pois os alertas são emitidos quando há intensificação gradativa do campo elétrico na superfície em função da eletrificação da nuvem de tempestade que se encontra próxima do local. Os dados destes sensores variam em função das condições locais, ou seja, basicamente devido à umidade do ar, ocorrência de vento, concentração de poluentes na atmosfera e intensidade da radiação solar incidente. Isso faz com que o monitoramento possa ser prejudicado possibilitando a emissão de falsos alertas.

Desta forma, a viabilidade de se usar estes sensores combinados com outras fontes de dados podem aperfeiçoar o monitoramento existente.

Um sistema de monitoramento ideal requer uma equipe treinada, especializada e dedicada exclusivamente, além de contar com fontes de dados precisas, como redes de detecção de descargas atmosféricas, imagens de radares de alta resolução, imagens de satélite, modelos numéricos de previsão com alta resolução, observações realizadas na superfície (estações meteorológicas) e em altitude (radiossondagens atmosféricas). De maneira que, o ideal é um serviço de monitoramento especializado (utilizando múltiplas fontes de dados e equipe altamente qualificada), para oferecer uma ferramenta de apoio que garanta efetivamente a proteção de pessoas em atividades a céu aberto.

### Sugestões para trabalhos futuros

- Fazer a avaliação econômica mais detalhada dos SATEs presentes disponíveis no mercado para a implementação deste estudo;
- Estabelecer um plano de ação específico e completo com as particularidades da Arena Pantanal;

- Fazer o estudo determinando os locais adequados de fixação dos sensores e construir um critério de análise de desempenho da área monitorada, visando a otimização operação para redução de alarmes falsos.

## Electrical storm warning systems: A case study at Arena Pantanal

### ABSTRACT

Brazil is the country with the highest incidence of lightning in the world. On average, between 110 and 300 fatal lightning victims are recorded annually. This study initially presents a literature review on the damage mechanisms caused by lightning strikes. Subsequently, a methodology of alerts for open areas is presented in moments of the probability of lightning strikes. The NBR 16785:2019 standard was applied at the Arena Pantanal, a stadium built to host the 2014 World Cup football matches, to implement an Electrical Storm Alert System (SATE).

**KEYWORDS:** ABNT NBR 16785. Lightning protection in open areas. Lightning. Lightning protection.

## REFERÊNCIAS

- ALYAN, O. et al. Myocardial injury due to lightning strike: A case report. **Angiology**, v. 57, n. 2, p. 219–223, Mar. 2006.
- ANDERSON, R. B. Does a fifth mechanism exist to explain lightning injuries? Investigating a possible new pathway of current to determine the cause of injuries related to close lightning flashes. **IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine**, v. 20, n. 1, p. 105–113, 2001.
- ANDREWS, C. J. Telephone-related lightning injury. **Medical Journal of Australia**, v. 157, n. 11, p. 823–826, 1 Dec. 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5419-1. Proteção contra descargas atmosféricas. Parte 1: Princípios gerais.** Rio de Janeiro, 2015a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5419-2. Proteção contra descargas atmosféricas. Parte 2: Gerenciamento de risco** Rio de Janeiro, 2015b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5419-3. Proteção contra descargas atmosféricas. Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida** Rio de Janeiro, 2015c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5419-4. Proteção contra descargas atmosféricas. Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura** Rio de Janeiro, 2015d.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16785 - Proteção contra descargas atmosféricas — Sistemas de alerta de tempestades elétricas** Rio de Janeiro, 2019.
- BECERRA, M.; COORAY, V. On the interaction of lightning upward connecting positive leaders with humans. **IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility**, v. 51, n. 4, p. 1001–1008, Nov. 2009.
- BIER, M. et al. Biophysical injury mechanisms associated with lightning injury. **NeuroRehabilitation**, v. 20, n. 1, p. 53–62, 2005.
- BLUMENTHAL, R. Secondary missile injury from lightning strike. **American Journal of Forensic Medicine and Pathology**, v. 33, n. 1, p. 83–85, Mar. 2012.
- BLUMENTHAL, R.; WEST, N. J. Investigating the risk of lightning's pressure blast wave. **South African Journal of Science**, v. 111, n. 3–4, p. 1–5, 1 Mar. 2015.
- BODEN, B. P. et al. Fatalities in high school and college football players. **American Journal of Sports Medicine**, v. 41, n. 5, p. 1108–1116, 11 May 2013.
- CARDOSO, I. et al. Lightning casualty demographics in Brazil and their implications for safety rules. **Atmospheric Research**, v. 135–136, p. 374–379, 1 Jan. 2014.
- CAROLINE OLIVEIRA. **Raio derruba seis e mata jovem em estádio de futebol no Piauí.** Disponível em: <<https://cidadeverde.com/noticias/74640/raio-derruba-seis-e-mata-jovem-em-estadio-de-futebol-no-piaui>>. Acesso em: 14 dec. 2022.
- COOPER, M. A. A Fifth Mechanism of Lightning Injury. **Academic Emergency Medicine**, v. 9, n. 2, p. 172–174, 1 Feb. 2002.
- COOPER, M. A. Whether the medical aspects of lightning injury are different in

developing countries. **2012 31st International Conference on Lightning Protection, ICLP 2012**, 2012.

