

**Marie Amandine GAUMONT**

**CONSTRUÇÃO DE UM MODELO MULTICRITÉRIOS DE APOIO À  
DECISÃO PARA AS EMISSÕES DE ALERTAS DE DESASTRES  
NATURAIS CONSIDERANDO A SÍNDROME *CRY WOLF***

Trabalho de formatura apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo para  
a obtenção do Diploma de Engenharia de  
Produção

São Paulo

2016



**Marie Amandine GAUMONT**

**CONSTRUÇÃO DE UM MODELO MULTICRITÉRIOS DE APOIO À  
DECISÃO PARA AS EMISSÕES DE ALERTAS DE DESASTRES  
NATURAIS CONSIDERANDO A SÍNDROME *CRY WOLF***

Trabalho de formatura apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo para  
a obtenção do Diploma de Engenharia de  
Produção

Orientador: Hugo Tsugunobu Yoshida  
Yoshizaki

São Paulo

2016

## FICHA CATALOGRÁFICA

Gaumont, Marie Amandine

Construção de um modelo de um modelo multicritérios de apoio à decisão para as emissões de alertas de desastres naturais considerando a síndrome *Cry Wolf* / M. A. Gaumont -- São Paulo, 2016.

95 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1.Logística humanitária 2.Alertas de desastres naturais 3.Síndrome *Cry Wolf* 4.Modelo multicritérios I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

## **AGRADECIMENTOS**

As faculdades École Centrale Paris (França) e Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Brasil) e todos os seus professores, pela condução da minha formação acadêmica e pelas diferentes oportunidades encontradas durante esses últimos anos.

Ao professor Hugo Tsugunobu Yoshida Yoshizaki e a Irineu de Brito Jr, pela ajuda e o suporte durante a realização desse trabalho.

Aos profissionais do CEMADEN, sobretudo Diego Oliveira de Souza, pela ajuda na elaboração desse trabalho.

A minha família e aos meus amigos pelo suporte, amor e carinho durante toda a minha vida.

Et surtout merci à La Brigade Eau pour ces deux dernières années à São Paulo.



## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo a construção de um modelo multicritérios de apoio à decisão para as emissões de alertas de desastres naturais no Brasil, a fim de integrar a dimensão da síndrome *Cry Wolf*.

O Brasil conheceu vários desastres naturais ao longo dos anos que são em maioria causados pelas chuvas. O Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) foi criado em 2011 para monitorar os parâmetros que indicam os riscos de desastres naturais e emitir os alertas para o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD) e em seguida, para a Defesa Civil da zona do alerta.

Com esse tipo de sistemas de alertas para desastres naturais, pode aparecer uma síndrome chamada *Cry Wolf* quando a quantidade de alertas falsos é importante. Assim, os atores da cadeia de emissões de alertas, sobretudo a Defesa Civil, acabam desacreditando nos alertas emitidos no futuro e não vão realizar as tarefas necessárias para a prevenção dos desastres naturais. Na literatura, poucos estudos avaliam o impacto dessa síndrome na gestão dos riscos de desastres naturais. Nesse propósito, esse trabalho apresenta uma revisão bibliográfica em três partes que considera cada aspecto necessário para a realização do nosso objetivo, seja melhorar o processo decisório da emissão de alertas considerando a síndrome *Cry Wolf*.

As conclusões desse trabalho são baseadas na construção de um modelo de apoio à decisão e na criação de um indicador *Cry Wolf* permitindo avaliar os riscos de aparecimento da síndrome. As elaborações dessas ferramentas são baseadas nas visitas do CEMADEN e nas entrevistas dos profissionais realizadas e seguem as metodologias de construção dos modelos de apoio à decisão encontradas durante a revisão da literatura.

O modelo multicritérios construído representa o processo decisório usado hoje na Sala de Situação do CEMADEN e a integração do indicador *Cry Wolf* poderia permitir a redução da emissão de alertas falsos e o risco do aparecimento da síndrome.

