

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
CENTRO DE TECNOLOGIA – CT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL – DECA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ABIMAEEL ISAQUE LANDIM DA SILVA

PROGRAMA COMPUTACIONAL ALERTA DE DESLIZAMENTOS
JOÃO PESSOA/PB

João Pessoa – PB

2021

ABIMAEEL ISAQUE LANDIM DA SILVA

**PROGRAMA COMPUTACIONAL ALERTA DE DESLIZAMENTOS
JOÃO PESSOA/PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Federal da Paraíba – PB como
requisito parcial para a obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Lopes Soares.

João Pessoa – PB

2021

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586p Silva, Abimael Isaque Landim da.

Programa computacional alerta de deslizamentos João Pessoa/PB / Abimael Isaque Landim da Silva. - João Pessoa, 2021.

60 f. : il.

Orientação: Fábio Lopes Soares.

TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Chuvas. 2. Deslizamentos de terra. 3. Áreas de risco. 4. Monitoramento. 5. Programa. I. Soares, Fábio Lopes. II. Título.

UFPB/BSCT

CDU 64

FOLHA DE APROVAÇÃO

ABIMAE L ISAQUE LANDIM DA SILVA

PROGRAMA COMPUTACIONAL ALERTA DE DESLIZAMENTOS JOÃO PESSOA/PB

Trabalho de Conclusão de Curso em 11/06/2021 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Fábio Lopes Soares

APROVADO

Fábio Lopes Soares

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aline Flávia Nunes Remígio Antunes

APROVADO

Aline Flávia Nunes Remígio Antunes

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Cristiano das Neves Almeida

Aprovado

Cristiano das Neves Almeida

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

ABSilva

Profª. Andrea Brasiliano Silva

Matrícula Siape: 1549557

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

Dedico este trabalho à minha família por todo o apoio necessário para que eu pudesse experimentar este importantíssimo momento da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e por me dar forças para não desistir mesmo diante das maiores dificuldades enfrentadas durante o curso.

Agradeço aos meus pais por não medirem esforços para me proporcionar um ensino de qualidade durante meu período escolar, pela formação e educação que recebi em casa e pelo exemplo de honestidade, sabedoria, coragem, paciência, generosidade e amor ao próximo e a Deus.

Agradeço às minhas irmãs por sempre estarem me aconselhando e compartilhando experiências da vida acadêmica que me ajudaram durante o curso.

Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba pelo conhecimento e aprendizado adquiridos ao longo dos cinco anos de graduação.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Fábio Lopes Soares, por ter me indicado um tema de grande relevância para o meio acadêmico e para a sociedade, e por ter me ajudado no desenvolvimento deste trabalho.

*O que sabemos é uma gota,
o que ignoramos é um oceano.*

— Isaac Newton

RESUMO

Os movimentos de massa são os processos geodinâmicos que mais afetam o Brasil. O excesso de chuva é o principal agente deflagrador desses movimentos. Além disso, o crescimento, a urbanização das cidades e, conseqüentemente, o uso e ocupação de áreas de risco através da interferência humana, também são responsáveis pela diminuição da estabilidade das encostas. Vários estudos já foram desenvolvidos para verificar a relação entre os deslizamentos de terra e a chuva. Através desses estudos, foram criadas curvas de correlação entre movimentos de massa e chuvas, que permitem verificar para quais valores limites de chuva diária e chuva acumulada são deflagrados os movimentos de massa. Dessa forma, é necessário monitorar os níveis de precipitação que deflagram os movimentos de terra e alertar a população dos riscos. Assim, o Programa Alerta de Deslizamentos João Pessoa/PB foi elaborado para auxiliar as ações da Defesa Civil de João Pessoa através de um sistema automático de monitoramento e alerta de riscos. O programa foi desenvolvido no *Excel*®, utilizando a linguagem de programação Visual Basic for Applications (VBA), e no *Power BI*®, onde são produzidos relatórios dinâmicos com a compilação dos dados de alertas enviados e com os casos de deslizamentos registrados pela Defesa Civil. Inicialmente foram realizados estudos sobre a teoria de correlação entre chuva e deslizamentos de terra. Em seguida, foram desenvolvidos todos os códigos e a interface do programa, com posterior seqüência de repetidos testes para verificar se os resultados obtidos eram satisfatórios e treinamento para estagiários. Por fim, relata-se a implantação do programa na Defesa Civil de João Pessoa.

Palavras-chave: Chuvas. Deslizamentos de terra. Áreas de risco. Monitoramento. Programa.

ABSTRACT

Mass movement is the geodynamic process that most affects Brazil. The excess of rainfall is the main agent that generates such movements. Furthermore, the growth, the urbanization of the cities and the subsequent use and occupation of risk areas through the human interference are responsible for the decrease of the land stability in slopes and hillsides. Many studies have already been developed to verify the relationship between landslides and rainfall. Through these studies, it was possible to create curves that correlate the mass movements and rainfall, and they allow the verification for which limit values for daily rainfall and for accumulated rainfall the mass movements are started. In this manner, it is necessary to monitor the levels of precipitation that start the mass movements and to warn the population of these risks. Therefore, the software “Programa Alerta de Deslizamentos João Pessoa/PB” was elaborated to help the actions taken by the Civil Defense of João Pessoa, through an automatic monitoring system and risk warning. The software was developed in *Excel*®, using the Visual Basic for Applications (VBA) programming language, and in *Power BI*®, which produces dynamic reports with the compilation of the alert data that was sent and with the landslides registered by the Civil Defense. Initially, studies regarding the theory of correlation between rainfall and landslides were carried out. Then, all the codes and the interface of the software were developed, followed by repeated tests to judge if the obtained results were satisfactory, as well as the training of the interns and finally, the implantation of the software in the Civil Defense of João Pessoa.

Keywords: Rainfall. Landslides. Risk areas. Monitoring. Software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tensões resistentes atuantes em um talude.....	17
Figura 2 - Esquemáticação de escorregamentos do tipo planar.....	18
Figura 3 - Esquemáticação de escorregamentos do tipo circular	18
Figura 4 - Esquemáticação de escorregamentos em cunha	18
Figura 5 - Elementos característicos de um sistema de monitoramento e alerta.....	21
Figura 6 - Porcentagem dos desastres naturais mais recorrentes no Brasil entre o período de 1991 e 2012	22
Figura 7 - Sala de situação do Cemaden, São José dos Campos/SP	23
Figura 8 - Níveis de operação e alerta adotados pelo Sistema de Monitoramento do Cemaden	24
Figura 9 - Municípios monitorados pelo Cemaden na Região Nordeste.....	25
Figura 10 - Fluxograma de ações do Cemaden	26
Figura 11 - Pluviômetro automático instalado em Campo Grande/RN	27
Figura 12 - Pluviômetros automáticos no Mapa Interativo do Cemaden	28
Figura 13 - Exemplo de mapa elaborado pelo Cemaden mostrando as mesorregiões brasileiras com possibilidade de ocorrência de eventos Geo - Hidrológicos para a data considerada	29
Figura 14 - Mapa indicando a probabilidade de escorregamentos na cidade do Rio de Janeiro	31
Figura 15 - Pluviômetros da rede de monitoramento do Sistema Alerta Rio.....	32
Figura 16 - Dados do radar meteorológico no início do evento de chuva.....	33
Figura 17 - Dados do radar meteorológico no pico do evento de chuva.....	33
Figura 18 - Dados do radar meteorológico no fim do evento de chuva	34
Figura 19 - Coleta de dados da rede telemétrica do Alto Tietê	34
Figura 20 - Mapa dos níveis de alerta da Agência Meteorológica do Japão	35
Figura 21 - Distribuição espacial dos postos pluviométricos de João Pessoa.....	38
Figura 22 - Área de influência de cada posto pluviométrico.....	39
Figura 23 - Indicação da situação de chuva na guia Base de Dados do Programa Alerta de Deslizamentos João Pessoa/PB	42
Figura 24 - Posto pluviométrico com indisponibilidade de dados	43
Figura 25 - Indicação da condição de disponibilidade de dados da rede de pluviômetros do Cemaden instalados na cidade de João Pessoa.....	43

Figura 26 - Valores máximos diários registrados na guia “Base de Dados” do Programa Alerta de Deslizamentos João Pessoa/PB.....	44
Figura 27 - Definição das curvas limites e da quantidade de dias de precipitação acumulada na guia “Gráficos” do Programa Alerta de Deslizamentos João Pessoa/PB.....	44
Figura 28 - Caso em que o ponto (Precipitação Diária, Precipitação Acumulada) está abaixo da curva limite.....	45
Figura 29 - Caso em que o ponto (Precipitação Diária, Precipitação Acumulada) está acima da curva limite.....	46
Figura 30 - Formulário para cadastro dos e-mails dos moradores de áreas de risco que poderão receber o alerta.....	47
Figura 31 - Exemplo de alerta enviado via e-mail de forma automática.....	48
Figura 32 - Cartilha explicativa enviada em anexo ao e-mail de alerta	48
Figura 33 - Formulário para envio de e-mails personalizados	49
Figura 34 - Exemplo de gráfico de dispersão para João Pessoa.....	50
Figura 35 - Exemplo de curva de correlação para João Pessoa.....	50
Figura 36 - Exemplo de gráfico da evolução do ponto (Precipitação Diária, Precipitação Acumulada) ao longo dos dias que antecedem um caso de deslizamento.....	51
Figura 37 - Exemplo de relatório de casos por bairro (Relatório dinâmico 1).....	52
Figura 38 - Exemplo de relatório de casos por bairro (Relatório dinâmico 2).....	53
Figura 39 - Exemplo de relatório de casos por área de influência	53
Figura 40 - Exemplo de relatório de alertas por área de influência.....	54
Figura 41 - Exemplo de relatório de eficiência dos alertas emitidos e relatório anual de casos registrados e alertas enviados	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Detalhamento dos Alertas enviados pelo Cemaden de 2011 até 2015.....	26
Tabela 2 - Resumo da situação atual dos níveis operacionais quanto a chuva e ao escorregamento.....	31
Tabela 3 - Bairros que compõem cada área de influência.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais

CENAD – Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

SAISP – Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo

VBA – Visual Basic for Applications

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	13
1.2	Objetivos	14
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	14
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	14
1.3	Metodologia	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Movimentos de massa e deslizamentos	16
2.2	Influência das chuvas nos movimentos de massa	19
2.3	Sistemas de monitoramento e alerta	20
2.3.1	<i>Cemaden</i>	21
2.3.2	<i>Alerta Rio</i>	29
2.3.3	<i>SAISP</i>	32
2.3.4	<i>Sistema de alerta no Japão</i>	35
3	DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA	37
3.1	Monitorar o grau de risco	38
3.2	Emitir alerta de deslizamento para as áreas de risco	46
3.3	Simplificar a análise e elaboração de curvas de correlação	49
3.4	Gerar relatórios com os dados coletados	51
4	TREINAMENTO COM A DEFESA CIVIL	56
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
	APÊNDICE A – RELATÓRIO DE ALERTA	61

1 INTRODUÇÃO

Segundo Castro (2006), os movimentos de massa são os processos geodinâmicos que mais afetam as cidades brasileiras, sendo a chuva o principal agente de deflagração desses movimentos. Vários estudos já foram realizados para determinar a correlação entre as chuvas e os eventos geo-hidrológicos, principalmente nas regiões Sul e Sudeste.

Além das chuvas, tem-se os processos de uso e ocupação desordenada do solo, que acabam por afetar os processos naturais. A urbanização causou uma explosão demográfica, sobretudo nas grandes cidades brasileiras, e a consequente ocupação das periferias, que geralmente são áreas de encostas com baixo valor imobiliário.

O custo social e econômico (danos materiais e principalmente a perda de vidas) é elevado e, por isso, é de grande importância conhecer quais são os agentes deflagradores (de forma mais significativa a chuva) e sua relação com os deslizamentos de terra.

Segundo Macedo e Martins (2015), há uma crescente preocupação do poder público e do meio científico para redução dos riscos associados aos desastres naturais. A determinação de como atuam os agentes deflagradores das localidades mais perigosas e da quantidade de pessoas atingidas é de grande importância para a tomada de decisões que visam a redução de riscos.

De acordo com Sales (2017), por mais que a interferência humana seja o principal fator para a diminuição da estabilidade das encostas, os movimentos de massa podem ocorrer de forma natural. Dessa forma, é importante que o órgão competente (a Defesa Civil) disponha de um sistema de previsão e alerta de riscos. É importante destacar que os sistemas de monitoramento de risco não impedem que o evento aconteça, mas, quando bem utilizados, são responsáveis pela diminuição dos danos causados, tanto materiais quanto físicos.

1.1 Justificativa

Tendo em vista os elevados impactos sociais e econômicos causados por desastres naturais como os deslizamentos de terra, são necessários estudos e ferramentas que auxiliem a evitar ou minimizar seus danos.

Atualmente, a Defesa Civil de João Pessoa não conta com nenhuma ferramenta para previsão de riscos geo-hidrológicos. Contudo, já foram elaborados alguns trabalhos para determinação dos valores de precipitação que estão relacionados com os movimentos de massa na cidade de João Pessoa (SOARES; RAMOS FILHO, 2015; SILVA, 2018 e JUNIOR, 2021). A elaboração de um programa que se utilize dessas correlações permite realizar a previsão de riscos e o envio massivo de alertas de forma rápida e automática.

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo geral*

Desenvolvimento de uma planilha eletrônica automatizada programada para gerar e emitir alertas de deslizamentos para as áreas de risco da cidade de João Pessoa, Paraíba.

1.2.2 *Objetivos específicos*

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Desenvolver um programa para *desktop* utilizando a linguagem de programação VBA;
- b) Criar uma ferramenta capaz de:
 1. Verificar o grau de risco de eventos de deslizamento;
 2. Enviar o alerta para os moradores das áreas de risco;
 3. Cadastrar casos de movimento de massa;
 4. Tratar os dados colhidos e gerar relatórios;
 5. Possibilitar, de forma mais simples, a elaboração de curvas de correlação entre chuva e deslizamentos.
- c) Automatizar o maior número possível de funcionalidades do programa.

1.3 Metodologia

A metodologia deste trabalho consiste na descrição das etapas listadas a seguir:

- a) Estudos preliminares sobre correlação entre volume de chuvas e deslizamentos (com ênfase para estudos na cidade de João Pessoa);
- b) Definir uma linguagem de programação para elaboração do programa;
- c) Aprender a linguagem de programação e desenvolver o programa;
- d) Testes e conclusões.

A primeira etapa consistiu em estudar diversos autores (artigos e trabalhos de conclusão de curso) que abordassem a problemática das chuvas e sua relação com os movimentos de massa. Dessa forma, foi realizada uma revisão bibliográfica envolvendo conceitos de deslizamentos de terra, a influência da chuva sobre esses processos e exemplos de estrutura, operação e serviços prestados por sistemas de alerta no Brasil e no Japão.

No caso de João Pessoa, foram consultados materiais que descrevessem a determinação de curvas limites para deflagração de deslizamentos. Estes estudos preliminares são de

fundamental importância para a elaboração e entendimento deste trabalho e do Programa Alerta de Deslizamentos João Pessoa/PB.

A segunda etapa surgiu do objetivo principal deste trabalho — desenvolver um sistema de monitoramento e alerta automatizado. Para elaboração do programa, foi escolhida a linguagem de programação VBA. O VBA é eficiente em problemas que envolvem repetição e automação. Além disso, permite a possibilidade de extensão para interação do usuário, interação entre aplicativos da *Microsoft*[®] (*Word*[®], *Outlook*[®]) e navegação em sites da *Web*. Todas essas ferramentas oferecidas pelo VBA serão empregadas na elaboração de uma planilha eletrônica no Excel que automatiza grande parte das operações do programa.

Na terceira etapa foram consultados livros, sites e fóruns na *Web* para estudar os diversos conceitos que abrangem a linguagem por trás do VBA. Em paralelo, o programa passou a ser elaborado e constantemente melhorado até chegar à sua versão final, que conta com diversas funcionalidades, a maioria delas totalmente automatizada. Neste processo de desenvolvimento buscou-se alcançar os objetivos descritos no tópico anterior. A elaboração do programa consistiu na elaboração de códigos em VBA para capturar os dados de precipitação da *Web*, gerar gráficos e consultar o alerta, enviar os alertas por e-mail, gerar relatórios de alerta, entre outras ferramentas.

Por último, foram feitas diversas simulações para verificar o bom funcionamento do programa e de suas aplicações. Todos os eventuais erros encontrados foram corrigidos, e as modificações foram novamente simuladas e testadas. Esse processo é importante para verificar os resultados obtidos por meio do programa e se as automações estão sendo realizadas corretamente, isto é, geração dos gráficos, emissão do alerta, geração dos relatórios, entre outros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir serão descritos alguns conceitos essenciais para o entendimento do trabalho.

2.1 Movimentos de massa e deslizamentos

Para o Cemaden (2020), o Brasil é considerado um país com grande susceptibilidade aos movimentos de massa por conta das condições climáticas (verões de chuvas intensas) e da formação do relevo (regiões de grandes maciços montanhosos). A situação é agravada nos grandes centros urbanos pela interferência humana através de atividades como cortes em taludes, aterros, depósitos de lixo, desmatamentos e modificação da drenagem natural. Essa condição pode piorar devido à ocupação irregular para construção de edificações em terrenos íngremes. É comum que as pessoas com baixo poder aquisitivo se instalem nas regiões mais periféricas dos grandes centros urbanos, pois são áreas de pouca atratividade e baixo valor imobiliário por conta da constituição acidentada do relevo.

Segundo Bispo *et al.* (2011), movimentos de massa são processos dinâmicos que podem ser desencadeados pela ação de fatores internos como tipo de solo, rocha ou terreno, e por fatores externos, principalmente a ação da chuva. De acordo com Vanacôr (2006), os movimentos de massa fazem parte da dinâmica da paisagem e da formação do relevo, principalmente em áreas com relevo acidentado e regiões montanhosas. Eles estão relacionados com aspectos hidrológicos e morfológicos, e são influenciados pela ação humana referente às formas de ocupação e uso do solo e como essa interação interfere nas condicionantes geológicas e geomorfológicas (TOMINAGA, 2007).

Para Terzaghi (1950), movimento de massa é o processo de deslocamento de material rochoso e/ou solo sob a ação da gravidade. Esses processos podem estar relacionados a fatores externos como a sobrecarga de edificações sobre o terreno, e a fatores internos como processos erosivos que acabam impactando na resistência do material.

Montgomery (1992) cita que movimentos de massa ocorrem quando forças de tração, oriundas da gravidade atuando no terreno inclinado, superam as forças de atrito do solo. A principal força de tração responsável pelos movimentos de massa é o cisalhamento.

Para Kobiyama (2006), os movimentos de massa podem ocorrer principalmente com elevados volumes de precipitação. Chuvas de grande intensidade ou de grande duração são responsáveis pela diminuição da resistência do solo, atuando como agentes deflagradores dos movimentos de massa.

De acordo com Peixoto (2019), os deslizamentos são movimentos de massas de solo e/ou rocha que ocorrem em taludes, sejam eles naturais, de corte ou aterro. O processo se inicia

quando, pelo aumento das tensões ou queda da resistência do material, ocorre a ruptura por cisalhamento, como visto na FIGURA 1. Para Sales (2017), deslizamentos são movimentos de massa de curta duração, com superfície de escorregamento bem definida. Esses eventos podem mobilizar tanto fragmentos rochosos quanto solo, ou ambos.

