



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



Pesquisador Responsável

Dr. Kleber P. Naccarato

kleber.naccarato@inpe.br / kleber@tempestades.org.br

(12) 3029-8131 / 8112-6620

Coordenadora Operacional

Iara Mazzei Trindade

iara@tempestades.org.br

(12) 3029-8131 / 3019-4621

<http://www.inpe.br/elat>



1. INTRODUÇÃO

O Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) possui mais de 30 anos de experiência em pesquisa de tempestades e relâmpagos no Brasil, com um vasto histórico de atividades na área (<http://www.inpe.br/elat>). Na última década, em parceria com diversas empresas do setor elétrico, energia e construção civil, o Grupo ELAT vem executando projetos de pesquisa voltados ao desenvolvimento de novas metodologias, tecnologias e serviços para monitoramento, análise e previsão de tempestades e de descargas atmosféricas, com amplas aplicações na área de engenharia e segurança. Como principal resultado, em Julho/2009, o Grupo ELAT inaugurou em São José dos Campos/SP, o Núcleo de Monitoramento de Descargas Atmosféricas. Este centro conta hoje com uma equipe de 03 meteorologistas, 05 operadores técnicos, 01 coordenador operacional e 02 pesquisadores doutores possibilitando prestar serviços de monitoramento contínuo 24hs por dia, 7 dias por semana, 365 dias no ano. Em termos de infraestrutura, o Núcleo de Monitoramento conta com um local próprio para a execução dos serviços, recebendo informações meteorológicas continuamente através de canais dedicados de alta velocidade e alta disponibilidade, sistema de gerador de energia independente com autonomia de 24hs, além de linhas exclusivas para o atendimento às empresas clientes. As principais bases de dados do Núcleo de Monitoramento são as informações de descargas atmosféricas da Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (RINDAT), da rede mundial de detecção de descargas atmosféricas (WWLN) e da rede de detecção de descargas atmosféricas EarthNetworks. Além disso, o Núcleo de Monitoramento também tem acesso a todas as bases de dados meteorológicos do CPTEC / INPE. Todas essas informações juntas permitem a execução do serviço de monitoramento e previsão meteorológica em qualquer local do país e da América do Sul. A FUNCATE, como fundação de apoio à pesquisa e desenvolvimento tecnológico, possibilita que a tecnologia e conhecimentos do INPE sejam repassados à sociedade através da prestação de serviços diferenciados e com alto nível de especialização e competência.

Os resultados do atual sistema de monitoramento têm auxiliado muitas empresas na redução dos custos de paralisação e, principalmente, na proteção de vidas humanas, seguindo os mais exigentes padrões de qualidade. Tais resultados e avanços também vêm sendo acompanhados e julgados pela comunidade científica através de trabalhos publicados em congressos de grande relevância no Brasil e no mundo. Como principais parceiros do Núcleo de Monitoramento, podemos citar: Camargo Correa, Vale, Andrade Gutierrez, IESA, Queiroz Galvão, GDK, Conduto, CCDL, Construcap, Odebrecht, TechInt, Petrobrás Engenharia (REDUC, REVAP, UFN3, Premium I), Petrobrás Petróleo S/A (RLAM, RPBC), Vale Fertilizantes, Transpetro, Petrobrás Gás e Óleo, Azevedo Travassos, Promon e UTC Engenharia. O Grupo ELAT também possui vários projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) com diferentes empresas do setor elétrico: Eletrobrás Furnas, CELG, CEMAT, CPFL, Elektro, Grupo EDP, Escelsa, ELFSM, Rede Energia e COELBA.