**Palavras chave:** logística humanitária, alertas de desastres naturais, síndrome *Cry Wolf*, modelo multicritérios de apoio à decisão





## ABSTRACT

This research aims at building a multi-criteria model for supporting decision-making for alerts' emissions of natural disasters in Brazil, that considers the *Cry Wolf* syndrome.

Brazil has known several natural disasters during the last years which are generally caused by rains. The National Center for Monitoring and Early Warning of Natural Disasters (CEMADEN in Portuguese) was created in 2011 to monitor parameters which indicate natural disasters' risks and to transmit alerts to the National Center of Disaster Risk Management (CENAD in Portuguese) and after, for the local Civil Defense of the alert's zone.

The use of early warning system can create the *Cry Wolf* syndrome when a lot of wrong alerts are sent. Indeed, the different actors of the alert's chain, especially the Civil Defense, can doubt the alert's credibility in the future and stop doing the necessary tasks for natural disasters' prevention. In the literature, few studies evaluate these syndrome's consequences on the management of natural disasters. Our research presents a bibliographic review in three parts which talks about every necessary aspect to achieve our objective, which is the improvement of the alert's decision considering *Cry Wolf* syndrome.

The conclusions of this work are based on the building of a supporting decision-making model and the creation of a *Cry Wolf* indicator which can allow us to evaluate the risks of the syndrome's apparition. The development of these tools is based on CEMADEN's visits and professionals' interviews. It follows the methods of the supporting decision-making model's construction, found during the literature's review.

The multi-criteria model built represents the decision process used at the CEMADEN and, the integration of the *Cry Wolf* indicator could reduce the number of wrong alerts and the risk of the syndrome's apparition.

**Key words:** humanitarian logistics, natural disaster alerts, syndrome *Cry Wolf*, multi-criteria model for supporting decision-making



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Registros de enxurradas no Brasil de 1991 a 2012 (Fonte: Atlas 2013).....	26
Figura 2: Registros de inundações no Brasil de 1991 a 2012 (Fonte: Atlas 2013) .....	26
Figura 3: Esquema explicitando as diferenças entre enchente, inundação e alagamento (Fonte: Site da Defesa Civil de São Bernardo) .....	27
Figura 4: Registros de alagamentos no Brasil entre 1991 e 2012 (Fonte: Atlas 2013) .....	28
Figura 5: Esquema explicando o fenômeno de deslizamento (Fonte: Jornal Estadão) .....	28
Figura 6: Registro dos movimentos de massa no Brasil entre 1991 e 2012 (Fonte: Atlas 2013) .....	29
Figura 7: Registro dos desastres naturais no Brasil entre 1991 e 2012 (Fonte: Atlas 2013)....	30
Figura 8: Repartição dos tipos de desastres por cada região do Brasil (Fonte: Atlas 2013) ....	31
Figura 9: Mortos por tipos de desastres no Brasil em 2013 (Fonte: Atlas 2013).....	31
Figura 10: Evolução do número de desastres naturais no Brasil (Fonte: Atlas 2013).....	32
Figura 11: Sala de Situação do CEMADEN (Fonte: site do CEMADEN) .....	33
Figura 12: Cadeia dos alertas de desastres naturais (Fonte: CEMADEN) .....	36
Figura 13: Diagrama de influência no modelo de decisão (Fonte: KAILIPONI, 2010) .....	43
Figura 14: Estrutura hierárquica para ampliar o sistema de meteorologia no Brasil (Fonte: CARUZZO, MANSO & BELDERRAIN, 2013) .....	44
Figura 15: Mapa cognitivo para definir o problema de nosso modelo multicritério .....	48
Figura 16: Matriz Poder-Interesse das partes interessadas na decisão de emissão de alertas ..	49
Figura 17: Árvore de valor da decisão do lugar de implantação de uma fábrica (Fonte: FRANCO L. A. & MONTIBELLER G. "Problem Structuring for Multi-Criteria Decision Analysis Interventions") .....	51