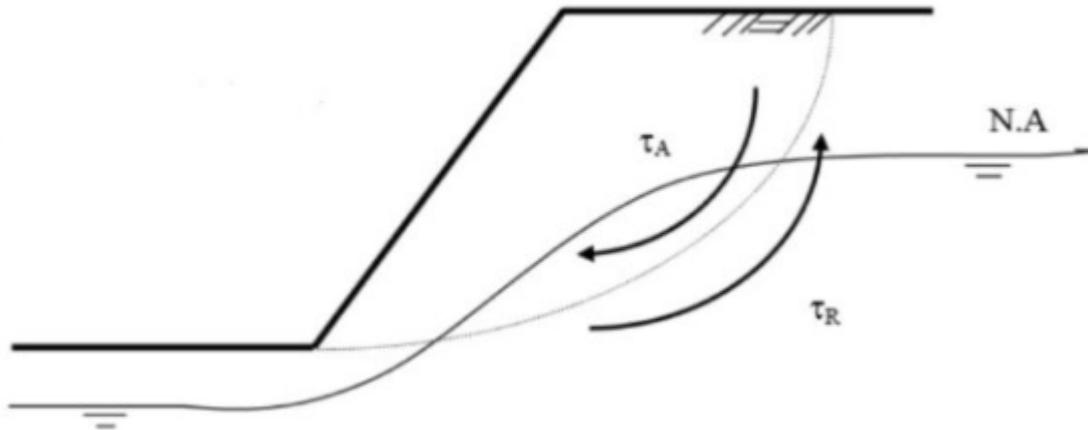


Figura 1 - Tensões resistentes e atuantes em um talude

Fonte: MARINHO (2020)

De acordo com Bispo *et al.* (2011), deslizamentos estão intimamente relacionados com a ação antrópica determinada pela ocupação do solo e seu uso. A interferência humana pode ser responsável por desproteger a camada superficial do solo através da retirada da vegetação e obras de movimentação de terra (aterros, cortes), que acabam contribuindo para queda da resistência do material e aumentam a susceptibilidade ao deslocamento, principalmente quando exposta a chuvas de grande intensidade.

Os deslizamentos têm a chuva como principal agente deflagrador de deslocamento em encostas em regiões tropicais úmidas (GUIDICINI; IWASA, 1976). Por ser um fenômeno com alta frequência em todo o mundo, já foram realizados diversos estudos para determinar quais fatores impactam e como é possível criar modelos para determinar a ocorrência desses eventos, e mapear áreas de risco. O objetivo desses estudos é diminuir os impactos sociais e materiais causados por esses desastres naturais (AUGUSTO FILHO, 1994).

Os deslizamentos são caracterizados como movimentos de massa com velocidades médias e altas, pequenos a grandes volumes de material e geometria variável. Podem ser divididos em três tipos:

- a) Planares: caracterizados por solo ou rocha com um plano de fraqueza (FIGURA 2).

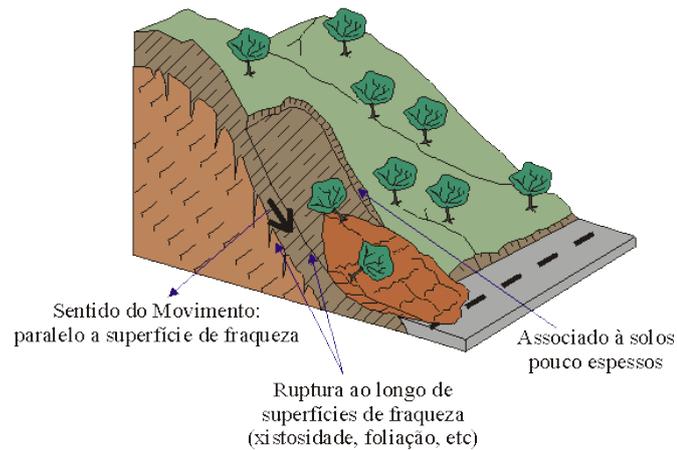


Figura 2 - Esquemática de escorregamentos do tipo planar

Fonte: AVALIAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO A ESCORREGAMENTOS NA REGIÃO DO GRANDE ABC (2013)

- b) Circulares: caracterizados por solos homogêneos e rochas muito fraturadas (FIGURA 3).

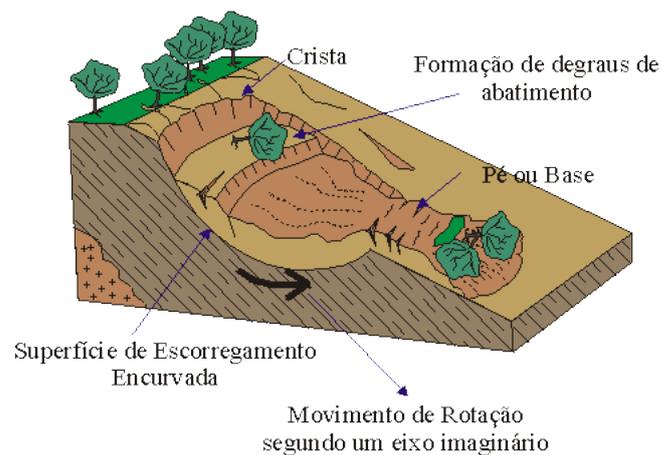


Figura 3 - Esquemática de escorregamentos do tipo circular

Fonte: AVALIAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO A ESCORREGAMENTOS NA REGIÃO DO GRANDE ABC (2013)

- c) Cunha: caracterizados por solo ou rocha com dois planos de fraqueza (FIGURA 4).



Figura 4 - Esquemática de escorregamentos em cunha

Fonte: AVALIAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO A ESCORREGAMENTOS NA REGIÃO DO GRANDE ABC (2013)

2.2 Influência das chuvas nos movimentos de massa

Como já visto no tópico anterior, a chuva é o principal agente deflagrador dos eventos de movimentação de massa no Brasil. Dessa forma, a questão principal quando se trata de chuva e sua relação com desastres naturais como os deslizamentos é determinar qual a quantidade de chuva capaz de causar tais eventos. Para isso, devem ser realizadas análises de correlação entre chuvas e deslizamentos para determinar uma relação matemática entre os dois fatores. Os resultados para as correlações serão melhores quanto maior for o período de observação envolvendo uma quantidade considerável de dados de deslizamentos (SANTORO *et al.*, 2010).

Diversos estudos já foram realizados em todo mundo com o objetivo de verificar a correlação entre precipitação acumulada e eventos de movimentação de terra e/ou fragmentos de rocha (como os deslizamentos).

De acordo com Soares e Ramos Filho (2014), muitos pesquisadores buscam estabelecer correlações empíricas, probabilísticas ou físico-matemáticas entre a pluviosidade e a ocorrência de processos de movimentos de massa. Uma das metodologias para determinar a relação entre chuvas e deflagração de movimentos de massa é realizar o levantamento dos dados de movimentos de massa e os dados de precipitação referentes ao período correspondente. O próximo passo é verificar e separar quais eventos de movimentos de massa não sofrem interferência de processos distintos da chuva, como erosão, entre outros, e verificar a consistência dos dados pluviométricos e se as datas dos eventos coincidem com o registro das precipitações. Os dados devem ser consultados a partir de fontes confiáveis, por exemplo, Defesa Civil Municipal, Cemaden e outros órgãos oficiais.

A correlação depende da determinação da quantidade de dias de precipitação acumulada. Segundo Soares e Ramos Filho (2014), o objetivo é determinar o menor número de dias de precipitação acumulada para o qual é possível distinguir um patamar de separação entre dias em que foram observados e registrados eventos de movimentos de massa e dias nos quais não foram registrados eventos. Dessa forma, são gerados gráficos de correlação entre a chuva acumulada e os dias compreendidos entre o período de estudo e a determinação da quantidade de dias de precipitação acumulada. A próxima etapa é determinar a curva de correlação entre precipitação acumulada e precipitação diária. Será empregada a curva que apresentar o valor de correlação mais próximo de 1.

2.3 Sistemas de monitoramento e alerta

Segundo Sales (2017), sistemas de alerta são ferramentas utilizadas pela Defesa Civil para advertir a população de uma determinada área sobre a elevada probabilidade de ocorrência de movimentos de massa. O objetivo principal é que as ações da Defesa Civil possam ser executadas de maneira rápida, organizada e precisa, diminuindo as ocorrências de perdas materiais e de mortes.

Ainda de acordo com Sales (2017), para que os alertas sejam eficientes, é necessário que haja confiabilidade nos dados (previsões meteorológicas) e que tanto a população quanto as autoridades sejam treinadas. Os alertas estão relacionados principalmente com a correlação entre as precipitações acumuladas e diárias e a probabilidade associada aos deslizamentos de terra. Por isso é importante que a determinação de valores que deflagram os movimentos de massa seja realizada com base em dados precisos, levantados ao longo de um período considerável.

De acordo com a Defesa Civil de Santa Catarina (2021), alerta ou aviso antecipado é o fornecimento de informações, através de instituições identificadas, para que indivíduos expostos a algum risco tomem determinadas medidas em tempo suficiente para evitar ou reduzir seus danos. Os sistemas de monitoramento e alerta fazem parte da gestão de riscos e desastres e são estruturados tendo como base quatro elementos principais:

- a) Conhecimento do risco;
- b) Monitoramento e previsão;
- c) Disseminação da informação;
- d) Resposta.

É importante ter informações suficientes para definir quais são as prioridades, isto é, quais são os eventos mais comuns e as regiões mais afetadas. Além disso, os sistemas de comunicação devem ser rápidos e confiáveis, e a informação deve ser facilmente entendida.

Para o Cemaden (2020), um alerta constitui um instrumento que indica que a situação de risco de desastre é previsível em curto prazo. Após a emissão do alerta, a Defesa Civil passa para a fase de preparação para o desastre, mobilizando seus recursos e ferramentas para a resposta.

Na FIGURA 5 são apresentados os elementos característicos de sistemas de monitoramento e alerta de desastres naturais.

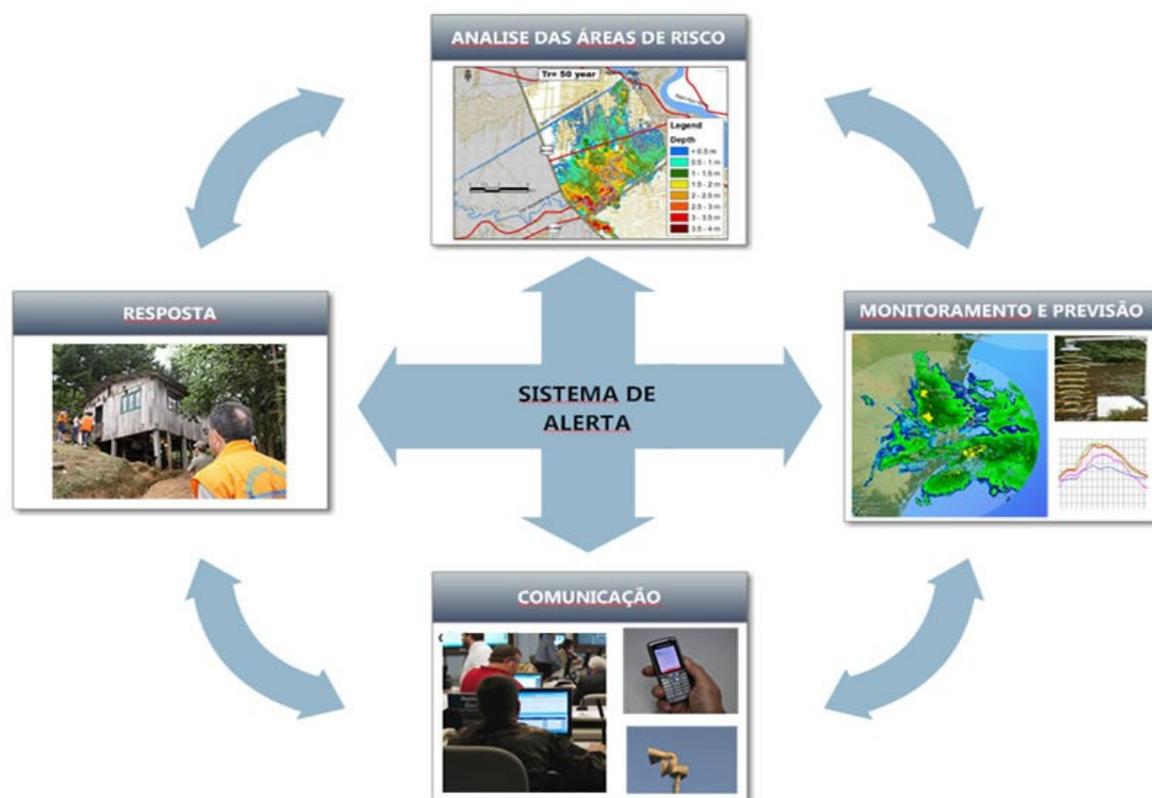


Figura 5 - Elementos característicos de um sistema de monitoramento e alerta
 Fonte: DEFESA CIVIL DE SANTA CATARINA (2021)

2.3.1 Cemaden

Segundo o Cemaden (2020), o principal agente não antrópico responsável por desastres naturais no Brasil é a água. O excesso de água promove deslizamentos em encostas, desmoronamentos, inundações e enxurradas. Já a escassez de água gera os colapsos nos sistemas de abastecimento de populações humanas e animais e as secas, principalmente na região Nordeste do Brasil. É possível verificar, no gráfico da FIGURA 6, os desastres naturais mais recorrentes no país registrados entre o período de 1991 e 2012 e como estes registros estão intimamente relacionados com o fator água.

Além disso, o Cemaden (2020) destaca o processo de urbanização do país a partir da década de 50, o qual não priorizou políticas de desenvolvimento urbano que permitissem acesso a uma moradia segura para toda a população. Dessa maneira, grande parte da população com menor poder aquisitivo acabou por se estabelecer nas áreas mais periféricas das grandes cidades, geralmente áreas de encostas e de baixo valor imobiliário. Essas moradias se caracterizam geralmente como assentamentos precários e, conseqüentemente, com grande susceptibilidade a deslizamentos de encostas e inundações.

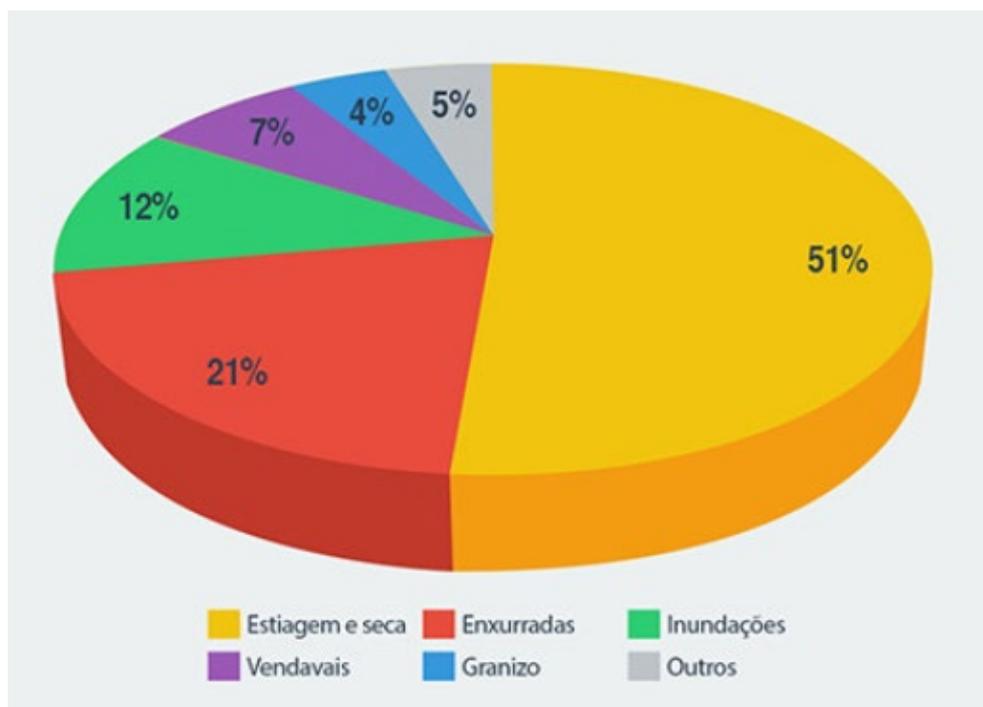


Figura 6 - Porcentagem dos desastres naturais mais recorrentes no Brasil entre o período de 1991 e 2012

Fonte: CEMADEN (2020a)

O Cemaden também cita o aumento significativo de registros de desastres no Brasil entre 2007 e 2011:

“Em 2007, aproximadamente 2,7 milhões de pessoas foram afetadas por desastres naturais. Em 2008, a região do Vale do Itajaí em Santa Catarina sofreu perdas econômicas e sociais causadas por chuvas intensas. No final de 2009 e início de 2010, chuvas fortes causaram destruição e morte em Angra dos Reis e na Ilha Grande. Ainda em 2010, eventos climáticos severos causaram enchentes e inundações nos Estados de Pernambuco e Alagoas e afetaram cerca de 12 milhões de pessoas, sendo 6 milhões somente na cidade do Rio de Janeiro, e grande número de vítimas fatais por deslizamentos em encostas. Em 2011, ocorreu o pior desastre natural do Brasil, na Região Serrana do Rio de Janeiro com o registro de 947 mortes, mais de 300 pessoas desaparecidas e milhares de desalojados e desabrigados, além de severas perdas econômicas, destruição de moradias e infraestrutura, em decorrência de enxurradas e deslizamentos” (CEMADEN, 2020).

Em consideração a todos esses fatores e acontecimentos, tornou-se indispensável que o Brasil tivesse à disposição um Sistema de Monitoramento e Alerta. O MCTI ficou encarregado de implantar um sistema de alertas antecipados de probabilidade de ocorrências de desastres naturais. Assim, o Cemaden foi criado em fevereiro de 2011.

De acordo com Cemaden (2020), o órgão subordinado ao MCTI tem como missão realizar o monitoramento das ameaças naturais em áreas de riscos suscetíveis à ocorrência de desastres naturais. Além disso, o Cemaden realiza pesquisas e inovações tecnológicas para melhorar seu sistema de alerta, com o objetivo maior de reduzir os danos materiais e perdas de vida em todo o país.

O sistema de monitoramento do Cemaden tem suas atividades lideradas na sala de situação (FIGURA 7), que conta com uma equipe multidisciplinar, composta por tecnologistas das especialidades de Desastres Naturais, Geodinâmica ou Geologia, Extremos Hidrológicos e Extremos Meteorológicos. As atividades operacionais de monitoramento e alerta de desastres na sala de situação são realizadas de forma contínua (24 horas por dia durante todos os dias do ano). Segundo o Cemaden (2020), na sala de situação são integradas as informações sobre clima e tempo e, a partir da análise multidisciplinar desses dados, é feita uma avaliação para emissão de alertas.



Figura 7 - Sala de situação do Cemaden, São José dos Campos/SP
Fonte: CEMADEN (2020a)

A infraestrutura da sala de situação tem capacidade para 20 especialistas e dispõe de gabinete de crise com sistema de telepresença, modernos computadores e sistema de emergência para fornecimento de energia elétrica. A sala de situação está interligada ao CENAD, órgão do Ministério da Integração, para auxiliar o Sistema Nacional de Defesa Civil.

O Cemaden atua com quatro níveis de operação e alerta: observação, moderado, alto e muito alto, como visto na FIGURA 8. Esses níveis são de fundamental importância na elaboração e emissão de alertas dentro de um sistema de monitoramento.