2. MONITORAMENTO DAS TEMPESTADES

Ao longo de mais de 06 anos de pesquisas e monitoramentos contínuos nas várias regiões do Brasil, o ELAT desenvolveu uma metodologia específica para a previsão de ocorrência de descargas atmosféricas com 30min a 1h de antecedência em regiões com áreas da ordem de 5 a 10km², apresentando um índice de acerto médio entre 70-80%. Trata-se de uma abordagem bastante inovadora uma vez que, atualmente, outras instituições e empresas de meteorologia realizam a previsão de ocorrência de tempestades (e, conseqüentemente, de descargas atmosféricas) a partir de subprodutos dos modelos meteorológicos de previsão numérica, os quais trabalham em escala sinótica e mesoescala, sendo específicos, portanto, para grandes áreas. Por esse motivo, previsões para regiões menores (como, por exemplo, cidades, bairros, parques, aeroportos, refinarias, etc.) não oferecem uma precisão satisfatória do ponto de vista espacial e temporal. Isso porque esses modelos são utilizados para previsões de larga escala e médio prazo (da ordem de dias). Com isso, esta dinâmica atmosférica local tende a ser desprezada pelos modelos numéricos ou pela indisponibilidade dos dados de entrada ou pela limitação na resolução espacial do próprio modelo ou ainda pelos elevados custos associados à aquisição e manutenção da infra-estrutura de coleta de dados. Com isso, invariavelmente, aumenta-se a margem de erro da previsão para áreas menores e para períodos de tempo inferiores à 24h.

Desta forma, a atual metodologia do ELAT, disponível através do Núcleo de Monitoramento de Descargas Atmosféricas, constitui uma solução diferenciada para o monitoramento e previsão da ocorrência de descargas atmosféricas em regiões específicas onde haja a necessidade de se tomar medidas preventivas antecipadas, como cidades, parques florestais, aeroportos, estádios de futebol, áreas industriais, rodovias, obras a céu aberto, minas de extração, refinarias, entre outros. A partir de informações precisas sobre as condições atmosféricas de uma dada região (que indicam o potencial de ocorrência de tempestades), é possível a tomada de ações preventivas no sentido de minimizar não só os prejuízos materiais causados pelas tempestades, mas, acima de tudo, evitar perdas humanas. Mais especificamente, o levantamento das condições atmosféricas locais é feito a partir da análise dos dados de descargas atmosféricas obtidos em tempo real com o suporte de imagens de satélite, dados de radares meteorológicos e os resultados dos modelos meteorológicos de mesoescala (que rodam no próprio Núcleo, sendo parametrizados especificamente para cada região de interesse). A partir daí, faz-se uma previsão do potencial de ocorrência de tempestades para uma dada região de interesse, com um determinado tempo de antecedência e com uma previsão de sua duração.

É importante destacar que a previsão da ocorrência de tempestades para uma determinada região ou para uma dada trajetória não é feita automaticamente como acontece na maioria dos produtos oferecidos no mercado. Um operador especializado, com o auxílio de meteorologistas, monitora a atividade



de descargas atmosféricas em tempo real e acompanha simultaneamente os diferentes tipos de imagens de satélite, as imagens dos radares meteorológicos e os resultados dos modelos numéricos de mesoescala. A partir daí, com base no conhecimento prévio das características meteorológicas locais, ele tem condições de estimar qual a probabilidade de ocorrência de uma tempestade convectiva sobre a região monitorada, além de sua duração aproximada. Para auxiliar nesse processo e garantir a qualidade da previsão, são definidas áreas de monitoramento (denominadas de crítica, alerta e monitoramento) ao redor do(s) alvo(s) as quais são utilizadas para se determinar as probabilidades de ocorrência de tempestades. A definição correta das áreas de monitoramento constitui um fator determinante para o sucesso do processo de previsão uma vez que elas possibilitam aperfeiçoar o monitoramento das tempestades, minimizando a quantidade e a duração dos alertas sem reduzir significativamente os índices de acerto.