COOPER, M. A.; HOLLE, R. L. Economic Damages of Lightning. p. 51–62, 2019a.

COOPER, M. A.; HOLLE, R. L. Mechanisms of Lightning Injury. p. 5–12, 2019b.

COOPER, M. A.; HOLLE, R. L.; ANDREWS, C. J. Distribution of lightning injury mechanisms. **2010 30th International Conference on Lightning Protection, ICLP 2010**, 7 Feb. 2017.

COOPER, M. A. N. N. et al. Lightning-Related Injuries and Safety. In: **Auerbach's Wilderness Medicine, 2-Volume Set**. Seventh Ed ed. [s.l.] Elsevier Inc., 2016. p. 71-117.e7.

COORAY, V.; COORAY, C.; ANDREWS, C. J. Lightning caused injuries in humans. **Journal of Electrostatics**, v. 65, n. 5–6, p. 386–394, 1 May 2007.

COSTA, E. **Arena Pantanal: conheça o palco de Copa do Mundo e da estreia do Juventude**. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/pioneiro/esportes/noticia/2021/05/arena-pantanal-conheca-o-palco-de-copa-do-mundo-e-da-estrela-do-juventude-ckp8laf8g006a018mpe2qfzvr.html>>. Acesso em: 12 nov. 2022.

CUMMINS, K. L. et al. A case study of lightning attachment to flat ground showing multiple unconnected upward leaders. **Atmospheric Research**, v. 202, p. 169–174, 1 Apr. 2018.

DANILO, F. DE S. et al. An Analysis of Accidents of Electrical Origin in Brazil Between 2016 and 2021. **IEEE Transactions on Industry Applications**, p. 1–11, 2023.

DE SOUZA, D. F. et al. An analysis of lightning deaths in Brazil 2010-2020. **ICLP 2022 - 36th International Conference on Lightning Protection**, p. 643–647, 2022.

DOLLINGER, S. J. Lightning-strike disaster among children. **British Journal of Medical Psychology**, v. 58, n. 4, p. 375–383, 1985.

EDLICH, R. F. et al. Modern concepts of treatment and prevention of lightning injuries. **Journal of Long-Term Effects of Medical Implants**, v. 15, n. 2, p. 185–196, 2005.

EGÍDIO, P. **“A impressão era que todos tinham morrido”, diz homem que viu queda de raio em campo de futebol de Gravataí**. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/porto-alegre/noticia/2019/10/a-impressao-era-que-todos-tinham-morrindo-diz-homem-que-viu-queda-de-raio-em-campo-de-futebol-de-gravatai-ck2999mrs0a3701r28uht8k96.html>>.

FULDE, S.; FULDE, G. **A lightning strike victim** *Medicine Today* *Medicine Today Pty Ltd*, , 1 Jun. 2015.

GIESBRECHT, A. **Pânico e morte no Morumbi**. Disponível em: <<https://jogosdosaopaulo.com.br/panico-morte-morumbi-ba52e5da3fd5>>. Acesso em: 6 dec. 2022.

GRATZ, J.; NOBLE, E. Lightning safety and large stadiums. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 87, n. 9, p. 1187–1194, Sep. 2006.

HOLLE, R. L. Activities and Locations of Recreation Deaths and Injuries from Lightning. **Preprints, International Conference on Lightning and Static Electricity**,

n. February, p. 6, 2003.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION - IEC. **IEC 62793:2016 - Protection against lightning - Thunderstorm warning systems** Geneva - Switzerland, 2016.

JITSUIKI, K. et al. Lightning Injury Caused by a Side Flash. **American Journal of Medical Case Reports**, v. 8, n. 12, p. 538–540, 2020.

KADIR, M. Z. A. A.; COOPER, M. A.; GOMES, C. **An overview of the global statistics on lightning fatalities**. 2010 30th International Conference on Lightning Protection, ICLP 2010. **Anais...IEEE**, Sep. 2017 Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7845882/>>. Acesso em: 19 aug. 2021

KOSHAK, W. J. et al. Variability of CONUS Lightning in 2003–12 and Associated Impacts. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 54, n. 1, p. 15–41, 1 Jan. 2015.

KOUMBOURLIS, A. C. Electrical injuries. **Critical Care Medicine**, v. 30, n. 11 SUPPL., 1 Nov. 2002.