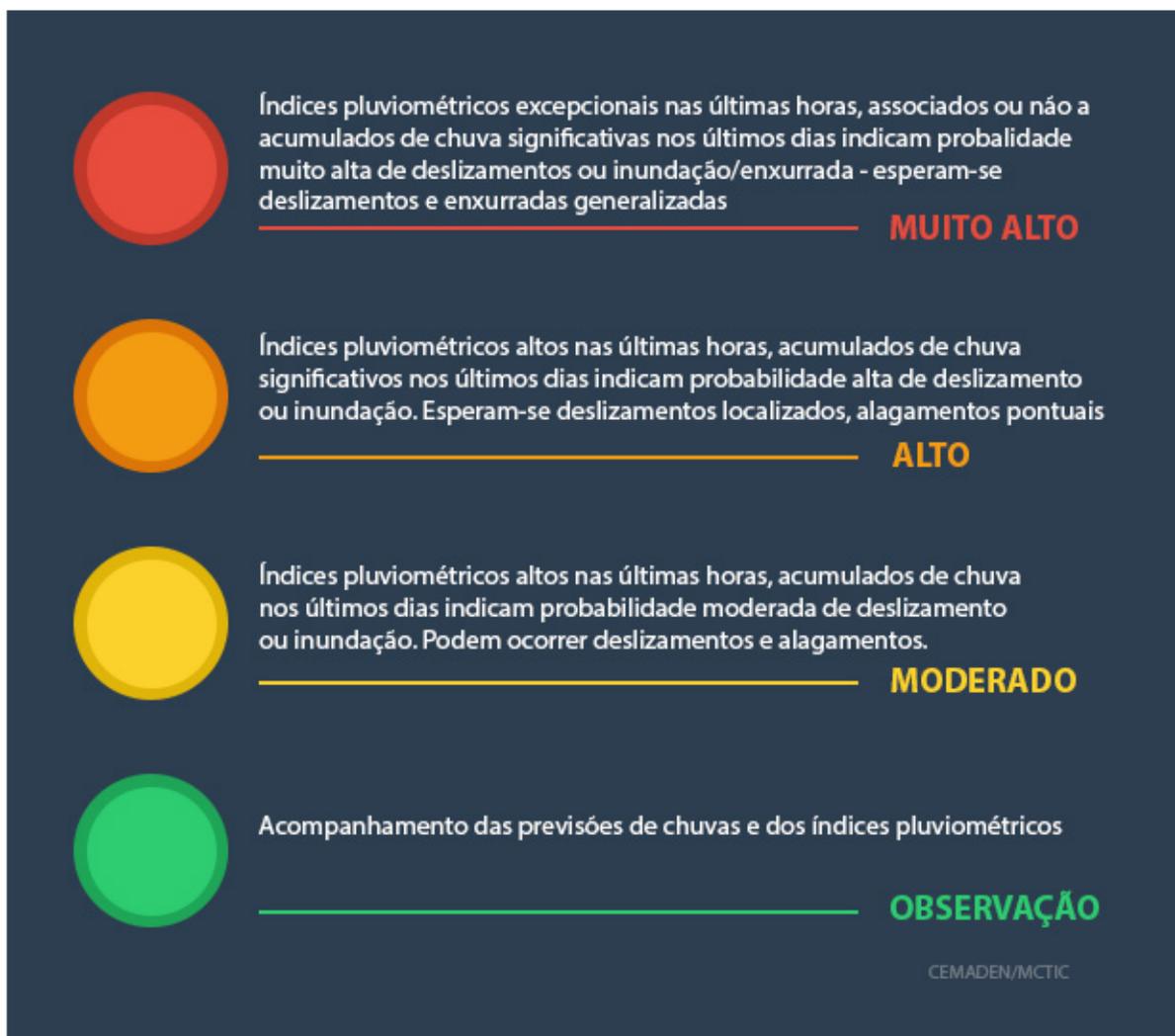


Figura 8 - Níveis de operação e alerta adotados pelo Sistema de Monitoramento do Cemaden

Fonte: CEMADEN (2020a)

Ainda de acordo com informações obtidas no site oficial do Cemaden, no escopo do Plano Nacional de Gestão de Riscos e Respostas, atualmente, são monitorados 958 municípios em todas as regiões do Brasil. É importante destacar que os municípios escolhidos têm histórico de desastres naturais decorrentes de movimentos de massa (deslizamentos de encosta, corridas de massa, solapamento de margens, rolamento ou queda de blocos rochosos e processos erosivos). Além disso, são considerados os processos hidrológicos como inundações, enxurradas e grandes alagamentos. Dessa forma, é importante que os municípios monitorados

tenham áreas de risco para processos geo-hidrológicos devidamente identificadas, mapeadas e georreferenciadas. A FIGURA 9 mostra alguns dos municípios monitorados pelo Cemaden.

Municípios monitorados Região Nordeste

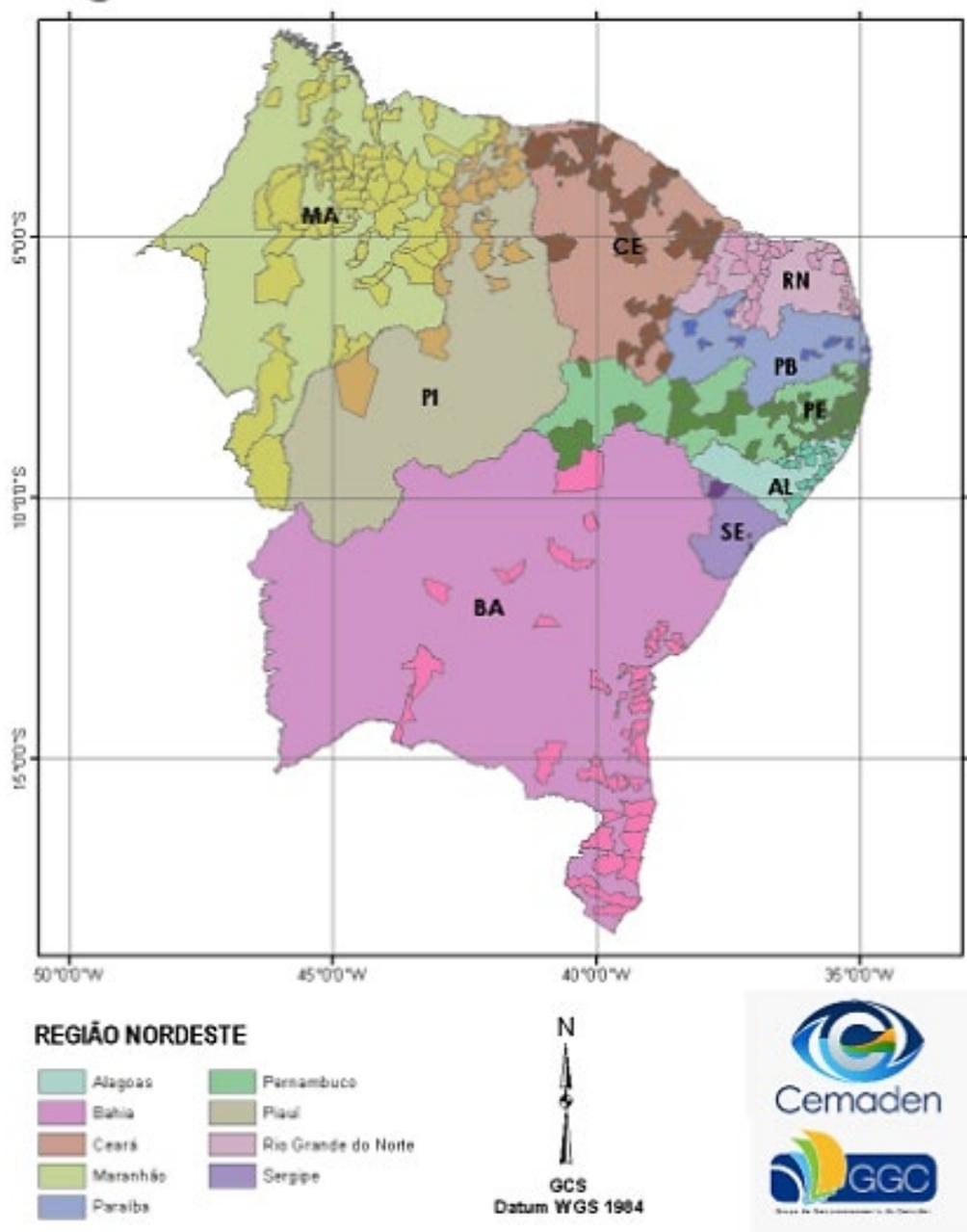


Figura 9 - Municípios monitorados pelo Cemaden na Região Nordeste

Fonte: CEMADEN (2020a)

Outro dado interessante obtido no site do Cemaden trata dos níveis dos alertas enviados desde sua fundação até 31 de dezembro de 2015. Até esse período foram 4353 alertas para risco hidrológico e movimentos de massa.

Tabela 1 - Detalhamento dos Alertas enviados pelo Cemaden de 2011 até 2015

ANO	Municípios*	Muito Alto	Alto	Moderado	Total
2011	56	1	2	15	18
2012	274	4	39	210	253
2013	531	59	271	638	968
2014	856	46	271	1036	1353
2015	888	60	369	1332	1761

*Número de Municípios monitorados

Fonte: CEMADEN (2020a)

Todos os alertas do Cemaden são enviados ao CENAD, que os repassa para os órgãos de Defesa Civil Estadual e Municipal. A FIGURA 10 ilustra os procedimentos que são realizados pelo Cemaden em conjunto com seus parceiros.

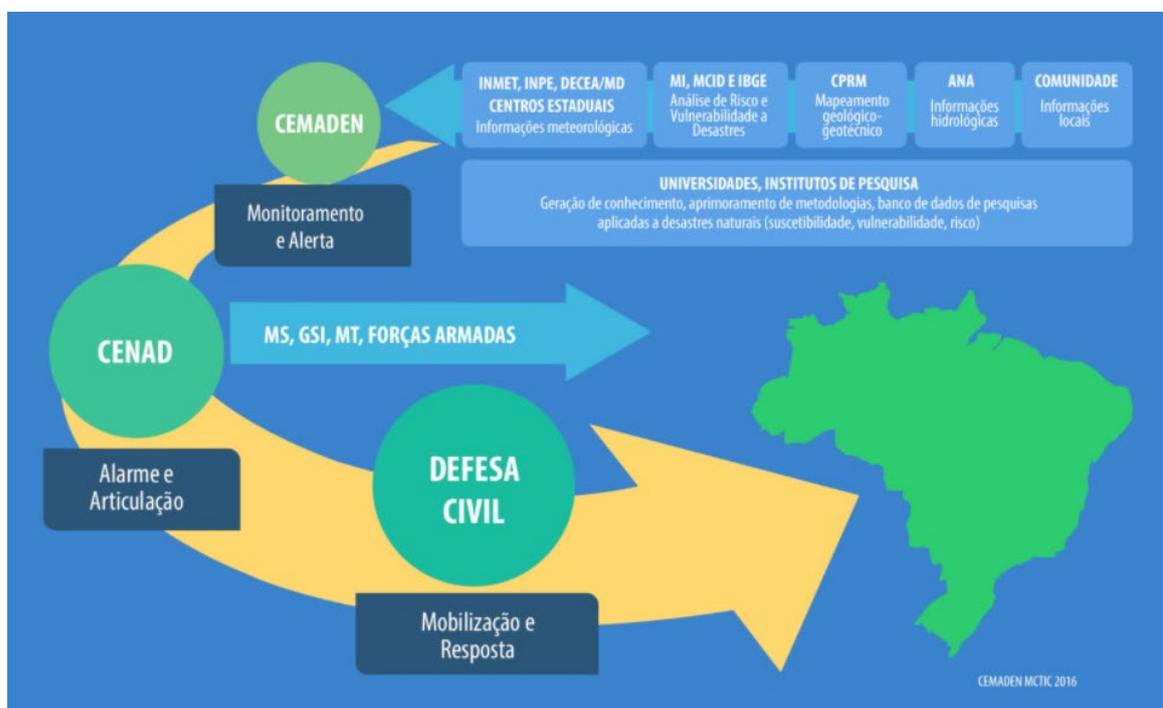


Figura 10 - Fluxograma de ações do Cemaden

Fonte: CEMADEN (2020a)

O Cemaden destaca que, para realizar o monitoramento das áreas de risco, é necessário contar com uma série de equipamentos que compõem a rede observacional. Esta tem como objetivo coletar os dados que serão analisados por uma equipe multidisciplinar para determinação do nível de operação em cada área de risco monitorada. A rede conta com pluviômetros automáticos, radares meteorológicos, sensores geotécnicos, estações hidrológicas, entre outros instrumentos.

Os pluviômetros automáticos que compõem a Rede de Monitoramento Ambiental do Cemaden têm o propósito de medir a quantidade e a intensidade de precipitações capazes de deflagrar desastres naturais como movimentos de massa e inundações. O Cemaden cita que os dados coletados pelos pluviômetros automáticos são de grande importância para o acompanhamento das chuvas em tempo real, pois permitem a análise dos cenários de risco de desastres naturais e a decisão de emitir alertas e em qual nível o alerta se enquadra. Um exemplo de pluviômetro automático pode ser visualizado na FIGURA 11.



Figura 11 - Pluviômetro automático instalado em Campo Grande/RN
Fonte: PLUVIÔMETRO (2015)

Além disso, os dados utilizados para determinação de alertas devem ser precisos e confiáveis, e devem ser acompanhados de forma instantânea (em tempo real). Dessa forma, o Cemaden garante uma conexão entre os pluviômetros automáticos e seus servidores, que recebem os dados acumulados de chuva a cada 10 minutos caso esteja chovendo. As precipitações são dadas em milímetros. Caso não esteja chovendo, o pluviômetro se conecta ao servidor a cada 60 minutos indicando o acumulado de 0 milímetro na última hora. Todos os dados coletados pelos pluviômetros são disponibilizados no Mapa Interativo do Cemaden. O mapa apresenta os pluviômetros espalhados pelo Brasil, informações com o nome e localidade do aparelho, e uma legenda e um rótulo com o acumulado nas últimas 24 horas, como pode ser visto na FIGURA 12.



Figura 12 - Pluviômetros automáticos no Mapa Interativo do Cemaden
Fonte: CEMADEN (2020b)

No Mapa Interativo também é possível baixar séries históricas para, posteriormente, realizar estudos envolvendo uma determinada área ou município.

O Cemaden atualiza diariamente a previsão de riscos geo-hidrológicos em seu site oficial. A previsão é realizada com um dia de antecedência, ou seja, a previsão de risco da data atual é disponibilizada na data anterior. A previsão descreve qual é o cenário de risco de eventos como deslizamentos de terra e inundações para as mesorregiões do Brasil, indicando qual o nível de operação, a localidade (região do Estado ou cidade) e os motivos que justificam a previsão. Além disso, o Cemaden elabora um mapa (FIGURA 13) que mostra as regiões com possibilidade de ocorrência de eventos geo-hidrológicos e os níveis operacionais de alerta.

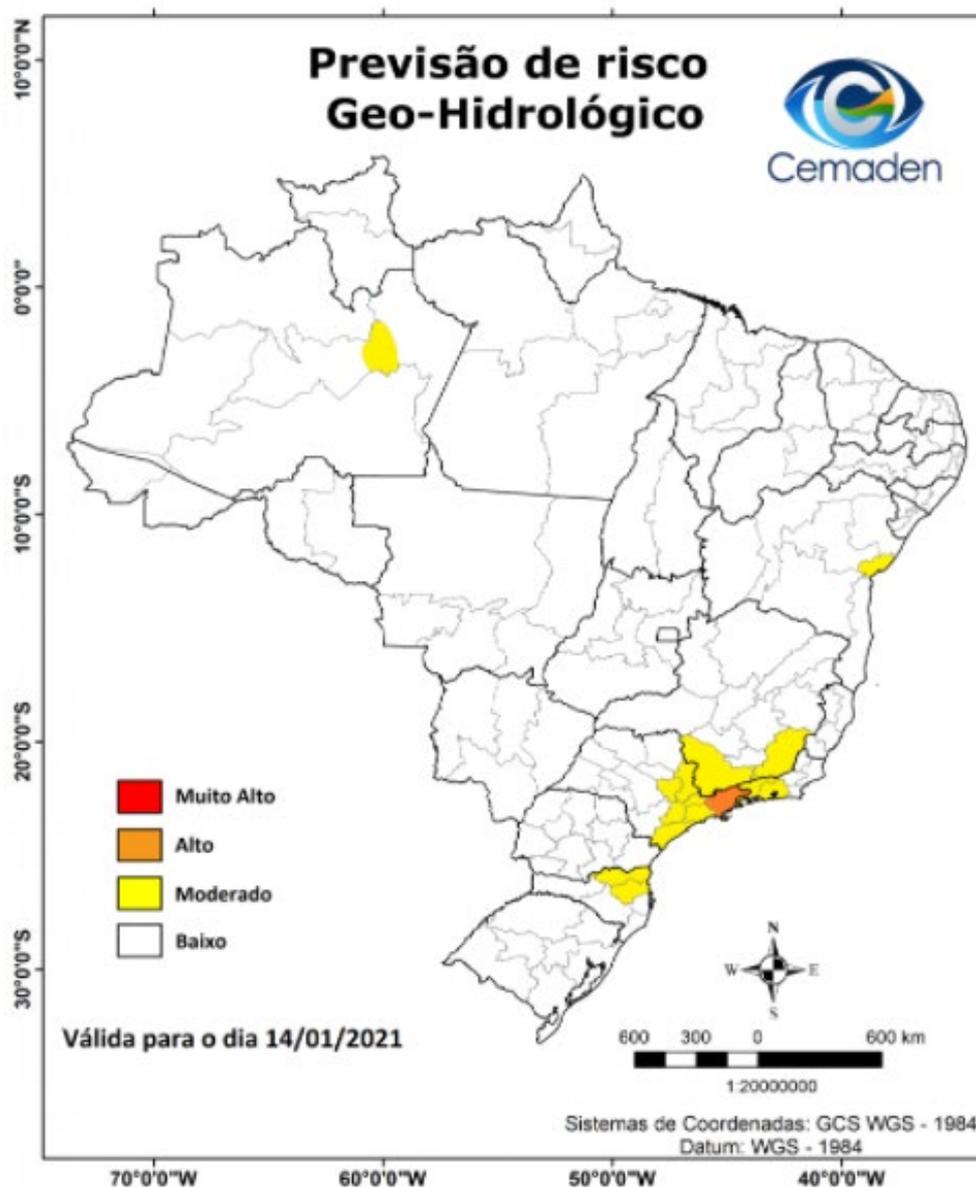


Figura 13 - Exemplo de mapa elaborado pelo Cemaden que traz as mesorregiões brasileiras com possibilidade de ocorrência de eventos geo-hidrológicos para a data considerada
Fonte: CEMADEN (2020a)

2.3.2 *Alerta Rio*

Alerta Rio é o sistema de alerta de chuvas e deslizamentos em encostas da cidade do Rio de Janeiro. O sistema foi criado em 25 de setembro de 1996 e é gerenciado pela Fundação GEO – RIO. O objetivo principal é emitir boletins de alerta de previsão de chuvas intensas e possibilidade de acidentes geotécnicos.