Desta forma, a metodologia de monitoramento e previsão do Núcleo de Monitoramento não se baseia em distâncias pré-definidas, mas sim no tempo de aproximação das tempestades. Essa abordagem possibilita ajustar o dimensionamento das áreas de monitoramento (distâncias em relação ao alvo) e selecionar as fontes de dados mais adequadas para que se obtenha tempos de antecedência diferenciados em função das necessidades do cliente. Com isso, é possível obter tempos de antecedência entre 30min e 60min de forma que as atividades sejam interrompidas de forma segura e os trabalhadores sejam retirados mantendo-se os níveis mínimos de segurança. Na atual metodologia da FUNCATE, considerando tempos de antecedência de 30min a 60min, as distâncias utilizadas são comprovadamente adequadas para manter os níveis de risco conforme a norma IEC 62305-2 (*Protection against lightning - Part 2: Risk management*). No entanto, os alertas não se baseiam apenas nessas distâncias, mas sim são resultados da análise completa de todos os dados disponíveis para que a decisão seja focada no tempo de antecedência e não apenas na distância em que a atividade de raios ocorre. Além disso, a metodologia, por utilizar diferentes fontes de dados meteorológicos e por acompanhar a evolução dinâmica e elétrica das tempestades, implicitamente já leva em consideração as condições do relevo do local monitorado. Isso torna possível, portanto, monitorar a ocorrência de descargas atmosféricas de forma diferenciada em função da geografia: montanhas, serras, depressões, vales, planaltos ou zona litorânea mantendo a alta eficiência do sistema.

A Tabela 1 mostra um comparativo entre os resultados obtidos com a metodologia inovadora do ELAT utilizada pelo Núcleo de Monitoramento (a qual é voltada para as aplicações de engenharia) e as demais metodologias existentes (baseadas apenas na tradicional previsão meteorológica). Esses dados foram levantados a partir do monitoramento simultâneo de refinarias da Petrobrás (localizadas no sudeste do Brasil) pelo Núcleo e por outros prestadores do mesmo serviço. O período desse estudo foi de oito meses: 01/Set/2008 a 30/Abr/2009, totalizando 242 dias monitorados. Observa-se, portanto, uma redução significativa do número de alertas (ou paralisações) e do tempo total de paralisações. Em locais específicos



(como constado na Refinaria de São José dos Campos/SP, REVAP) a redução do número e tempo total das paralisações pode chegar a cerca de 35% (variável em função da localização geográfica e das condições meteorológicas locais). As chamadas múltiplas paralisações são os vários alertas emitidos ao longo de um dia com pequeno intervalo de tempo entre eles (menos de 2hs). Tal procedimento inviabiliza muitas atividades críticas as quais são retomadas após a liberação e dificilmente podem ser interrompidas novamente em um curto intervalo de tempo, trazendo muito mais prejuízos que benefícios.

Tabela 1 – Comparativo da nova metodologia do Núcleo com a metodologia tradicional.

	Metodologia Tradicional	Núcleo Monitoramento	Redução
Número Total de Paralisações	131	94	-28,2%
Número de Dias com Múltiplas Paralisações	15	2	-86,7%
Duração Total das Paralisações (Horas)	334	251	-25,0%

3. ALERTAS E DADOS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

O serviço de monitoramento de descargas atmosféricas emite alertas apenas para o risco de incidência de descargas atmosféricas e não de chuvas. Em 50% dos casos, podem ocorrer descargas atmosféricas sem chuva e em outros 50% o contrário. Desta forma, poderá chover na obra sem que tenha havido emissão de alerta de descargas atmosféricas. O contrário também é possível, ou seja, haverá alerta de descarga atmosférica sem que esteja chovendo.

Os alertas gerados pelo Núcleo são baseados não apenas em dados de descargas atmosféricas, como também em dados de radar meteorológico e imagens de satélite. A equipe de operadores e meteorologistas avalia constantemente as condições atmosféricas para decidir entre uma paralisação ou não. A emissão de um alerta é feita sempre por rádio ou contato telefônico, os quais são prioritários em relação ao e-mail porque este último está sujeito a eventuais atrasos de envio/recebimento dos servidores, tráfego nos roteadores na Internet, extravio, entre outras variáveis. Sempre existirá um tempo mínimo de 30min antes que haja risco real de ocorrência de descargas atmosféricas no local monitorado permitindo assim a adoção de medidas preventivas de forma segura. Juntamente com o alerta, é informada a duração prevista do mesmo. Por ser uma previsão, ela está sujeita a erros para mais ou para menos. Caso seja possível, a liberação poderá ser dada antes do prazo. Por outro lado, vencido esse prazo, caso não seja possível a liberação do alerta nesse momento, haverá prorrogação automática.