Figura 18: Árvore de valor da decisão de emissão de alerta de desastres naturais.....	51
Figura 19: Explicação do funcionamento das equações de limiar na emissão das alertas.....	55
Figura 20: Curva de influência do critério "Volume de chuva que está caindo" na decisão de emitir uma alerta .....	66
Figura 21: Curvas de influência dos critérios "Volume de chuva acumulado" e "Previsões de chuva" sobre a decisão de emissão de alertas .....	67
Figura 22: Curvas de influência dos critérios "Limiar de deslizamento", "Grau de risco da zona" e "Desastres naturais anteriores" na decisão de emissão de alerta.....	67
Figura 23: Curvas de sensibilidade dos critérios "Previsões de chuva" e "Grau da área de risco" .....	71
Figura 24: Curvas de sensibilidade dos critérios "Volume de chuva que está caindo" e "Volume de chuva acumulado" .....	71
Figura 25: Curvas de sensibilidade do critério "Ocorrências anteriores" .....	72
Figura 26: Perfis das diferentes alternativas .....	74
Figura 27: Curva de influência do critério Cry Wolf.....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Lista dos objetivos e atributos para decisões de evacuação (Fonte: KAILIPONI, 2010).....	43
Tabela 2: Informações necessárias no processo de emissão de alertas de desastres naturais no CEMADEN .....	59
Tabela 3: Análise das respostas dos profissionais dos CEMADEN para a determinação dos pesos dos critérios de decisão .....	63
Tabela 4: Pesos de cada critério da decisão de emissão de uma alerta .....	65
Tabela 5: Descrições das alternativas de decisão do modelo multicritérios no software VISA .....	69
Tabela 6: Explicação da escala do indicador Cry Wolf.....	78
Tabela 7: Pesos de cada critério da decisão de emissão de um alerta sem e com o critério “Indicador Cry Wolf” .....	79



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANA: Agência Nacional das Águas

BPMN: Business Process Modeling and Notation

CEMADEN: Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CENAD: Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres

CPRM: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

D: duração da chuva

I: intensidade da chuva

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMC: Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, em São Carlos

I-D: sistema de limiares que relacionam a intensidade e a duração da chuva

I-A-D: sistema de limiares que relacionam a intensidade da chuva, a quantidade de chuva dos dias anteriores e a duração da chuva

MAP: quantidade média de chuva anual

NCR: quantidade normalizada de chuva acumulada

NI: intensidade normalizada de chuva

SIGMA: *Sistema Integrato Gestione Monitoraggio Allerta*, sistema de alertas de desastres naturais usado na Itália

USP: Universidade de São Paulo

VISA: software para decisões multicritérios, *Visual Interactive Sensitivity Analysis for Multi-Criteria Decisions*



# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	19
1.1. Contextualização do trabalho.....	19
1.1. O CEMADEN .....	20
1.2. Objetivos.....	21
1.3. Metodologia do trabalho .....	22
1.4. Estrutura do trabalho.....	23
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1. As alertas de desastres naturais.....	25
2.1.1 Os tipos de desastres naturais no Brasil.....	25
2.1.2 O relatório da visita ao CEMADEN.....	32
2.2. A síndrome <i>Cry Wolf</i> .....	37
2.2.1 O gerenciamento de crise .....	37
2.2.1 A percepção do risco .....	38
3. ELABORAÇÃO DO MODELO MULTICRITÉRIO .....	47
3.1. A estruturação do modelo .....	47
3.1.1 A identificação do problema.....	47
3.1.2. As fases de estruturação .....	49
3.2. Os critérios do processo decisório .....	53
3.2.1 Os critérios da literatura .....	53
3.2.2 O caso do CEMADEN .....	56
3.3. A determinação dos parâmetros do modelo.....	62
3.3.1 Os pesos dos diferentes critérios .....	62
3.3.2 As curvas de influência.....	65
3.3.3 A construção das alternativas .....	68

4. RESULTADOS E INDICADOR <i>CRY WOLF</i> .....	71
4.1. Resultados do modelo multicritérios sem o critério <i>Cry Wolf</i> .....	71
4.1.1 As curvas de sensibilidade .....	71
4.1.2 O perfil das alternativas .....	74
4.2. O indicador <i>Cry Wolf</i> .....	76
4.2.1 A construção do indicador .....	76
4.2.1 A determinação do peso e da curva de influência do critério .....	79
4.2.2 O uso do modelo multicritérios.....	81
5. CONCLUSÕES .....	83
6. REFERÊNCIAS .....	85
7. ANEXOS .....	89

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Contextualização do trabalho

Nas últimas décadas, o mundo inteiro vivenciou desastres naturais que causaram um número importante de mortos e feridos. Além das perdas humanas causadas por tais eventos, as consequências materiais e psicológicas também deixam marcas importantes sobre as comunidades afetadas.