Segundo o site oficial do Alerta Rio, o sistema conta com uma rede de 33 estações telemétricas distribuídas em toda a cidade do Rio de Janeiro. As estações enviam dados a cada 15 minutos para a central. Além disso, o Alerta Rio conta com uma equipe composta por

Meteorologistas, Engenheiros, Geólogos e Técnicos que em conjunto monitoram as condições do tempo e do clima de forma contínua (24 horas por dia durante todos os dias da semana). Quando é detectado algum risco, o Alerta Rio envia avisos para os órgãos competentes (como a Defesa Civil), que enviam o alerta para a população através dos canais do Alerta Rio na internet e da imprensa.

O sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro atua com base em estágios operacionais, e os alertas variam conforme a mudança destes estágios. Cada estágio é descrito a seguir:

- a) Normalidade: Não há ocorrências de grandes magnitudes capazes de gerar grandes impactos para a sociedade. Podem ocorrer pequenos acidentes, bem como acúmulos de água nas vias que não geram riscos e nem interferem na mobilidade do tráfego.
- b) Mobilização: Neste estágio há risco de eventos geo-hidrológicos de maior impacto. O Alerta Rio orienta que os moradores fiquem atentos aos meios de comunicação para obter novas informações.
- c) Atenção: Algum incidente pode estar atingido uma ou mais regiões da cidade com a probabilidade de afetar a mobilidade e comprometer os deslocamentos. Podem ocorrer chuvas fortes e interrupções de vias importantes na cidade.
- d) Alerta: O Alerta Rio recomenda que os moradores não se desloquem pela cidade e fiquem em local seguro, pois ocorrências graves impactam a cidade.
- e) Crise: Neste estágio, uma grande ocorrência está causando transtorno em uma ou mais regiões da cidade. Além disso, pode ocorrer uma chuva intensa e deslizamentos de encostas.

O sistema Alerta Rio recomenda que em estágios de atenção e crise os habitantes das áreas de risco se desloquem para locais seguros, pois moradores de áreas de encostas devem ficar atentos para sinais de movimentação de terra. Além disso, deve-se evitar vias urbanas que atravessam maciços montanhosos e áreas alagadas.

O Alerta Rio também conta com um mapa que informa a probabilidade de ocorrência de escorregamentos quando a rede de pluviômetros detecta valores de precipitação acima dos limites que deflagram esses deslizamentos (FIGURA 14).



Figura 14 - Mapa indicando a probabilidade de escorregamentos na cidade do Rio de Janeiro
 Fonte: PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO (2021)

O sistema de monitoramento apresenta a situação atual de chuva e a probabilidade de escorregamentos em um quadro resumido com os níveis operacionais, como visto na TABELA 2.

Tabela 2 - Resumo da situação atual dos níveis operacionais quanto à chuva e ao escorregamento

Estágio Operacional Rio (Chuva)	
Baía de Guanabara	Mobilização
Baía de Sepetiba	Mobilização
Barra/Jacarepaguá	Mobilização
Zona Sul	Mobilização
Probabilidade de Escorregamento	
Baía de Guanabara	Baixa
Baía de Sepetiba	Baixa
Barra/Jacarepaguá	Baixa
Zona Sul	Baixa

Fonte: PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO (2021)

O Alerta Rio disponibiliza em seu site oficial o mapa de chuvas (FIGURA 15), que apresenta os postos pluviométricos da rede de monitoramento, os valores de precipitação e uma legenda que indica a intensidade das chuvas. Além disso, oferece outros serviços como previsão

do tempo nas próximas 24 horas e nos próximos 4 dias, temperaturas máximas e mínimas diárias, sensação térmica diária e imagens em tempo real de radar meteorológico.



Legenda

- Sem Chuva
- Chuva Fraca (0,2 a 5,0mm/h)
- Chuva Moderada (5,1 a 25,0mm/h)
- Chuva Forte (25,1 a 50,0mm/h)
- Chuva Muito Forte (acima a 50,0mm/h)

Figura 15 - Pluviômetros da rede de monitoramento do Sistema Alerta Rio

Fonte: PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO (2021)

2.3.3 SAISP

O SAISP realiza o monitoramento hidrológico através da Rede de Hidrologia do DAEE e do Radar Meteorológico de São Paulo. O sistema gera relatórios sobre as chuvas em São Paulo e suas principais consequências para a cidade. Os relatórios informam sobre o andamento das chuvas e torna possível determinar sua intensidade e duração. Além disso, o relatório apresenta as imagens de radar antes, durante e o acumulado de chuva (FIGURAS 16, 17 e 18).

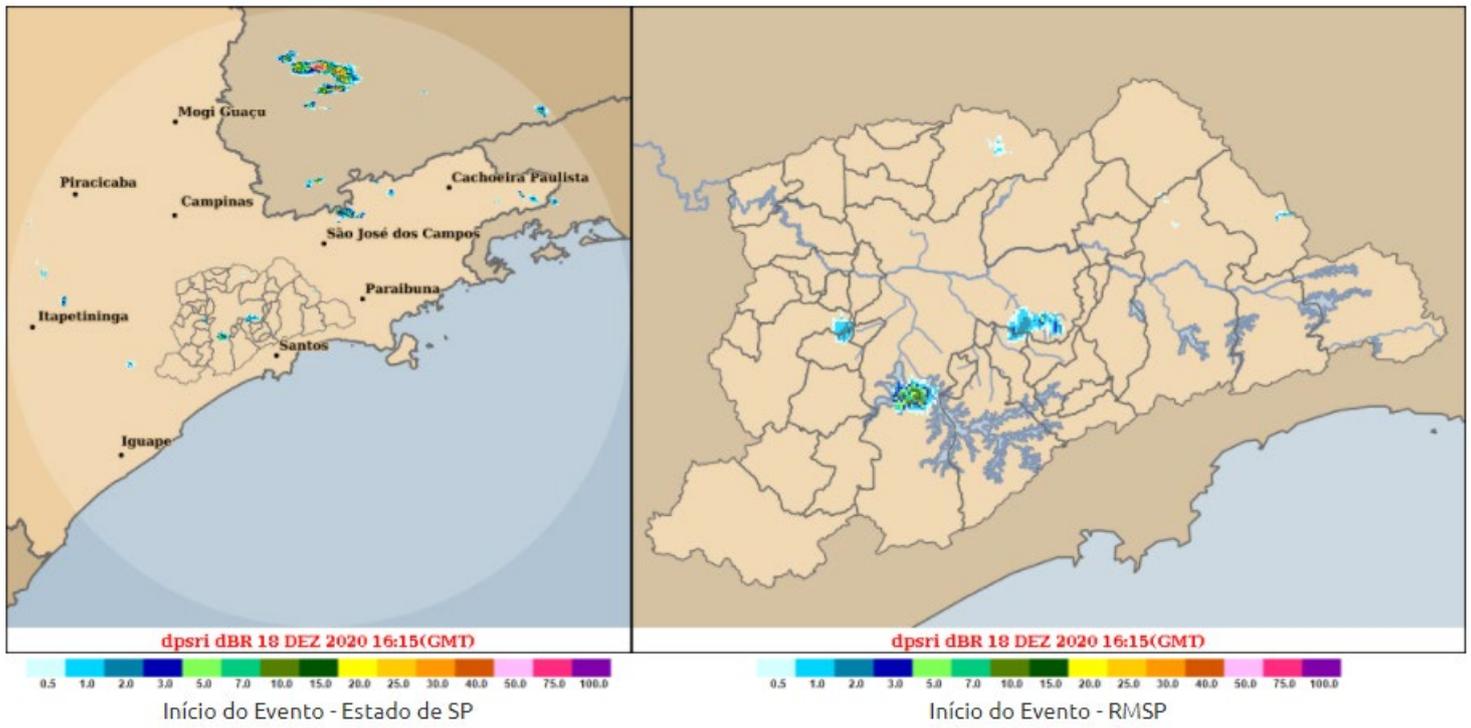


Figura 16 - Dados do radar meteorológico no início do evento de chuva
 Fonte: SAISP (2021)

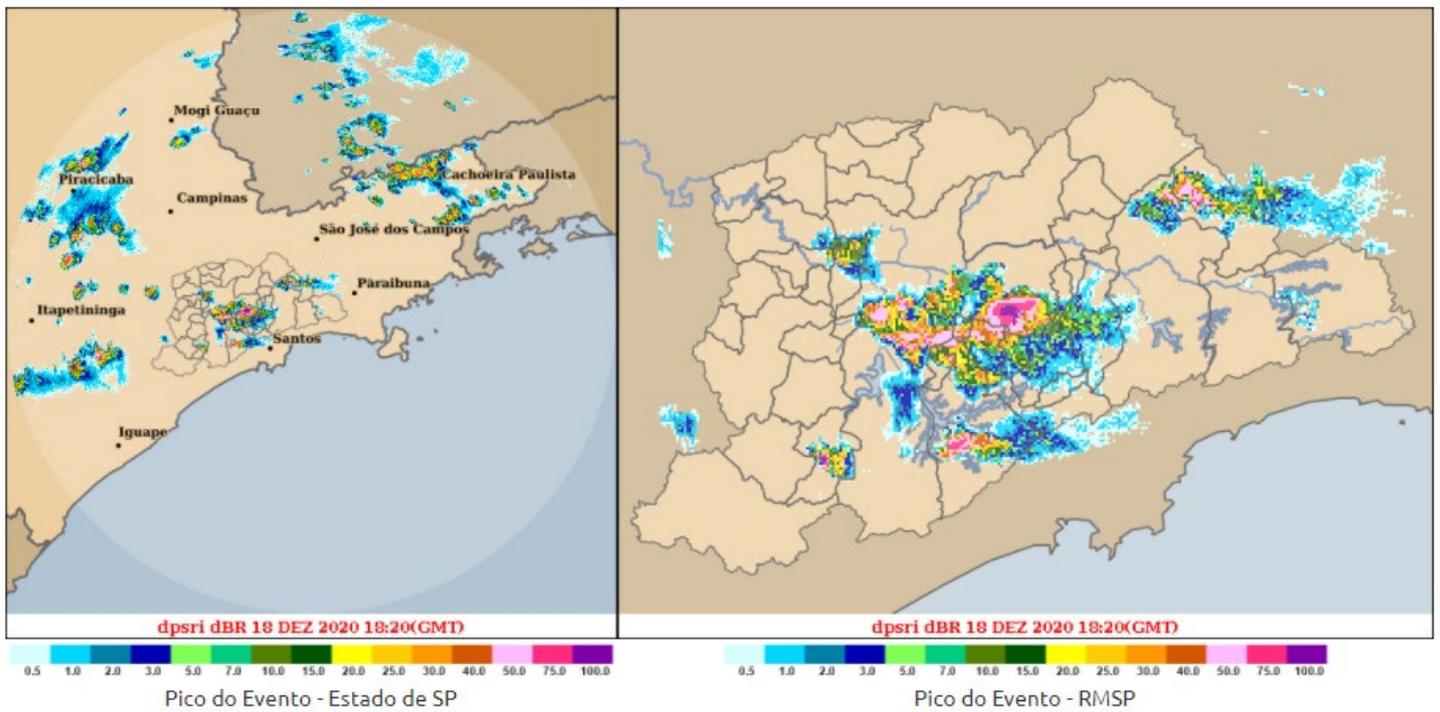


Figura 17 - Dados do radar meteorológico no pico do evento de chuva
 Fonte: SAISP (2021)

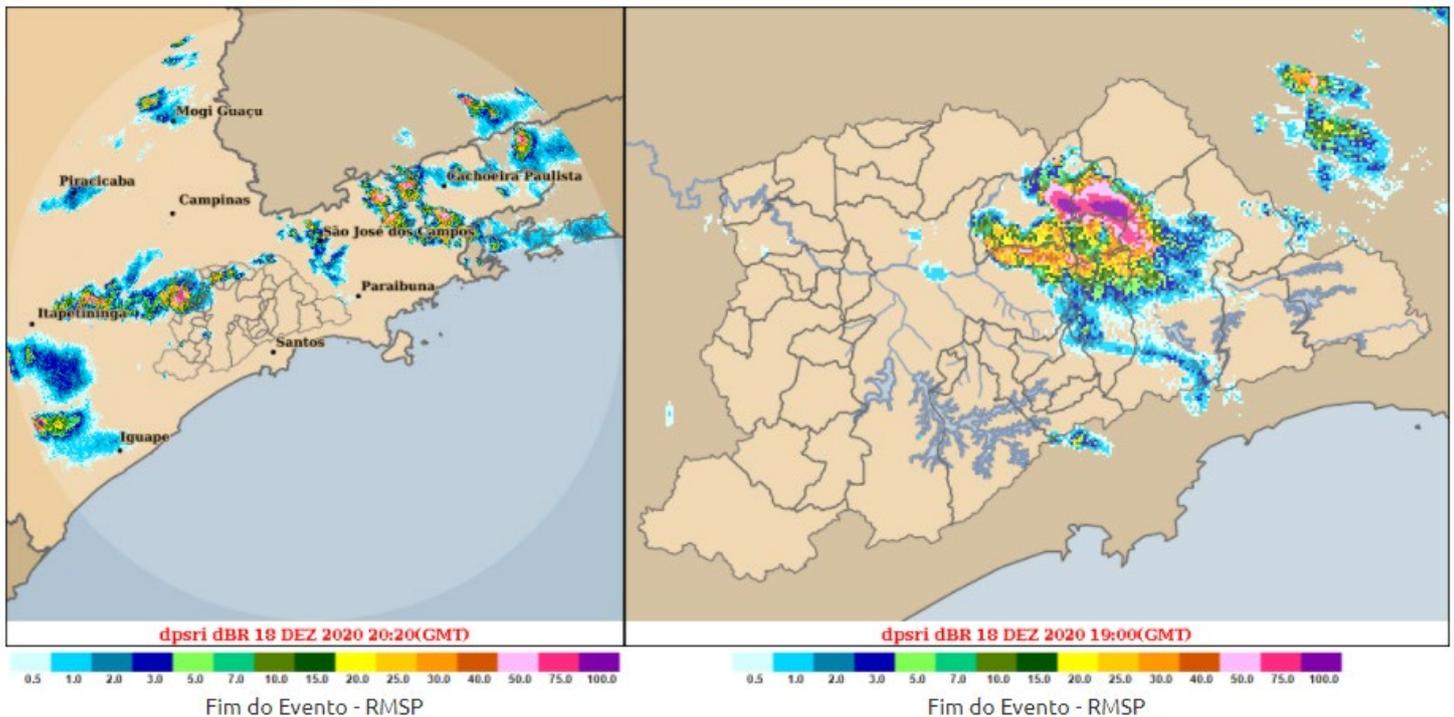


Figura 18 - Dados do radar meteorológico no fim do evento de chuva
Fonte: SAISP (2021)

O SAISP oferece diversos serviços relacionados ao monitoramento das chuvas. Além do Radar Meteorológico de São Paulo, o sistema dispõe de redes telemétricas que contam com 28 postos (13 fluviométricos e 15 pluviométricos), distribuídos na bacia do rio Tietê a montante do rio Pinheiros. A rede telemétrica do Alto Tietê é responsável pela coleta de dados das estações remotas (FIGURA 19). Estas informações consistem nos dados de leitura dos instrumentos de medida de nível de rios, reservatórios e índices pluviométricos. A coleta de dados é realizada a cada 10 minutos, e a comunicação ocorre através de linhas privadas e sistema de rádio VHF.

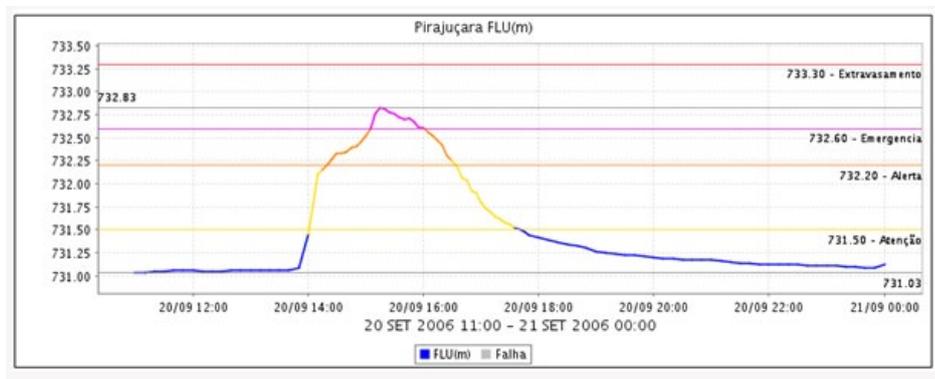


Figura 19 - Coleta de dados da rede telemétrica do Alto Tietê
Fonte: SAISP (2021)

2.3.4 Sistema de alerta no Japão

O Japão é um país que tradicionalmente investe muitos recursos em sistemas de alerta. Em eventos de terremotos, a Agência Meteorológica divulga alertas e boletins informativos sobre a possibilidade de uma ocorrência. As informações de tsunamis observadas em alto mar são passadas para as autoridades em tempo real. O Japão conta com uma grande quantidade de estações de medição sismográfica e do nível do mar. Os alertas podem ser enviados de forma rápida e eficiente através de um alerta disparado nas televisões, que informa a população sobre algum desastre iminente, ou por rede de telefonia celular.

Segundo Sales (2017), as autoridades competentes e as províncias japonesas formam uma rede colaborativa que tem como objetivo integrar as ações de alerta, preparar a resposta, definir locais de abrigo e permitir a evacuação em tempo adequado. A Agência Meteorológica do Japão fornece os dados pluviométricos que permitem analisar e determinar as áreas de risco. Além disso, fornece um mapa mostrando o nível de operação do sistema de alerta para cada região do país (FIGURA 20).

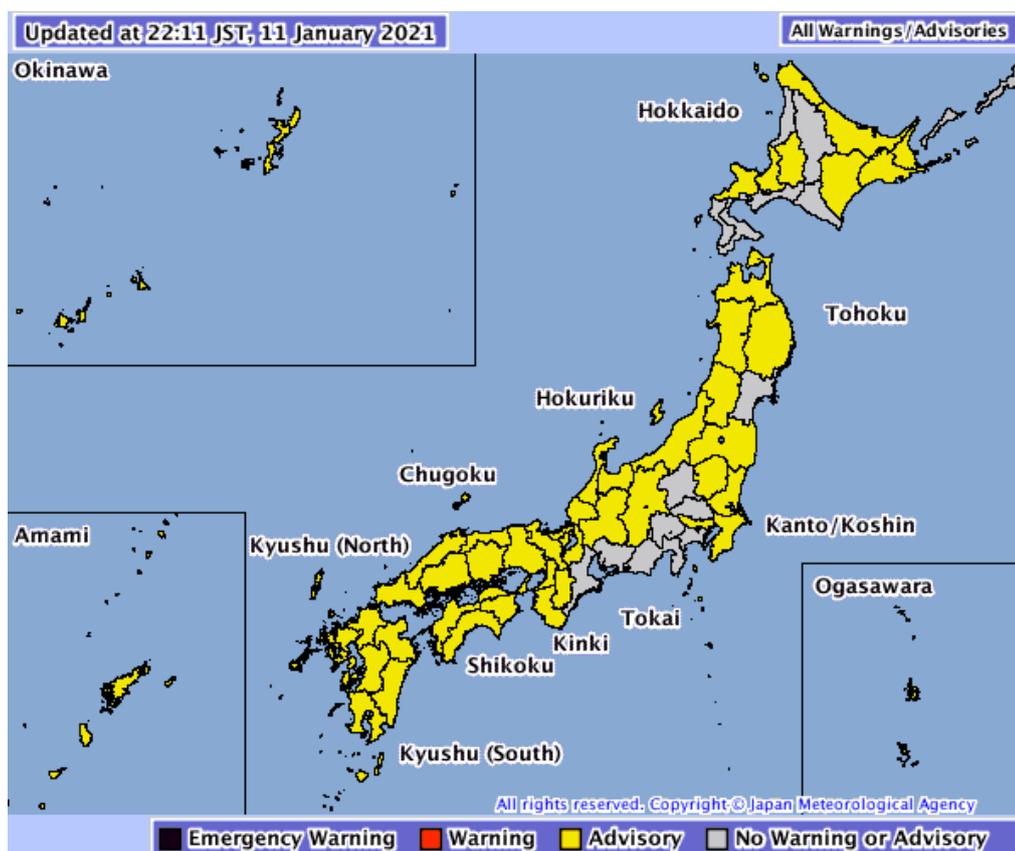


Figura 20 - Mapa dos níveis de alerta da Agência Meteorológica do Japão
Fonte: JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY (2021)

Outros serviços prestados pela Agência Meteorológica do Japão são observações por satélites meteorológicos, previsão do tempo, serviços meteorológicos da aviação e marinha, questões ambientais climáticas, monitoramento de terremotos, tsunamis e atividade vulcânica e processamento e telecomunicações de dados.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

O desenvolvimento de um programa surgiu da necessidade de oferecer uma ferramenta para a Defesa Civil de João Pessoa capaz de gerar e emitir alertas de maneira automática. Até então, não havia nenhum sistema de monitoramento e alerta para a cidade.