Não havendo mais riscos de ocorrência de descargas atmosféricas, ocorrerá a liberação do alerta via rádio ou telefone. Assim como a emissão do alerta, a liberação é baseada numa análise completa das condições atmosféricas a partir não só dos dados de descargas atmosféricas, como também das imagens de radar e satélite. Já se comprovou cientificamente que essa eletrificação residual gera descargas atmosféricas esporádicas e, na maioria das vezes, bastante intensas as quais podem provocar uma fatalidade. Dessa forma, a liberação somente pode ocorrer quando não houver mais esse risco de incidência devido à eletrificação de final de tempestade.

Todos os alertas gerados são analisados quanto às condições meteorológicas em toda sua duração e uma avaliação de risco é feita para cada um deles com base na incidência de descargas atmosféricas registradas na região monitorada. Desta forma, os alertas são classificados com Risco Baixo, Médio, Alto e Muito Alto em função da distância em que tenha sido registrada a incidência de descargas atmosféricas ou quando houvesse potencial de ocorrência de descargas dentro da área monitorada. Para cada alerta é gerado também um relatório descritivo do evento, como todos os dados relacionados como data, horário, duração, local, contato telefônico, entre outros. Os relatórios são compostos por figuras (imagens de radar, satélite e/ou mapas de descargas atmosféricas) ilustrando as condições meteorológicas observadas durante o alerta bem como uma avaliação do risco e uma breve análise meteorológica. Mensalmente, esses relatórios são consolidados em um único relatório contendo todas as paralisações efetuadas no período bem como suas durações e níveis de risco.

Atualmente, o Núcleo de Monitoramento utiliza os dados de duas redes de sensores de detecção de descargas atmosféricas com tecnologias diferentes e que operam em baixa frequência (10kHz-12MHz): a rede de sensores Vaisala e a rede EarthNetworks. Em ambas as redes, os sensores captam a radiação eletromagnética gerada pelas descargas atmosféricas que atingem o solo e, a partir da triangulação das informações desses sensores, fornece o horário e localização dos eventos. Nessa faixa de frequência a radiação se propaga próximo à superfície possibilitando a detecção de eventos até 1.000km de distância com alta eficiência de detecção (ED) e ótima precisão de localização (PL). Trata-se, portanto, da mais avançada e precisa tecnologia disponível para o monitoramento de descargas atmosféricas em tempo real dentro de sua área de cobertura.

A rede de tecnologia Vaisala (denominada de RINDAT) é composta atualmente por 36 sensores instalados em nove Estados do país: SC, PR, SP, MS, RJ, ES, MG, GO e MT. Esta rede opera no Brasil desde 1998 e apresenta eficiência de detecção (ED) de descargas que atingem o solo (denominadas nuvem-solo ou NS) da ordem de 70 a 80% e precisão de localização (PL) inferior a 1km. Descargas dentro da nuvem (denominadas intranuvens ou IN) não são detectadas com boa eficiência pela rede (abaixo de 10%). É



conhecido no meio científico que as informações da ocorrência de descargas IN ajudam a melhorar significativamente a precisão dos alertas de descargas atmosféricas para pontos monitorados.

A rede de tecnologia EarthNetworks (denominada de RedeRaios), a qual está sendo montada exclusivamente pelo INPE, já possui mais de 20 sensores instalados no Sudeste do Brasil e até o final do primeiro semestre de 2012 cobrirão os Estados de SP, RJ, MG, ES, BA e GO. A previsão é que até o segundo semestre de 2012, sejam instalados 75 sensores cobrindo as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste do país. Essa rede possibilitará valores de ED e PL melhores que a rede RINDAT (ED > 90% e PL < 500m) em função de sua tecnologia mais moderna e maior precisão de sincronismo entre os sensores. Além disso, essa rede tem condições de detectar não somente os descargas NS, mas também as descargas IN (com eficiência da ordem de 70%) oferecendo assim informações fundamentais para um monitoramento preciso das tempestades e também para a correta previsão de ocorrência de descargas atmosféricas, permitindo redução do número e do tempo total de paralisações.