LICHTENBERG, R. et al. Cardiovascular effects of lightning strikes. **Journal of the American College of Cardiology**, v. 21, n. 2, p. 531–536, 1 Feb. 1993.

LIMA, F. C. DE. **DO VERDÃO À ARENA PANTANAL: TRAMAS IDENTITÁRIAS NAS OCORRÊNCIAS CULTURAIS E ARQUITETÔNICAS DO FUTEBOL MATO-GROSSENSE** (EdUFMT, Ed.) Cuiabá, 2021.

MARTINHO, E.; SANTOS, S. R.; DE SOUZA, D. F. **Accidents of Electrical Origin, a Detailed Analysis of Statistics. Brazil Compared to Other Countries**. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 4 Nov. 2022

MARTINHO, M. B.; MARTINHO, E.; SOUZA, D. F. DE. ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ACIDENTES DE ORIGEM ELÉTRICA 2022 - Ano base 2021. **ABRACOPEL**, v. 1, p. 108, 30 Mar. 2022.

MILLS, B. et al. Assessment of lightning-related damage and disruption in Canada. **Natural Hazards**, v. 52, n. 2, p. 481–499, 17 Jan. 2010.

MILZMAN, D. P.; MOSKOWITZ, L.; HARDEL, M. Lightning strikes at a mass gathering. **Southern Medical Journal**, v. 92, n. 7, p. 708–710, Jul. 1999.

MOURA, L. **Árbitro morre após ser atingido por raio durante partida de futebol no Piauí**. Disponível em: <<https://ge.globo.com/pi/noticia/2022/03/13/arbitro-morre-apos-ser-atingido-por-raio-durante-partida-de-futebol-no-piaui.ghtml>>. Acesso em: 10 dec. 2022.

O'KEEFE GATEWOOD, M.; ZANE, R. D. Lightning injuries. **Emergency Medicine Clinics of North America**, v. 22, n. 2, p. 369–403, 1 May 2004.

OKAFOR, U. V. Lightning injuries and acute renal failure: A review. **Renal Failure**, v. 27, n. 2, p. 129–134, 2005.

PINTO, I. R. C. A. et al. Cloud-to-ground lightning in southeastern Brazil in 1993: 2. Time variations and flash characteristics. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 104, n. D24, p. 31381–31387, 27 Dec. 1999.

PRICE, C.; RIND, D. Possible implications of global climate change on global lightning distributions and frequencies. **Journal of Geophysical Research:**

**Atmospheres**, v. 99, n. D5, p. 10823–10831, 20 May 1994.

RAKOV, V. A. et al. M-component mode of charge transfer to ground in lightning discharges. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 106, n. D19, p. 22817–22831, 16 Oct. 2001.

RB ANDERSON; IR JANDRELL; HE NEMATSWERANI. The upward streamer mechanism versus step potentials as a cause of injuries from close lightning discharges | SAIEE Journals & Magazine | IEEE Xplore. v. 91, p. 33–37, 2002.

RENNI, E.; KRAUSMANN, E.; COZZANI, V. Industrial accidents triggered by lightning. **Journal of Hazardous Materials**, v. 184, n. 1–3, p. 42–48, 15 Dec. 2010.

RITENOUR, A. E. et al. Lightning injury: A review. **Burns**, v. 34, n. 5, p. 585–594, 1 Aug. 2008.

ROMPS, D. M. et al. Projected increase in lightning strikes in the united states due to global warming. **Science**, v. 346, n. 6211, p. 851–854, 14 Nov. 2014.

SHIPMAN, J. et al. The Dangerous Life of a Storm Chaser: A Lightning Strike Injury Causing Serious Injury. **Journal of Investigative Medicine High Impact Case Reports**, v. 8, 28 May 2020.

SPANO, S. J. et al. A Lightning Multiple Casualty Incident in Sequoia and Kings Canyon National Parks. **Wilderness & Environmental Medicine**, v. 26, n. 1, p. 43–53, 1 Mar. 2015.

TANNER, M. **Lightning kills an entire football team**. Disponível em: <<https://www.independent.co.uk/news/lightning-kills-an-entire-football-team-1181336.html>>. Acesso em: 1 dec. 2022.

**Recebido:** 10/02/2023

**Aprovado:** 19/12/2023

**DOI:** 10.3895/rts.v20n59.16386

**Como citar:**

RONCHI, Giovanni Henrique Garcia; SUETA, Hélio Eiji; MODENA, Jobson et al. Sistemas de alerta de tempestades elétricas: Um estudo de caso na Arena Pantanal. *Tecnol. Soc.*, Curitiba, v. 20, n. 59, p. 269-290, jan./abr., 2024. Disponível em:

<https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/16386>

Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

**Direito autoral:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