Para elaboração do programa, foi utilizada a linguagem de programação da Microsoft: o VBA. Esta linguagem permite a automação de diversas atividades por meio da utilização das ferramentas nativas do *Excel*®, bem como através da conexão entre outros aplicativos da *Microsoft*®, como *Word*® e *Outlook*®, que foram usados no programa.

A ideia foi criar um programa prático, de uso simples, e que fosse extremamente objetivo em suas aplicações. Por isso o *Excel*® foi escolhido como plataforma base, por se tratar de uma ferramenta bastante usual do cotidiano de estudantes de Engenharia Civil.

O programa conta com alguns elementos principais, que serão explicados a seguir:

- a) Guias: para facilitar o uso, o programa foi dividido em abas (ou guias) que direcionam o usuário através das ferramentas mais importantes. O intuito também inclui deixar o visual e *layout* do programa o mais próximo possível dos aplicativos usuais, como o próprio Excel, que também é separado por guias de auxílio à experiência do usuário.
- b) Botões: o Excel permite atribuir uma macro ou um código a um botão. Através do clique desses botões, é possível gerar gráficos, relatórios no *Word*® e enviar e-mails, por exemplo. Cada botão recebe uma denominação sugerindo qual procedimento ele executa.
- c) Formulários: o VBA possui uma ferramenta chamada formulário do usuário, que permite a execução de códigos, visualização de tabelas e gráficos, entre outros recursos.
- d) Caixas de mensagem: é a forma que o programa se utiliza para comunicação direta com o usuário através de mensagens de alerta, de erros e informativos.

A primeira etapa para desenvolvimento do programa foi levantar quais seriam as principais ferramentas que iriam compor o programa. Como o objetivo é criar um sistema de monitoramento de alerta baseado na correlação entre chuvas e deslizamentos, foram listadas quatro aplicações básicas que o programa deveria ser capaz de realizar:

- a) Monitorar o grau de risco;
- b) Emitir alerta de deslizamento para as áreas de risco;
- c) Simplificar a análise e elaboração de curvas de correlação;
- d) Gerar relatórios com os dados coletados.

A seguir serão detalhadas cada uma dessas aplicações, como foram desenvolvidas e como funcionam na prática.

3.1 Monitorar o grau de risco

O programa foi desenvolvido para o monitoramento das condições de risco na cidade de João Pessoa. A fonte utilizada para obtenção das leituras pluviométricas foi o Mapa Interativo do Cemaden.

Com o intuito de obter maior precisão e confiabilidade nos alertas emitidos, tomou-se a decisão de dividir a cidade segundo a área de influência de cada posto pluviométrico. Por meio da consulta ao Mapa Interativo do Cemaden, tem-se a quantidade de sete postos pluviométricos na cidade de João Pessoa e as coordenadas de latitude e longitude de cada posto (FIGURA 21).

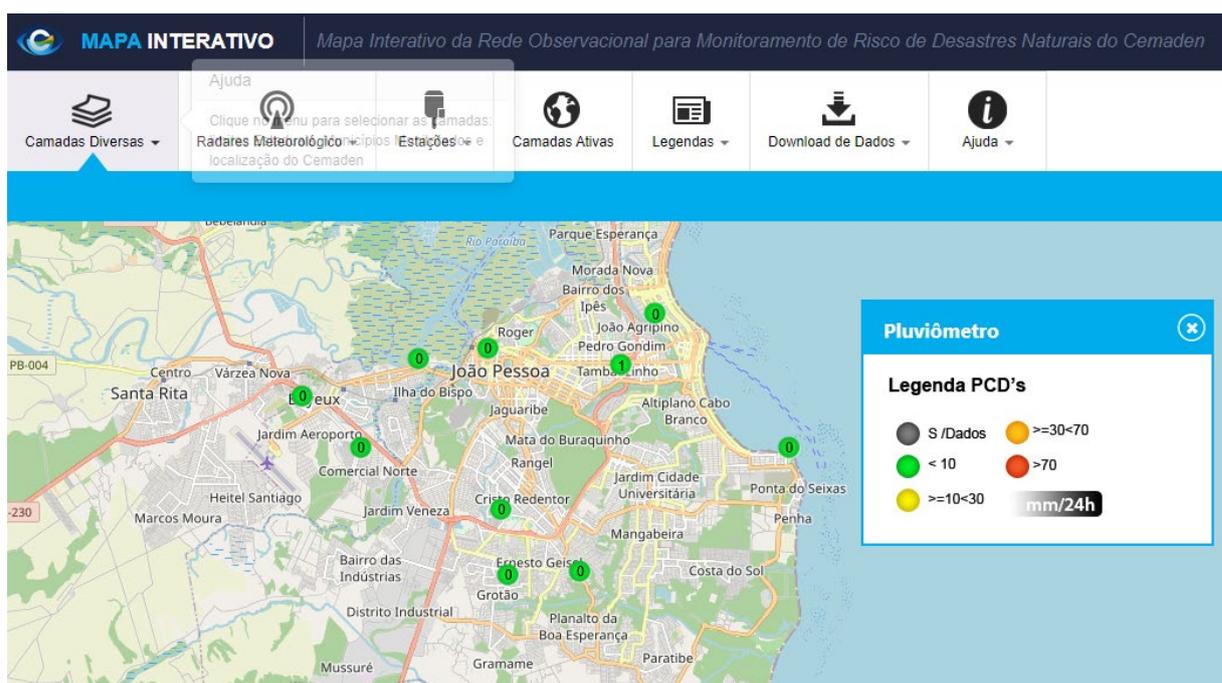


Figura 21 - Distribuição espacial dos postos pluviométricos de João Pessoa
Fonte: CEMADEN (2020b)

Foram utilizados o software *ArcGIS*® e a ferramenta de criação dos Polígonos de Thiessen para determinação das áreas de influência para a cidade de João Pessoa (FIGURA 22 e TABELA 3).

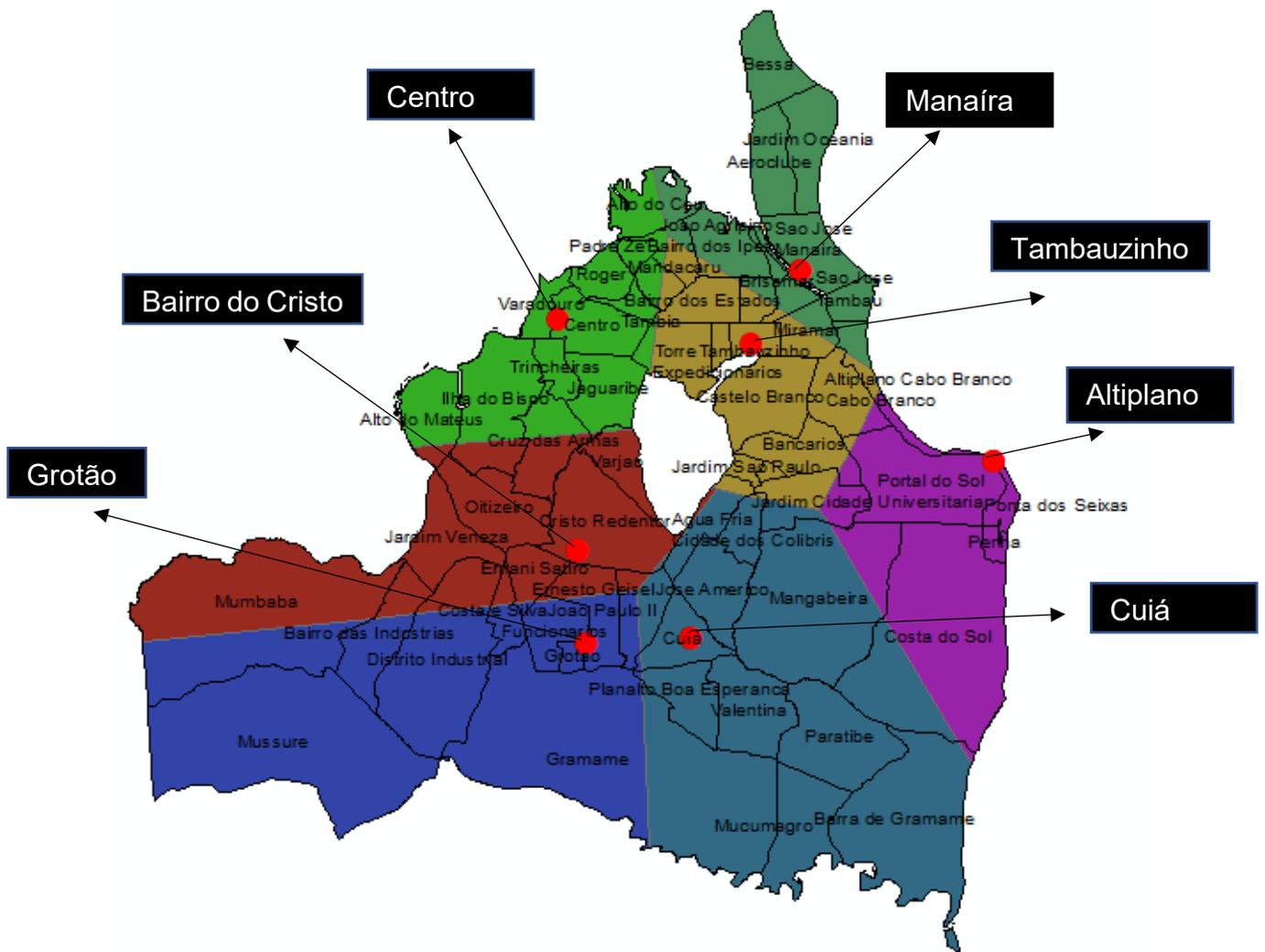


Figura 22 - Área de influência de cada posto pluviométrico
Fonte: O AUTOR (2021)

Tabela 3 - Bairros que compõem cada área de influência

Bairro	Área de Influência
Cabo Branco (João Pessoa) - Paraíba	Altiplano
Costa do Sol (João Pessoa) - Paraíba	Altiplano
Penha (João Pessoa) - Paraíba	Altiplano
Ponta do Seixas (João Pessoa) - Paraíba	Altiplano
Portal do Sol (João Pessoa) - Paraíba	Altiplano
Cristo Redentor (João Pessoa) - Paraíba	Bairro do Cristo
Cruz das Armas (João Pessoa) - Paraíba	Bairro do Cristo
Ernâni Sátiro (João Pessoa) - Paraíba	Bairro do Cristo
Esplanada (João Pessoa) - Paraíba	Bairro do Cristo
Jardim Veneza (João Pessoa) - Paraíba	Bairro do Cristo
Mumbaba (João Pessoa) - Paraíba	Bairro do Cristo
Oitizeiro (João Pessoa) - Paraíba	Bairro do Cristo
Varjão (João Pessoa) - Paraíba	Bairro do Cristo

Alto do Céu (João Pessoa) - Paraíba	Centro
Alto do Mateus (João Pessoa) - Paraíba	Centro
Centro (João Pessoa) - Paraíba	Centro
Ilha do Bispo (João Pessoa) - Paraíba	Centro
Jaguaribe (João Pessoa) - Paraíba	Centro
Padre Zé (João Pessoa) - Paraíba	Centro
Róger (João Pessoa) - Paraíba	Centro
Tambiá (João Pessoa) - Paraíba	Centro
Treze de Maio (João Pessoa) - Paraíba	Centro
Trincheiras (João Pessoa) - Paraíba	Centro
Varadouro (João Pessoa) - Paraíba	Centro
Água Fria (João Pessoa) - Paraíba	Cuiá
Barra de Gramame (João Pessoa) - Paraíba	Cuiá
Cidade dos Colibris (João Pessoa) - Paraíba	Cuiá
Cuiá (João Pessoa) - Paraíba	Cuiá
Ernesto Geisel (João Pessoa) - Paraíba	Cuiá
José Américo (João Pessoa) - Paraíba	Cuiá
Mangabeira (João Pessoa) - Paraíba	Cuiá
Muçumagro (João Pessoa) - Paraíba	Cuiá
Paratibe (João Pessoa) - Paraíba	Cuiá
Planalto Boa Esperança (João Pessoa) - Paraíba	Cuiá
Valentina (João Pessoa) - Paraíba	Cuiá
Bairro das Indústrias (João Pessoa) - Paraíba	Grotão
Costa e Silva (João Pessoa) - Paraíba	Grotão
Distrito Industrial (João Pessoa) - Paraíba	Grotão
Funcionários (João Pessoa) - Paraíba	Grotão
Gramame (João Pessoa) - Paraíba	Grotão
Grotão (João Pessoa) - Paraíba	Grotão
João Paulo II (João Pessoa) - Paraíba	Grotão
Mussuré (João Pessoa) - Paraíba	Grotão
Aeroclube (João Pessoa) - Paraíba	Manaíra
Bairro dos Ipês (João Pessoa) - Paraíba	Manaíra
Bessa (João Pessoa) - Paraíba	Manaíra
Brisamar (João Pessoa) - Paraíba	Manaíra
Jardim Oceania (João Pessoa) - Paraíba	Manaíra
João Agripino (João Pessoa) - Paraíba	Manaíra
Manaíra (João Pessoa) - Paraíba	Manaíra
Pedro Gondim (João Pessoa) - Paraíba	Manaíra
São José (João Pessoa) - Paraíba	Manaíra
Tambaú (João Pessoa) - Paraíba	Manaíra
Altiplano (João Pessoa) - Paraíba	Tambauzinho
Anatólia (João Pessoa) - Paraíba	Tambauzinho
Bairro dos Estados (João Pessoa) - Paraíba	Tambauzinho
Bancários (João Pessoa) - Paraíba	Tambauzinho
Castelo Branco (João Pessoa) - Paraíba	Tambauzinho

Expedicionários (João Pessoa) - Paraíba	Tambauzinho
Jardim Cidade Universitária (João Pessoa) - Paraíba	Tambauzinho
Jardim São Paulo (João Pessoa) - Paraíba	Tambauzinho
Mandacaru (João Pessoa) - Paraíba	Tambauzinho
Miramar (João Pessoa) - Paraíba	Tambauzinho
Tambauzinho (João Pessoa) - Paraíba	Tambauzinho
Torre (João Pessoa) - Paraíba	Tambauzinho

Fonte: O AUTOR (2021)

O programa foi desenvolvido para, de forma automática e sistemática, consultar e copiar todos os dados de precipitação dos postos pluviométricos de João Pessoa em intervalos fixos de tempo. A cada 10 minutos, o programa consulta os valores de precipitação e verifica a situação em relação à chuva, isto é, se está chovendo ou não. Caso a soma das precipitações seja igual a zero, o programa indica que “Não está chovendo”; caso contrário, o programa indica que “Está chovendo” (FIGURA 23).

Caso esteja chovendo, o programa realizará o monitoramento das sete áreas de influência com intervalo de 10 minutos. Caso não esteja chovendo, o programa indicará, a cada intervalo de 60 minutos, que todos os postos pluviométricos indicam zero na sua leitura. Esses intervalos foram considerados levando em conta dois aspectos: o Mapa Interativo do Cemaden atualiza seus dados a cada 10 minutos quando está chovendo e a cada 60 minutos quando não está chovendo. Foi considerado um intervalo maior de tempo para a situação em que ocorre chuva, para que seja possível realizar o monitoramento de todas as áreas e para que o envio dos alertas (caso necessário) não seja interrompido por outra ação do programa.

Hora	Data	Precipitação Diária (mm)	Posto	Postos Pluviométricos	Condição
11:20:32 AM	19/01/2021	0	Altiplano	Altiplano	Não
11:20:32 AM	19/01/2021	0,2	Bairro do Cristo	Bairro do Cristo	Sim
11:20:33 AM	19/01/2021	4	Centro	Centro	Sim
11:20:33 AM	19/01/2021	0,8	Cuiá	Cuiá	Sim
11:20:34 AM	19/01/2021	0,4	Grotão	Grotão	Sim
11:20:34 AM	19/01/2021	6,8	Manaíra	Manaíra	Sim
11:20:35 AM	19/01/2021	5,2	Tambauzinho	Tambauzinho	Sim
11:40:08 AM	19/01/2021	0	Altiplano	Situação de Chuva	
11:40:09 AM	19/01/2021	0,2	Bairro do Cristo	Está chovendo	
11:40:09 AM	19/01/2021	4	Centro		
11:40:10 AM	19/01/2021	0,8	Cuiá		
11:40:10 AM	19/01/2021	0,4	Grotão		
11:40:10 AM	19/01/2021	6,8	Manaíra		
11:40:11 AM	19/01/2021	5,2	Tambauzinho		
11:55:10 AM	19/01/2021	0	Altiplano		
11:55:11 AM	19/01/2021	0,2	Bairro do Cristo		
11:55:11 AM	19/01/2021	4	Centro		
11:55:12 AM	19/01/2021	0,6	Cuiá		
11:55:12 AM	19/01/2021	0,4	Grotão		
11:55:12 AM	19/01/2021	6,8	Manaíra		
11:55:13 AM	19/01/2021	5,2	Tambauzinho		

Figura 23 - Indicação da situação de chuva na guia Base de Dados do Programa Alerta de Deslizamentos João Pessoa/PB

Fonte: PROGRAMA ALERTA DE DESLIZAMENTOS JOÃO PESSOA/PB (2021)

Uma preocupação em sistemas de monitoramento e alerta é garantir que os dados estejam disponíveis. É possível que, em alguns casos, um ou mais postos pluviométricos possam estar com defeito e sem dados (FIGURA 24).

Nessas condições, o usuário do programa irá marcar a opção “Não” em “Condição” para o pluviômetro que apresentar a legenda “S/Dados” no Mapa Interativo do Cemaden (FIGURA 25). Dessa forma, diante da indisponibilidade de dados para o posto que se encontra nessas condições, o programa determinará o maior valor de precipitação diária registrada até o momento e fará o monitoramento do grau de risco de deslizamento considerando a área de influência sem dados como toda a cidade de João Pessoa.