Outras tecnologias para a detecção de descargas atmosféricas em faixas de frequência mais baixas (até 50kHz) podem ser encontradas no mercado, conhecidas como redes em VLF. No entanto, estas redes não oferecem a mesma precisão da rede RINDAT ou RedeRaios. A rede WWLLN (*World Wide Lightning Location Network*) é operada pela Universidade de Washington (Seattle, EUA) com o apoio do INPE na América do Sul e hoje possui mais de 50 sensores espalhados pelo globo. Ela está em operação desde 2001. Atualmente é a rede que opera na faixa de VLF com melhor desempenho no mundo. Em frequências muito baixas, a radiação eletromagnética gerada pelas descargas atmosféricas é capaz de se propagar por longas distâncias (até 12.000km) através de múltiplas reflexões na cavidade Superfície-Ionosfera da Terra. No entanto, por envolver grandes distâncias de propagação e repetidas reflexões, essa técnica resulta em índices de detecção menores e maiores erros na localização dos eventos. Em função de aprimoramentos nos algoritmos de localização e do aumento do número de sensores nos últimos anos, estudos recentes realizados pelo Núcleo de Monitoramento mostram que a eficiência de detecção da rede WWLLN ultrapassa 50% em toda a América do Sul com uma precisão de localização inferior a 5km. Tais informações podem ser usadas para complementar e auxiliar no serviço de monitoramento.

4. ACOMPANHAMENTO DAS CONDIÇÕES DO TEMPO VIA INTERNET

Juntamente ao serviço de monitoramento e alerta de descargas atmosféricas, o Núcleo de Monitoramento poderá disponibilizar também, em caráter opcional e a critério do cliente, uma página personalizada na Internet para acompanhamento em tempo real da ocorrência de descargas atmosféricas nos locais monitoramentos (com precisão de localização da ordem de 500m) bem como um boletim automatizado de previsão do tempo para até 07 dias. Este serviço via Web conta também com a



visualização de imagens de satélite atualizadas a cada 15 ou 30min além de emissão de boletins de tempo severo personalizados para cada área monitorada.

Os modelos atualmente em operação no INPE são ETA 20, ETA 40, RPSAS, Global (MGCA) e Ensemble. Atualmente o Núcleo de Monitoramento utiliza não só os modelos disponíveis do INPE como também roda o modelo WRF (Weather Research & Forecasting) especificamente para as áreas monitoradas, permitindo assim previsões ainda mais consistentes. As principais variáveis utilizadas na previsão de ocorrência de tempestades são: (1) umidade relativa; (2) precipitação; (3) pressão ao nível do mar; (4) vento na superfície (representada de duas formas: direção e a magnitude); (5) temperatura da superfície; (6) índices K, TT, ShowWalter, MCAPE, MCINE que permitem determinar as condições potenciais da atmosfera para a formação das tempestades.

5. BOLETINS DE PREVISÃO DO TEMPO E DE TEMPO SEVERO

A previsão automática disponibilizada em página Web específica é baseada apenas em resultados de modelos meteorológicos e, por esse motivo, está sujeita a vários erros e imprecisões. Desta forma, visando atender a necessidades mais específicas, o Núcleo de Monitoramento também oferece o serviço de emissão de boletins meteorológicos (incluindo tempo severo) horários, semanais, mensais e/ou trimestrais onde a equipe de meteorologistas enviará a previsão do tempo personalizada para as áreas monitoradas. Tais boletins se baseiam em várias outras fontes de dados e, com isso, oferecem uma informação bem mais confiável e precisa, a qual poderá ser utilizada, por exemplo, no planejamento de atividades a curto e médio prazo, levantamento dos custos de paralisações em função de chuva, definição de cronogramas, etc.