Como pode-se observar na FIGURA 26, diariamente o programa registra na guia “Base de Dados” os valores máximos verificados, tanto para cada posto quanto o maior valor diário que foi verificado entre todos os postos; este valor será atribuído como o máximo diário para a cidade de João Pessoa. Tais valores ficam salvos no programa para posterior análise dos dados de precipitação, para consulta do alerta em uma data anterior e para geração dos gráficos de correlação e dispersão, que serão mostrados adiante.

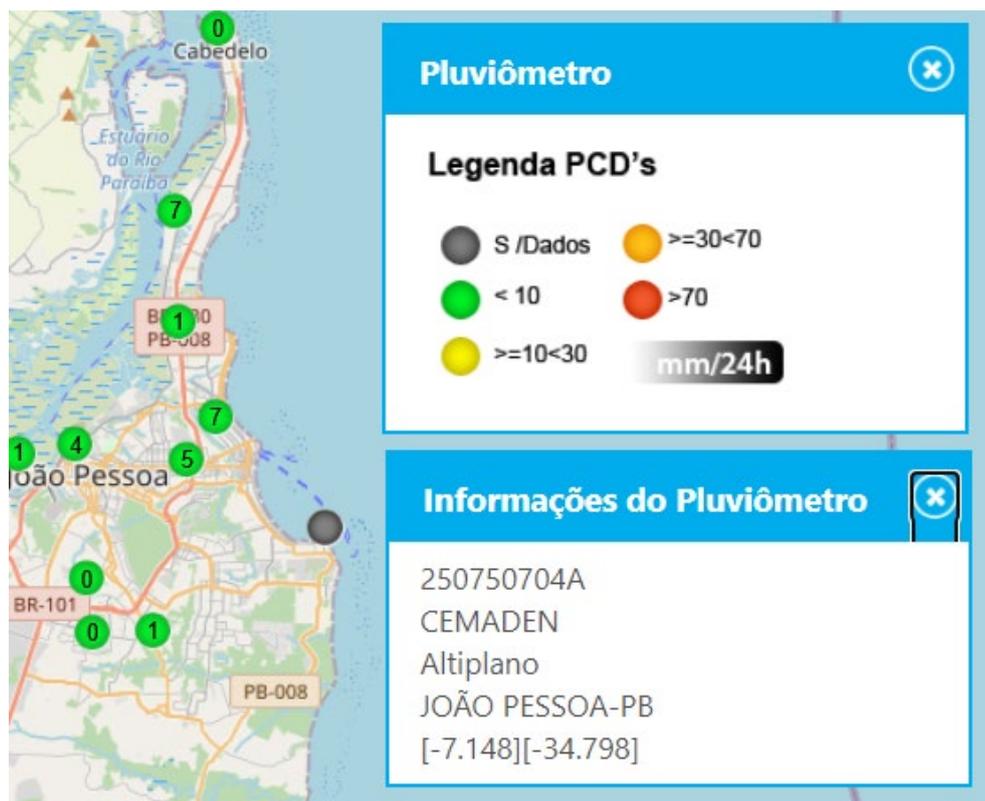


Figura 24 - Posto pluviométrico com indisponibilidade de dados
Fonte: CEMADEN (2020b)

Programa Alerta de Deslizamentos - JP - Excel

Hora	Data	Precipitação Diária (mm)	Posto	Postos Pluviométricos	Condição
11:20:32 AM	19/01/2021	0	Altiplano	Altiplano	Não
11:20:32 AM	19/01/2021	0,2	Bairro do Cristo	Bairro do Cristo	Sim
11:20:33 AM	19/01/2021	4	Centro	Centro	Sim
11:20:33 AM	19/01/2021	0,8	Cuiá	Cuiá	Sim
11:20:34 AM	19/01/2021	0,4	Grotão	Grotão	Sim
11:20:34 AM	19/01/2021	6,8	Manaíra	Manaíra	Sim
11:20:35 AM	19/01/2021	5,2	Tambauzinho	Tambauzinho	Sim
11:40:08 AM	19/01/2021	0	Altiplano		
11:40:09 AM	19/01/2021	0,2	Bairro do Cristo	Situação de Chuva	
11:40:09 AM	19/01/2021	4	Centro	Está chovendo	
11:40:10 AM	19/01/2021	0,8	Cuiá		
11:40:10 AM	19/01/2021	0,4	Grotão		
11:40:10 AM	19/01/2021	6,8	Manaíra		

Base de Dados

Alerta

Organizar Dados

Os dados referentes a 18/01/2021 foram atualizados em 19/01/2021 às 10:35:17

Verificações em andamento

Próxima verificação em 19/01/2021 12:40

Limpeza da base de dados

Programada para 31/01/2021

Inserir Dados

Filtro por Posto

Organizar Dados

Figura 25 - Indicação da condição de disponibilidade de dados da rede de pluviômetros do Cemaden instalados na cidade de João Pessoa
Fonte: PROGRAMA ALERTA DE DESLIZAMENTOS JOÃO PESSOA/PB (2021)

Altoplano		Bairro do Cristo		Centro		Cuiá		Grotão		Manaira	
Data	Precipitação Diária (mm)	Data	Precipitação Diária (mm)	Data	Precipitação Diária (mm)	Data	Precipitação Diária (mm)	Data	Precipitação Diária (mm)	Data	Precipitação Diária (mm)
17/04/2021	50	17/04/2021	2,8	17/04/2021	3,4	17/04/2021	3	17/04/2021	2,4	17/04/2021	
18/04/2021	13,2	18/04/2021	2,8	18/04/2021	4,6	18/04/2021	6,4	18/04/2021	2,4	18/04/2021	
19/04/2021	100	19/04/2021	0	19/04/2021	0	19/04/2021	0	19/04/2021	0	19/04/2021	
20/04/2021	0	20/04/2021	0	20/04/2021	0	20/04/2021	0	20/04/2021	0	20/04/2021	
21/04/2021	0	21/04/2021	0	21/04/2021	0	21/04/2021	0	21/04/2021	0	21/04/2021	
22/04/2021	0	22/04/2021	0	22/04/2021	0	22/04/2021	0	22/04/2021	0	22/04/2021	
24/04/2021	0	24/04/2021	0	24/04/2021	0	24/04/2021	0	24/04/2021	0	24/04/2021	
25/04/2021	150	25/04/2021	0	25/04/2021	0	25/04/2021	0	25/04/2021	0	25/04/2021	
26/04/2021	20	26/04/2021	0,6	26/04/2021	0	26/04/2021	0,2	26/04/2021	0	26/04/2021	
27/04/2021	150	27/04/2021	0	27/04/2021	0	27/04/2021	0	27/04/2021	0	27/04/2021	
28/04/2021	1,4	28/04/2021	1,2	28/04/2021	2,4	28/04/2021	6,4	28/04/2021	3,6	28/04/2021	
29/04/2021	0,8	29/04/2021	14,8	29/04/2021	9,4	29/04/2021	18,8	29/04/2021	3,6	29/04/2021	
30/04/2021	0	30/04/2021	0	30/04/2021	0	30/04/2021	0	30/04/2021	0	30/04/2021	
01/05/2021	0	01/05/2021	4,8	01/05/2021	0	01/05/2021	0	01/05/2021	0,6	01/05/2021	
02/05/2021	0	02/05/2021	0	02/05/2021	0	02/05/2021	0	02/05/2021	0	02/05/2021	

Figura 26 - Valores máximos diários registrados na guia “Base de Dados” do Programa Alerta de Deslizamentos João Pessoa/PB

Fonte: PROGRAMA ALERTA DE DESLIZAMENTOS JOÃO PESSOA/PB (2021)

Como apresentado na FIGURA 27, na guia “Gráficos” é possível que o usuário defina a curva limite para cada área de influência e para João Pessoa, bem como a quantidade de dias de precipitação acumulada. A definição desses parâmetros foi resumidamente explicada no item “Influência das chuvas nos movimentos de massa”.

Data	Precipitação Diária (mm)	Datas com Casos Registrados	Datas sem Casos Registrados	Dias de Precipitação Acumulada
25/02/2021	0,00001	11/09/2020	25/02/2021	7
26/02/2021	168,4	09/01/2021	26/02/2021	
27/02/2021	123,4	10/01/2021	28/02/2021	Transformar Formato da Equação
28/02/2021	43,8	03/02/2021	07/03/2021	
01/03/2021	25,4	09/02/2021	08/03/2021	Definir Curvas Limite
02/03/2021	15,8	27/02/2021	09/03/2021	PD=2938.6*PA^0.67
03/03/2021	0,00001	01/03/2021	10/03/2021	PD=2938.6*PA^0.67
04/03/2021	3,4	02/03/2021	14/03/2021	PD=2938.6*PA^0.67
05/03/2021	0,00001	05/03/2021	16/03/2021	PD=2938.6*PA^0.67
06/03/2021	0,00001	06/03/2021	17/03/2021	PD=2938.6*PA^0.67
07/03/2021	0,00001	15/03/2021	18/03/2021	PD=2938.6*PA^0.67
08/03/2021	8,8	25/03/2021	19/03/2021	PD=2938.6*PA^0.67
09/03/2021	0,00001	30/03/2021	20/03/2021	PD=2938.6*PA^0.67
10/03/2021	3		21/03/2021	PD=2938.6*PA^0.67
11/03/2021	8		22/03/2021	
12/03/2021	0,00001		23/03/2021	Dias de Precipitação Acumulada
13/03/2021	67		24/03/2021	7
14/03/2021	18,2		27/03/2021	7
15/03/2021	0,00001		28/03/2021	7
16/03/2021	1,8		29/03/2021	7
17/03/2021	6,6			7

Atualizar Datas

Filtrar Datas

Gráficos de Dispersão

Curva de Correlação

Curvas de Correlação

Análise de PA vs PD

Transformar Equação

Alerta

Relato de Casos

Análise de Casos

Bairros

Gráficos

Ajuda

Início

Atualizar Datas/Filtrar Datas

Datas atualizadas em: 11:34:19
30/03/2021

Filtro Aplicado em: 09:53:44
09/03/2021

Figura 27 - Definição das curvas limites e da quantidade de dias de precipitação acumulada na guia “Gráficos” do Programa Alerta de Deslizamentos João Pessoa/PB

Fonte: PROGRAMA ALERTA DE DESLIZAMENTOS JOÃO PESSOA/PB (2021)

O monitoramento envolve a elaboração de gráficos de correlação entre o ponto (Precipitação Diária, Precipitação Acumulada) e sua posição em relação à curva de correlação, limiar para o qual são deflagrados os deslizamentos. Para a elaboração dos gráficos, é necessário obter os dados de precipitação (como dito anteriormente, o Mapa Interativo do Cemaden foi escolhido para obtenção desses valores) e a determinação das curvas de correlação. Para utilização inicial do programa serão usadas curvas de correlação determinadas em pesquisas anteriores (SOARES; RAMOS FILHO, 2015; SILVA, 2018 e JUNIOR, 2021) para a cidade de João Pessoa. O objetivo futuro é coletar dados suficientes para a determinação das curvas de correlação para cada área de influência, uma vez que o programa possui ferramentas que auxiliam na determinação dessas curvas, e tais ferramentas serão discutidas a seguir. Dessa forma, considerando curvas limites para cada área de influência ao invés de uma curva única para toda cidade, pretende-se aumentar a precisão dos alertas enviados.

A seguir são exemplificados os casos possíveis nos gráficos das FIGURAS 28 e 29. Os casos serão explicados no próximo item, isto é, como o programa trata cada caso com relação ao envio do alerta.

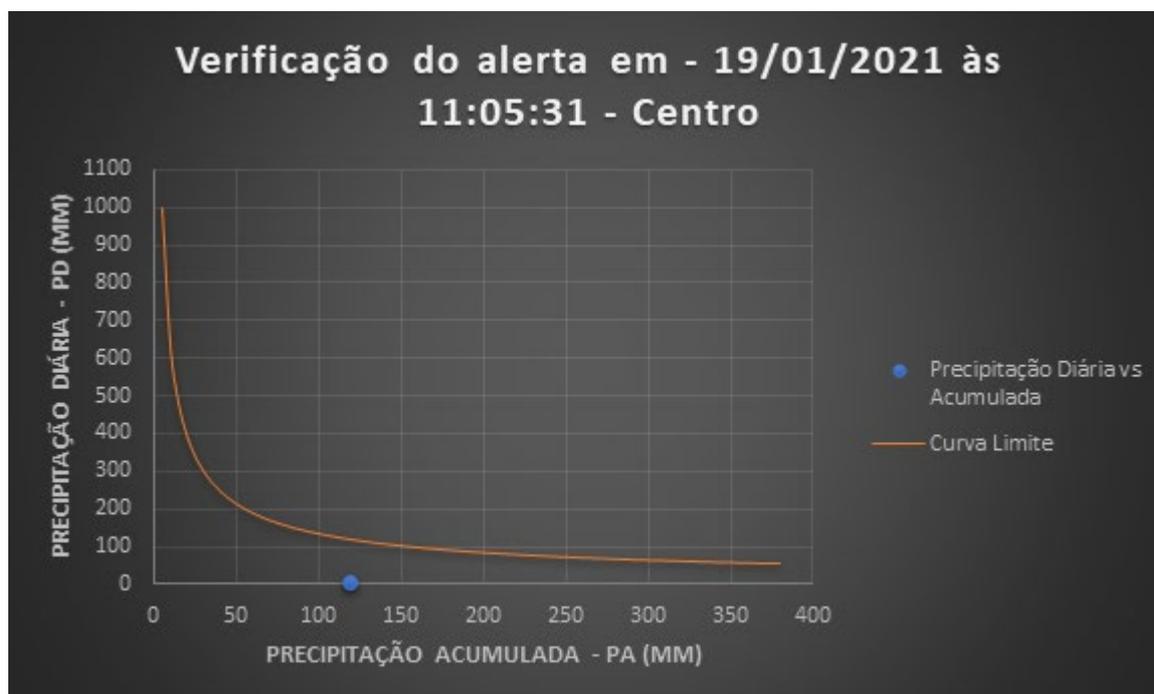


Figura 28 - Caso em que o ponto (Precipitação Diária, Precipitação Acumulada) está abaixo da curva limite

Fonte: PROGRAMA ALERTA DE DESLIZAMENTOS JOÃO PESSOA/PB (2021)

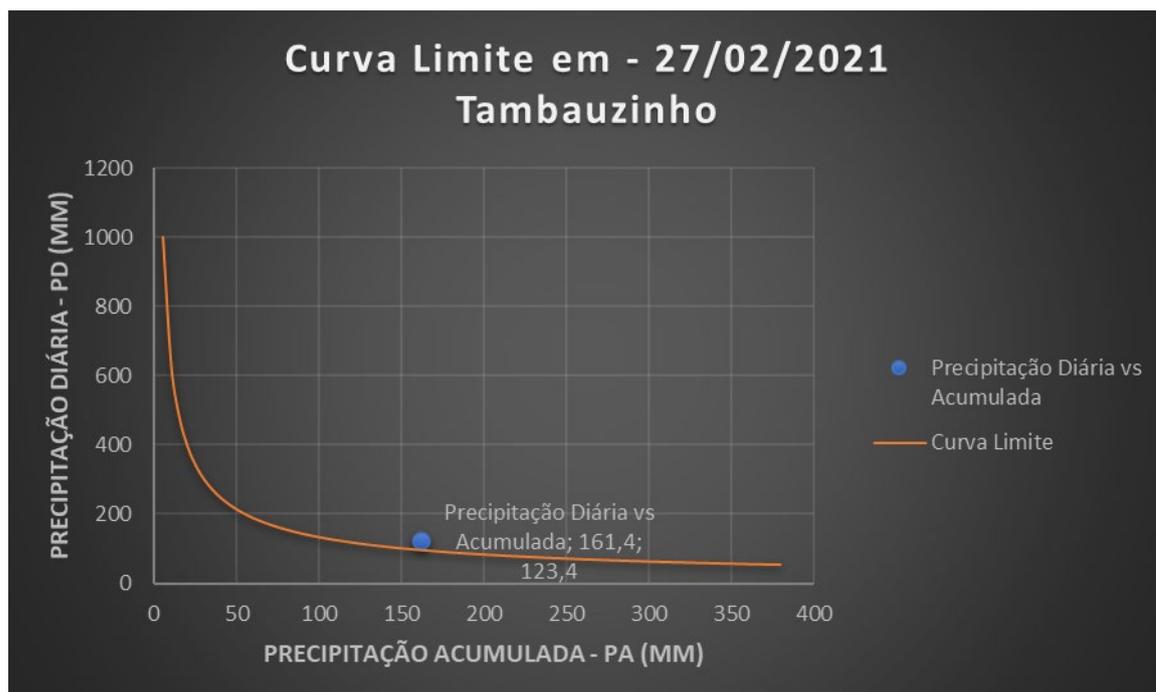


Figura 29 - Caso em que o ponto (Precipitação Diária, Precipitação Acumulada) está acima da curva limite

Fonte: PROGRAMA ALERTA DE DESLIZAMENTOS JOÃO PESSOA/PB (2021)

Todas as etapas do monitoramento do grau de risco são totalmente automatizadas. Dessa forma, o usuário apenas precisa garantir o acesso à internet para que o programa obtenha acesso ao Mapa Interativo do Cemaden e colete os dados de precipitação, além de verificar se o programa está funcionando como planejado e desenvolvido.

3.2 Emitir alerta de deslizamento para as áreas de risco

A segunda aplicação básica do programa consiste na capacidade de enviar alertas de forma automática. O programa foi desenvolvido para monitorar o grau de risco em função da curva limite e do ponto (Precipitação Diária, Precipitação Acumulada). Como dito no item anterior, são possíveis dois casos:

1. Ponto abaixo da curva;
2. Ponto acima da curva ou sobre a curva.

O programa foi desenvolvido para que, no primeiro caso, não seja enviado nenhum alerta. Já para o segundo caso, o programa enviará o alerta. Dentre as diversas formas e ferramentas possíveis para enviar o alerta, foi escolhido o envio por e-mail. A escolha se deu por conta da facilidade do Excel VBA de estabelecer conexão com outros aplicativos da Microsoft® (como o Outlook®, nesse caso). Assim, para o envio do alerta é necessário que sejam coletados nomes e e-mails de moradores de áreas de risco e que estas informações sejam

cadastradas na guia “Enviar Alerta” através do formulário “Cadastrar Email” (FIGURA 30). A partir do bairro, automaticamente o programa identifica a qual área de influência pertence o morador. Dessa forma, um alerta será enviado para o e-mail cadastrado caso o monitoramento do grau de risco para a área de influência em questão seja referente ao caso 2 (gráfico da FIGURA 29).