6. RELATÓRIOS DE CARACTERIZAÇÃO METEOROLÓGICA

Através do acesso a diferentes fontes de dados de diferentes Instituições, o Núcleo de Monitoramento também oferece serviço de emissão de relatórios de caracterização meteorológica para qualquer região do Brasil. Este serviço consiste no levantamento de todos os possíveis dados meteorológicos históricos: regimes de precipitação, amplitudes térmicas, caracterização da umidade, pressão, intensidade da radiação solar, cobertura de nuvens, cotas de rios, intensidade e direção predominante dos ventos e, obviamente, descargas atmosféricas. Os relatórios, em geral, são compostos por listagens de dados, gráficos, tabelas, mapas e, se necessário, imagens de satélite e mapas de densidade de descargas atmosféricas. À critério do cliente, podem apresentar toda a caracterização climática da região, apresentando as variabilidades climáticas (com periodicidade mensal e anual) e projeções para períodos futuros. Todos os dados são sempre analisados criticamente e validados por meteorologistas e estão em conformidade com os requisitos mínimos da Organização Meteorológica Mundial (OMS) em



termos de uniformidade e qualidade. Atualmente o banco de dados do Núcleo de Monitoramento possui dados históricos tanto de variáveis meteorológicas quanto de descargas atmosféricas desde 1999.

7. CONSULTORIA NOS PROJETOS DE SPDA

Um SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas) tem como objetivo blindar uma estrutura, seus ocupantes e seu conteúdo dos efeitos térmicos, mecânicos e elétricos associados às descargas atmosféricas diretas. O SPDA atua fundamentalmente no sentido de oferecer um caminho de baixa resistência elétrica para a corrente elétrica fluir até o solo sem passar pelas partes condutoras da estrutura, danificando-as, ou pelos ocupantes, causando acidentes. É importante destacar que um SPDA não impede que a descarga atmosférica atinja a estrutura nem tampouco a atrai até ele. Além disso, o SPDA não protege os equipamentos elétricos e eletrônicos contra interferências eletromagnéticas nem protege as pessoas contra os efeitos indiretos causados pelas descargas atmosféricas.

Desta forma, em conjunto com o serviço de acompanhamento e previsão de descargas atmosféricas, o Núcleo de Monitoramento também possui competência para prestar consultoria em projetos de SPDA para estruturas localizadas em grandes áreas abertas, visando ou não a proteção de vidas humanas. Neste último caso, o projeto e instalação do SPDA deverão ser analisados individualmente para cada edificação de forma a complementar o monitoramento de descargas atmosféricas, possibilitando assim máxima segurança aos trabalhadores envolvidos nas atividades a céu aberto.

8. ANÁLISES DE RISCO ENVOLVENDO DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Além dos relatórios de caracterização meteorológica, o Núcleo de Monitoramento do Grupo ELAT também possui dados de descargas atmosféricas em todo o Brasil que possibilita realizar análises dos riscos de ocorrência de acidentes / incidentes envolvendo descargas atmosféricas (relacionados principalmente com vidas humanas) além de estudos do número e do tempo de paralisação de atividades em função do risco de incidência de descargas atmosféricas. As análises de risco seguem os procedimentos descritos na norma internacional IEC 62305-2 (*Protection against lightning - Part 2: Risk management*), mais especificamente, o item Identificação do Risco Tolerável (Tabela NK.1) onde se estabelece os níveis de risco primário para diferentes situações, entre elas perdas de vidas humanas. Este item estabelece diferentes componentes do risco primário para acidentes envolvendo seres humanos a partir da incidência de descargas atmosféricas próximas ou sobre estruturas. Com isso é possível a caracterização do risco de ocorrência de descargas atmosféricas em dada região bem como qual o impacto de eventuais paralisações devidas às descargas atmosféricas nos cronogramas das atividades do cliente.