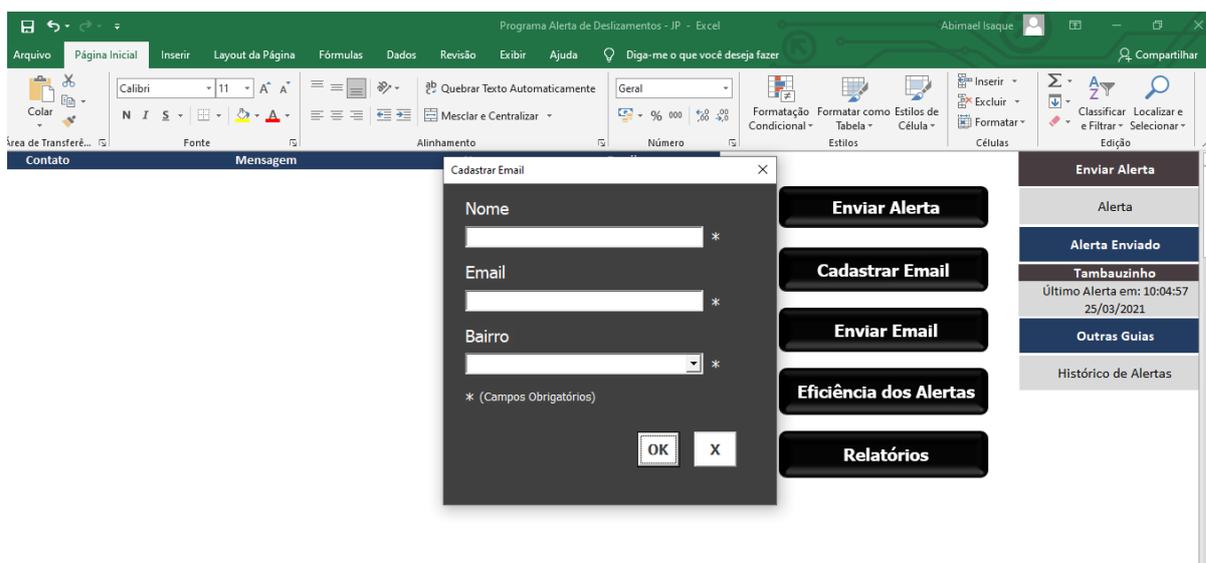


Figura 30 - Formulário para cadastro dos e-mails dos moradores de áreas de risco que poderão receber o alerta

Fonte: PROGRAMA ALERTA DE DESLIZAMENTOS JOÃO PESSOA/PB (2021)

Um exemplo de alerta enviado de forma automática por meio do programa pode ser observado na FIGURA 31.

O e-mail de alerta informa o horário em que foi emitido, a informação da área de influência e os bairros inclusos nessa área. Além disso, é enviada uma cartilha explicativa sobre quais medidas devem ser tomadas em casos de deslizamentos e enchentes (FIGURA 32).



Figura 31 - Exemplo de alerta enviado por e-mail de forma automática

Fonte: O AUTOR (2021)



Figura 32 - Cartilha explicativa enviada anexa ao e-mail de alerta

Fonte: O AUTOR (2021)

A cada vez que os alertas são enviados para uma determinada área de influência, o programa gera um relatório em documento de texto do *Word*® e em PDF, descrevendo a área de influência, os valores de precipitação acumulada e diária que foram responsáveis por gerar o alerta, o horário que esses valores foram registrados e o gráfico que apresenta todas as informações citadas. Um exemplo de relatório de alerta encontra-se no Apêndice A.

Além do envio de e-mails de alerta padronizados, é possível enviar e-mails personalizados para os endereços de e-mail cadastrados. Para isso o usuário pode enviar textos e anexar fotos, vídeos e documentos de texto utilizando o formulário “Enviar Email” na guia “Enviar Alerta” (FIGURA 33).

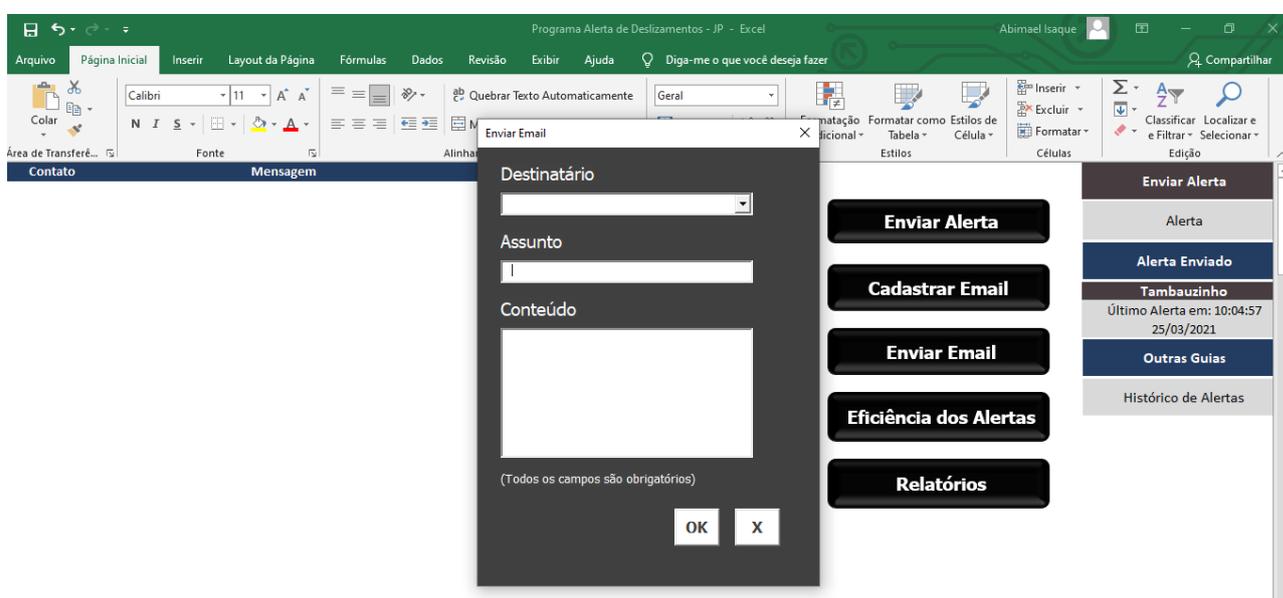


Figura 33 - Formulário para envio de e-mails personalizados

Fonte: PROGRAMA ALERTA DE DESLIZAMENTOS JOÃO PESSOA/PB (2021)

3.3 Simplificar a análise e elaboração de curvas de correlação

A determinação das curvas de correlação é de fundamental importância para que o programa funcione corretamente. A determinação equivocada da curva certamente implicará erros.

Definir as curvas pode ser um trabalho bastante monótono e demorado. Por isso, foi criada no programa uma ferramenta que permite a determinação das curvas de forma automática. É importante destacar que o programa não define a melhor curva, mas diminui de forma significativa o tempo de elaboração de cada gráfico.

Na guia “Gráficos”, é possível elaborar os gráficos de dispersão (FIGURA 34) e as curvas de correlação (FIGURA 35). Os gráficos de dispersão são utilizados a fim de determinar

para quantos dias de precipitação acumulada e para qual limite mínimo de precipitação se observa o deflagramento dos movimentos de terra. As curvas de correlação são determinadas para limitar os volumes de precipitação diária e acumulada capazes de provocar os deslizamentos.

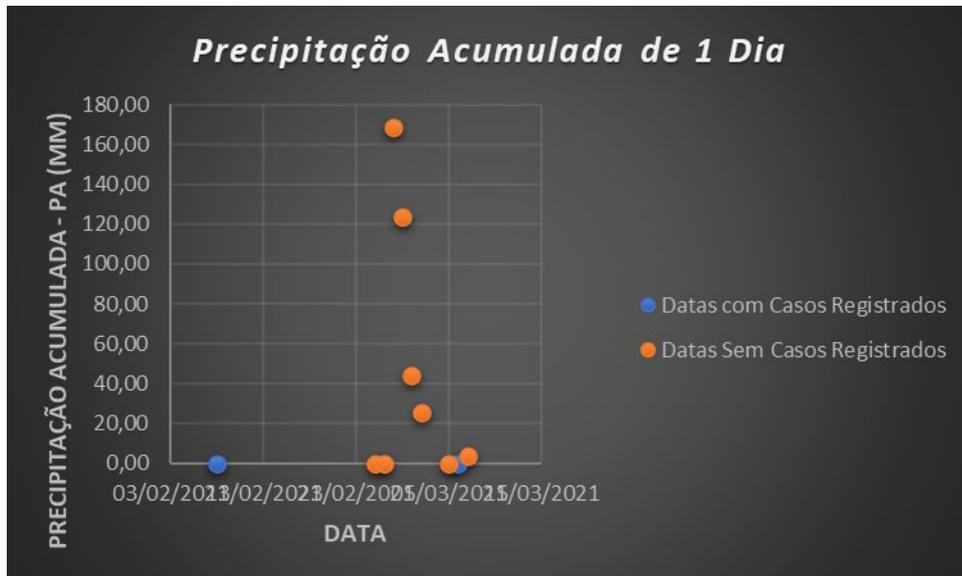


Figura 34 - Exemplo de gráfico de dispersão para João Pessoa

Fonte: PROGRAMA ALERTA DE DESLIZAMENTOS JOÃO PESSOA/PB (2021)

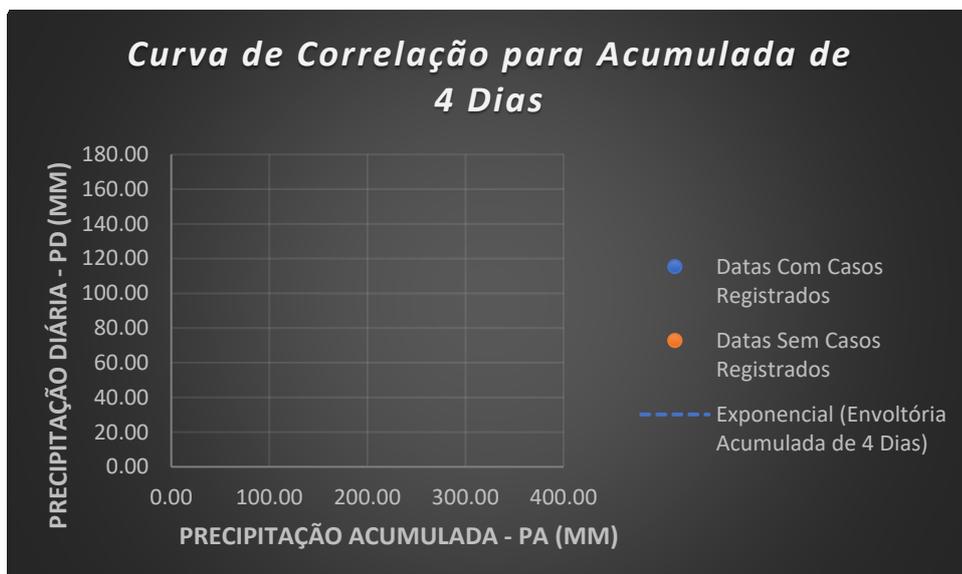


Figura 35 - Exemplo de curva de correlação para João Pessoa

Fonte: PROGRAMA ALERTA DE DESLIZAMENTOS JOÃO PESSOA/PB (2021)

O programa também elabora gráficos da posição do ponto (Precipitação acumulada, Precipitação diária) ao longo dos dias que antecedem um caso de deslizamento (FIGURA 36). Esses gráficos são muito importantes para verificar como ocorrem os processos de deslizamento a partir da observação dos dados pluviométricos registrados nos dias antecedentes aos casos registrados.

Como dito anteriormente, na guia “Gráficos” é possível elaborar gráficos de dispersão, curvas de correlação e demais gráficos para a cidade de João Pessoa. Na guia “Analisar por Postos” é possível elaborar os mesmos gráficos, mas para cada área de influência separadamente. O objetivo é definir curvas de correlação mais precisas e, conseqüentemente, aumentar a eficiência dos alertas emitidos.

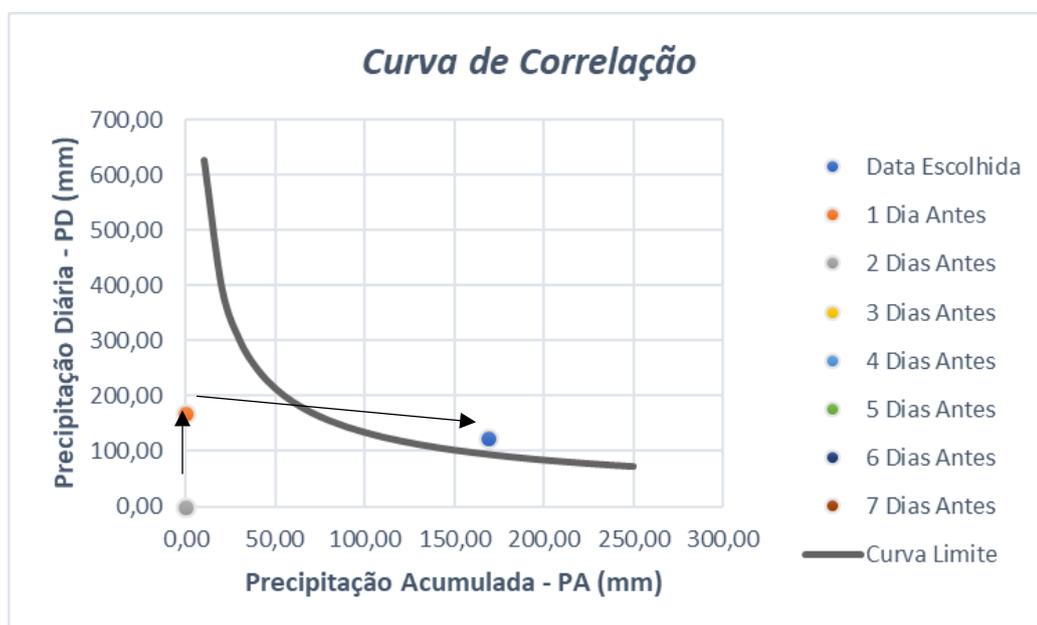


Figura 36 - Exemplo de gráfico da evolução do ponto (Precipitação Diária, Precipitação Acumulada) ao longo dos dias que antecedem um caso de deslizamento

Fonte: PROGRAMA ALERTA DE DESLIZAMENTOS JOÃO PESSOA/PB (2021)

3.4 Gerar relatórios com os dados coletados

O programa foi desenvolvido para colher e analisar dados de forma constante e automática. Para a melhor compreensão do usuário, o programa organiza os principais dados em relatórios.

A base de dados dos relatórios é o próprio arquivo do *Excel*® (do programa), mas, por motivos de armazenamento (a fim de não ocupar espaço no arquivo Excel dedicado à coleta e análise dos dados) e de qualidade, foi escolhido o aplicativo do *Power Bi*® para a produção de relatórios dinâmicos.

O *Power Bi*® conta com uma série de visualizações que podem ser implementadas ao relatório, como gráfico de barras, mapas dinâmicos, cartões, entre outros. O aplicativo gera os relatórios de campos a partir de uma conexão (o *Excel*®, por exemplo) e de campos, cujo funcionamento é semelhante ao das tabelas dinâmicas, ferramenta bastante conhecida e utilizada no *Excel*®.

Os relatórios foram criados para facilitar a visualização de dados importantes, como mapa de casos e casos por bairro de João Pessoa. A seguir, é possível visualizar exemplos de cada um dos relatórios:

a) Relatório dinâmico 1

Como apresentado na FIGURA 37, o usuário pode visualizar o total de casos de deslizamentos na cidade de João Pessoa, os casos registrados por bairros e o mapa de casos. Todos esses dados podem ser manipulados ao longo do tempo por meio de uma segmentação temporal de dados.



Figura 37 - Exemplo de relatório de casos por bairro (Relatório dinâmico 1)

Fonte: PROGRAMA ALERTA DE DESLIZAMENTOS JOÃO PESSOA/PB (2021)

b) Relatório dinâmico 2

O usuário do programa pode visualizar a quantidade de casos por bairro e a distribuição dos casos por bairro, como visto na FIGURA 38. Todos os dados também podem ser observados em períodos determinados através da segmentação de dados.

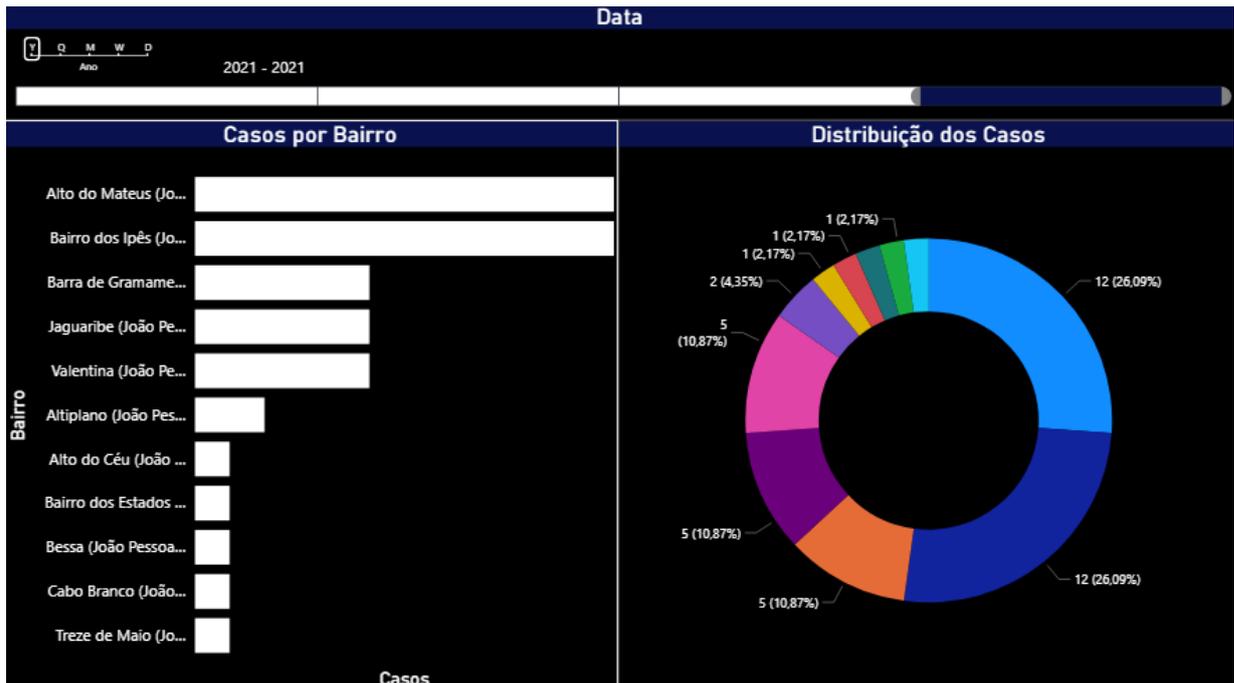


Figura 38 - Exemplo de relatório de casos por bairro (Relatório dinâmico 2)
 Fonte: PROGRAMA ALERTA DE DESLIZAMENTOS JOÃO PESSOA/PB (2021)

c) Relatório dinâmico 3 e 4

São semelhantes ao relatório dinâmico 2. No relatório dinâmico 3 são apresentados os casos registrados por área de influência (FIGURA 39), enquanto no relatório dinâmico 4 é possível visualizar os alertas enviados por área de influência (FIGURA 40).

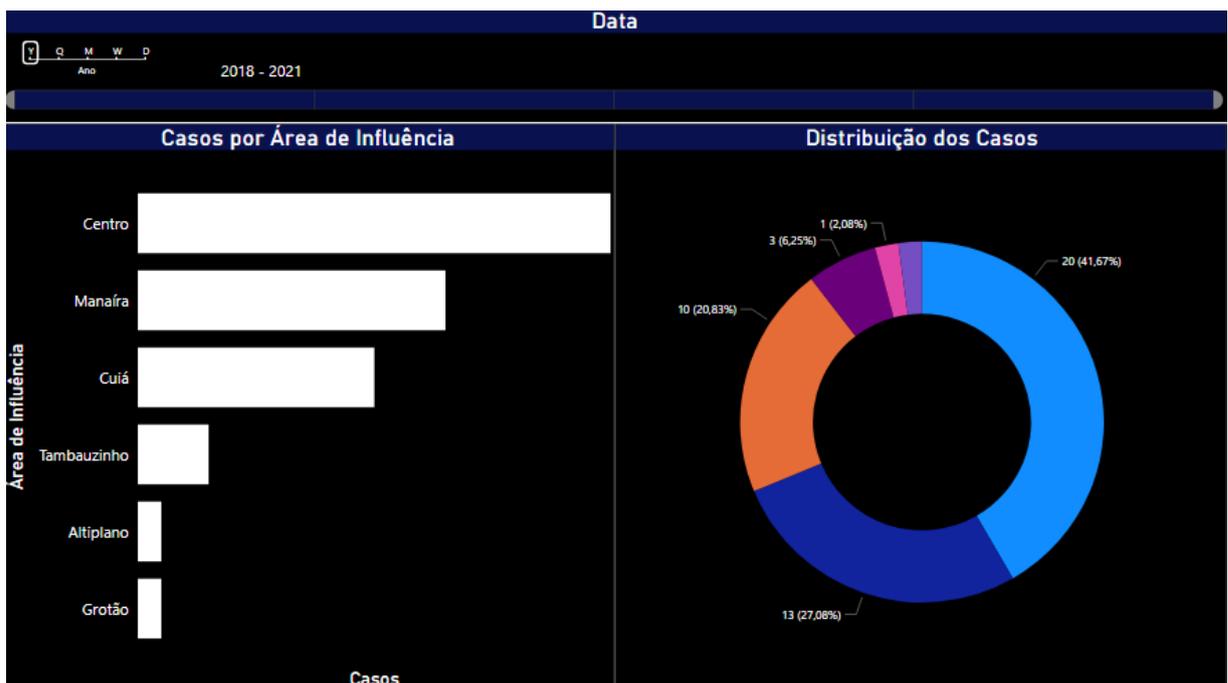


Figura 39 - Exemplo de relatório de casos por área de influência
 Fonte: PROGRAMA ALERTA DE DESLIZAMENTOS JOÃO PESSOA/PB (2021)

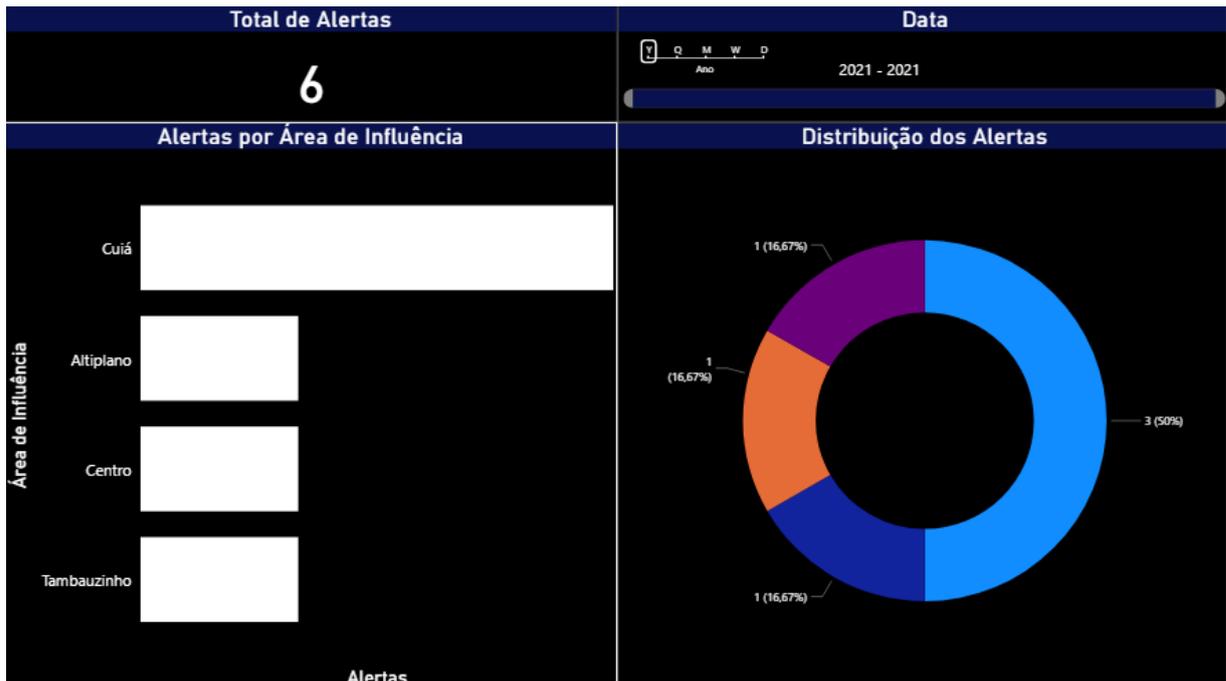


Figura 40 - Exemplo de relatório de alertas por área de influência

Fonte: PROGRAMA ALERTA DE DESLIZAMENTOS JOÃO PESSOA/PB (2021)

Os dados apresentados nos relatórios dinâmicos são de grande importância para determinar as regiões da cidade nas quais foram registradas as maiores quantidades de casos de deslizamentos, os períodos do ano em que os casos se concentram e a quantidade de alertas enviados. Dessa forma, o poder público terá as informações necessárias para decidir quais áreas da cidade demandam maior urgência na implementação de medidas de prevenção e educação ambiental.

Além dos relatórios dinâmicos do *Power Bi*®, foram adicionados ao programa relatórios de eficiência dos alertas (FIGURA 41). O relatório de eficiência dos alertas calcula e apresenta a porcentagem de três tipos de situações possíveis:

- 1) Acerto: O alerta foi enviado em um dia no qual foi registrado um ou mais casos de deslizamento;
- 2) Erro tipo 1: Significa que neste dia um ou mais casos de deslizamento foram registrados, porém nenhum alerta foi enviado;
- 3) Erro tipo 2: Significa que neste dia o alerta foi enviado, porém não foi registrado nenhum caso de deslizamento.

Destaca-se que a eficiência é calculada para cada área de influência. Dessa forma, o usuário do programa terá uma importante estatística dos alertas enviados, podendo propor melhorias e gerir erros para melhorar a quantidade de acertos.

Postos Pluviométricos	Eficiência	Erro Tipo 1	Erro Tipo 2
Altiplano	0%	100%	0%
Bairro do Cristo	Não foi possível calcular	Não foi possível calcular	Não foi possível calcular
Centro	0%	89%	11%
Cuiá	0%	40%	60%
Grotão	0%	100%	0%
Manaíra	0%	100%	0%
Tambauzinho	33%	67%	0%

Figura 41 - Exemplo de relatório de eficiência dos alertas

Fonte: PROGRAMA ALERTA DE DESLIZAMENTOS JOÃO PESSOA/PB (2021)

4 TREINAMENTO COM A DEFESA CIVIL

Após o desenvolvimento e uma sequência de testes para verificar a confiabilidade dos resultados obtidos por meio do programa, foi realizado um treinamento por videochamada para implementação do sistema de monitoramento e alerta automático nas atividades e ações da Defesa Civil de João Pessoa.

O treinamento foi oferecido a dois estagiários da Defesa Civil, também alunos de graduação do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba e integrantes do projeto de extensão “Mapeamento de Áreas de Risco”, coordenado pelo Prof. Fábio Lopes Soares, que posteriormente ficaram encarregados de implantar o sistema.

Durante o treinamento, foram apresentados o programa, suas ferramentas e aplicações. Foi explicado de forma detalhada de onde e como foram extraídos todos os dados utilizados no programa.

Em termos gerais, o programa é de fácil uso, uma vez que grande parte de suas atribuições foram programadas por meio de rotinas no VBA; apesar disso, é importante que os usuários entendam como funciona cada aplicação, para que sejam capazes de avaliar o funcionamento do programa e verificar possíveis erros. As demais atividades que não são totalmente automatizadas são facilmente realizadas, basta um nível de conhecimento básico no *Excel*®. Os relatórios dinâmicos produzidos no *Power Bi*® também são automáticos, basta apenas atualizar a conexão com o arquivo do *Excel*®.

É importante considerar que erros podem ser observados, já que pela primeira vez o programa foi utilizado por terceiros; além disso, pode surgir a necessidade de melhorias para garantir o bom funcionamento do aplicativo. Destaca-se que o desenvolvedor do programa está aberto para sugestões de correção dos recursos disponíveis e sugestões de novos recursos que tenham como objetivo facilitar o uso e aplicação no monitoramento de deslizamentos de terra na cidade de João Pessoa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Programa Alerta de Deslizamentos João Pessoa/PB foi desenvolvido para auxiliar a Defesa Civil de João Pessoa nas operações de monitoramento do grau de risco de movimentação de encostas e envio de alertas.

A elaboração do programa permitiu o aprofundamento em temas como correlação entre chuvas e movimentos de massa, sistemas de monitoramento de alerta e programação em VBA. Além disso, é importante ressaltar que, até então, a Defesa Civil não contava com nenhuma ferramenta que permitisse automatizar o monitoramento e o envio de alertas em massa em casos de deslizamentos de terra. Dessa forma, a Defesa Civil terá um importante recurso que poderá contribuir para evitar e/ou diminuir danos materiais, psicológicos e sociais causados por desastres naturais, proporcionando melhor qualidade de vida para moradores de áreas de risco na cidade de João Pessoa.

Durante todas as etapas de desenvolvimento do programa, buscou-se alcançar os objetivos traçados no início do trabalho. A versão final do Programa Alerta de Deslizamentos João Pessoa/PB é formada por dois arquivos (um arquivo *Excel*® e um arquivo *Power Bi*®) que juntos possibilitam a coleta dos dados pluviométricos da cidade de João Pessoa, aplicação das curvas de correlação de chuvas e movimentos de massa, monitoração do grau de risco e emissão de alertas de forma automática. Além disso, permitem analisar e consultar o resultado de dados gerados pelo programa (quantidade de casos registrados e alertas enviados) na forma de relatórios dinâmicos.

Apesar de constantes revisões e testes para comprovar a eficiência dos resultados obtidos pelo programa, é possível que ao longo de sua utilização erros sejam descobertos. Destaca-se que o programa está em constante desenvolvimento e que críticas e sugestões serão de grande importância para seu aprimoramento.

Por fim, o programa estará à disposição de alunos de Engenharia Civil e membros da Defesa Civil que se interessem por desenvolver outras aplicações que não foram contempladas no programa (fica como sugestão a criação de um sistema de monitoramento e alerta de alagamentos e enxurradas em zonas urbanas) e para aplicação de forma didática em disciplinas do curso de Engenharia Civil como Mecânica dos Solos II e Estabilidade de Taludes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUGUSTO FILHO, O. **Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP**. 1994. 162 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.
- AVALIAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO A ESCORREGAMENTOS NA REGIÃO DO GRANDE ABC. **Tipos de escorregamento**, 14 mar. 2013. Disponível em: <http://avaliacaoriscosbc.blogspot.com/2013/03/tipos-de-escorregamentos.html>. Acesso em: 22 maio 2021.
- BISPO, Polyanna da Conceição et al. Análise de suscetibilidade aos movimentos de massa em São Sebastião (SP) com o uso de métodos de inferência espacial. **Geociências**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 467-278, jul. 2011. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/7188>. Acesso em: 24 maio 2021.
- CASTRO, J. M. G. **Pluviosidade e Movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2006.
- CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais. **O alerta**. Disponível em: <http://www.cemaden.gov.br/o-alerta/>. Acesso em: 30 dez. 2020.
- CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais. **Mapa Interativo**. Disponível em: <http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/>. Acesso em: 30 dez. 2020.
- DEFESA CIVIL DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Monitoramento e Alerta: o que é**. Disponível em: <https://www.defesacivil.sc.gov.br/monitoramento-e-alerta-o-que-e/>. Acesso em: 04 jan. 2021.
- GUIDICINI, G.; IWASA, O. Y. **Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, 1976. 48 p. (Relatório n. 1080).
- JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY. **Site oficial**. Disponível em: <https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>. Acesso em: 11 jan. 2021.
- JUNIOR, L.M.M. **Desenvolvimento de uma curva de correlação entre movimentos de massa e dados de precipitação de João Pessoa-PB**. 2021. Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) – Campus I, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2021.
- KOBIYAMA, Masato *et al.* **Prevenção de Desastres Naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006.
- MACEDO, E.S; MARTINS, P.P.D. Análise do Banco de Dados de Mortes por Deslizamentos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15., 2015, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. São Paulo: ABGE, 2015. CD-ROM. p. 7.

MARINHO, Filipe. Estabilidade de taludes: deslizamentos de terra. **Guia da Engenharia**, 22 maio 2020. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/estabilidade-taludes-deslizamentos/>. Acesso em: 22 maio 2021.

MICROSOFT. Introdução ao VBA no Office. **Documentação**, 14 ago. 2019. Disponível em: <https://docs.microsoft.com/pt-br/office/vba/library-reference/concepts/getting-started-with-vba-in-office>. Acesso em: 29 dez. 2020.

MONTGOMERY, C.W. **Environmental geology**. 3. ed. Dubuque: Wm. C. Brown Publishers, 1992. 465p.

PEIXOTO, Isabella. Processos de Dinâmica Superficial – Movimentos de Massa. **Igeológico**, 15 nov. 2019. Disponível em: <http://igeologico.com.br/processos-de-dinamica-superficial-movimentos-de-massa>. Acesso em: 29 dez. 2020.

PLUVIÔMETRO automático é instalado em Campo Grande. **Portal CG RN**, 21 set. 2015. Disponível em: <http://www.portalcgrn.com/2015/09/pluviometro-automatico-e-instalado-em.html>. Acesso em: 30 dez. 2020.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. **Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro**. Disponível em: <http://alertario.rio.rj.gov.br/>. Acesso em: 04 jan. 2021.

PROGRAMA ALERTA DE DE DESLIZAMENTOS JOÃO PESSOA/PB. 1. ed. João Pessoa, 2021. 1 planilha Excel e 1 arquivo Power BI.

RODRIGUES, Leonardo. Excel VBA: O que é e como funciona. **Voitto**, 10 jan. 2020. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/excel-vba>. Acesso em: 29 dez. 2020.

SAISP. **Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo**. Disponível em: <https://www.saisp.br/estaticos/sitenovo/home.xmlt>. Acesso em: 04 jan. 2021.

SALES, J.D.B. **Correlação entre a Probabilidade de Ocorrência de Deslizamentos e Índices Pluviométricos em Petrópolis (RJ)**. 2017. 94 p. Projeto de Graduação (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017.

SANTORO, J.; MENDES, R.M.; PRESSINOTI, M.M.N; MANOEL, G.R. Correlação entre chuvas e deslizamentos ocorridos durante a operação do plano preventivo de defesa civil em São Paulo, SP. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 7., 2010, Maringá. **Anais [...]**. Maringá: ABGE, 2010. p. 1-15.

SILVA, Larissa Ferreira da. **Análise de curva de correlação entre pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de João Pessoa (PB)**. 2018. Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) – Campus I / Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2018.

SOARES, Fábio Lopes; RAMOS FILHO, Geraldo Moura; RAMOS FILHO, Geraldo Moura. Correlação entre movimentos de massa e pluviosidade nas encostas de João Pessoa/PB-Brasil. **Geotecnia**, [S.L.], v. 133, p. 51-62, mar. 2015. Portuguese Geotechnical Society. <http://dx.doi.org/10.24849/j.geot.2015.133.04>.

TERZAGHI, K. Mechanism of Landslides. *In: Application of Geology to Engineering Practice (Berkey Volume)*. **Geological Society of America**. Washington, D. C.: S. Paige, 1950, p. 83-123.

TOMINAGA, L.K. **Avaliação de Metodologias de Análise de Risco a Escorregamentos: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP**. 2007. Tese (Doutorado), USP, São Paulo, 2007. p. 62-70.

VANACÔR, R.N. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas susceptíveis a movimentos de massa na região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul**. 2006. Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, UFRGS, 2006. p.42-43.

VBA – O que é VBA? O que são macros? **Hashtag Treinamentos**, 07 fev. 2019. Disponível em: <https://www.hashtagtreinamentos.com/vba-o-que-e-vba-o-que-sao-macros/>. Acesso em: 29 dez. 2020.

APÊNDICE A – RELATÓRIO DE ALERTA

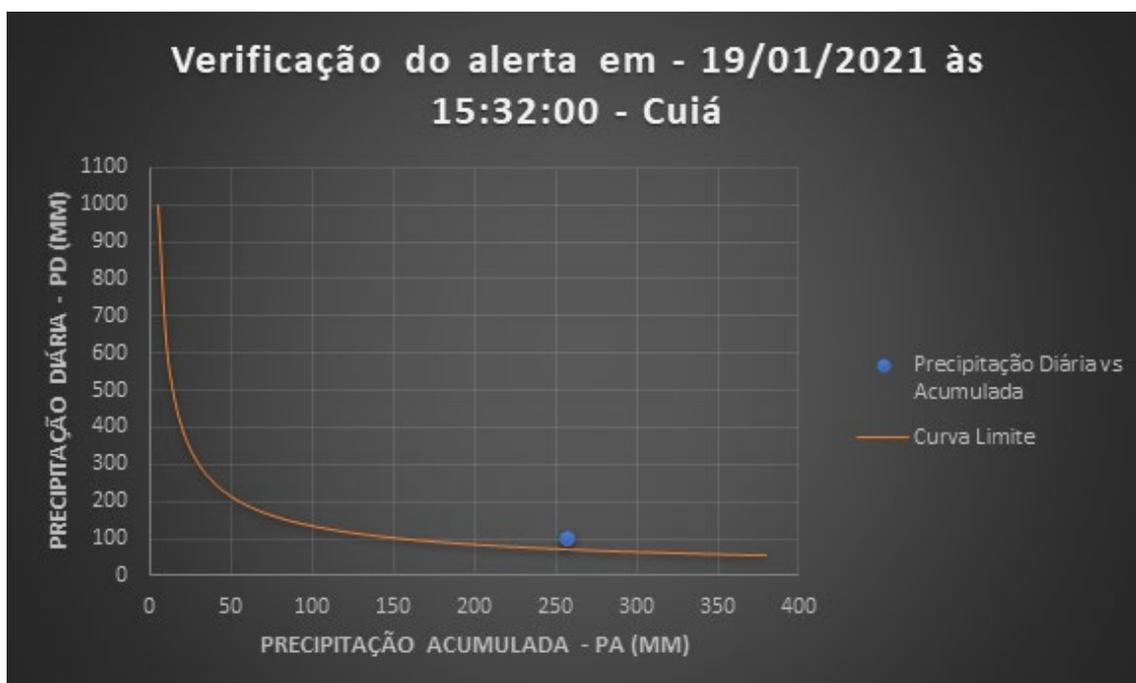
RELATÓRIO DE ALERTA

(enviado em 19/01/2021 às 15:32:04 para a Área de Influência Cuiá)

O programa Alerta de Deslizamentos João Pessoa/PB detectou que o ponto (Precipitação Acumulada, Precipitação Diária) atingiu uma Precipitação Acumulada de 7 Dias de 257,4 mm e a Precipitação Diária registrada em 19/01/2021 às 15:32:04 foi de 100 mm.

Dessa forma, o ponto (Precipitação Acumulada, Precipitação Diária) superou a curva limite e, como consequência, foram enviados todos os alertas para a Área de Influência Cuiá.

Gráfico 1 - Posição do ponto (PA, PD) para a Área de Influência - Cuiá



Fonte: PROGRAMA ALERTA DE DESLIZAMENTOS JOÃO PESSOA/PB (2021)