Hoje, com a tecnologia existente, já é possível desenvolver ferramentas que auxiliem no monitoramento dos diferentes elementos que podem anunciar um desastre natural. Diversos países possuem institutos e profissionais dedicados que monitoram as condições climáticas de determinadas regiões; assim, diante de um evento de risco iminente, torna-se possível emitir alertas que permitem evacuar as populações situadas em zonas de risco em segurança.

No entanto, o trabalho dessas instituições nem sempre é aproveitado da maneira mais eficaz pelo governo ou pelas populações atendidas. A percepção do risco de cada ator dentro de uma cadeia de evacuação tem um impacto significativo sobre o processo de tomada de decisão. Saindo do instituto de monitoramento de condições climáticas até chegar aos habitantes de uma região remota, as informações sobre um possível desastre devem transpor não só possíveis dificuldades de comunicação, mas também a diferença de percepção de risco existente entre os diversos elementos da cadeia. Tal fato explica em parte a dificuldade enfrentada pelas autoridades na gestão dos desastres naturais.

A percepção de risco em desastres naturais é um assunto bastante discutido na literatura principalmente por sua subjetividade e multiplicidade frente a diferentes situações. Este trabalho tem por objetivo a análise dos impactos que alarmes falsos podem causar na percepção de risco de populações frequentemente expostas a desastres naturais (síndrome de *Cry Wolf*).

Há na literatura diversos casos de evacuação de comunidades inteiras motivada por alertas de desastres naturais que não chegaram a se concretizar. Tal procedimento acaba por abalar a confiança da população nas autoridades e nos profissionais que emitiram os alertas, fazendo com que a percepção de risco diminua a medida que um novo alerta é emitido. A repetição de alertas falsos faz crescer o descrédito da população, que não sente mais necessidade de cumprir os protocolos de segurança em caso de alertas. Assim, desenvolve-se um processo coletivo perigoso, que pode ter consequências desastrosas sobre a vida dessas pessoas.

Para a gestão dos alertas de desastre e a proteção da população, a confiança no governo e nos profissionais dos institutos de monitoramento é um elemento necessário e determinante. Por isso, a decisão de emitir ou não um alerta de desastre torna-se cada vez mais complexa. De fato, além de levar em conta os elementos climáticos monitorados, os profissionais devem considerar os efeitos que um alerta falso poderia provocar sobre a percepção de risco futuro da população.

### 1.1. O CEMADEN

O Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) é um instituto de pesquisa científica que monitora os elementos climáticos e permite avaliar os riscos de desastres naturais no Brasil. Ele é o responsável pela emissão de alertas de desastres naturais em todo o território nacional.

Esse instituto foi criado em 2011 e encontra-se no Parque Tecnológico de São José dos Campos, no estado de São Paulo. A criação desse centro foi decorrente do desejo do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação de aumentar o controle do governo sobre os aspectos relacionados aos diferentes tipos de catástrofes naturais existente no Brasil, diminuindo o número de vítimas e de prejuízos à população. O centro gerencia as informações recuperadas graças a radares meteorológicos, pluviômetros e dados de previsões meteorológicas a fim de antecipar situações meteorológicas que possam causar um desastre natural. O instituto trabalha com vários órgãos diferentes no Brasil que ajudam no gerenciamento e na interpretação das informações processadas. Os alertas emitidos pelo CEMADEN são transferidos pelo Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD).

Os profissionais do CEMADEN trabalham em uma Sala de Situação com uma capacidade de 25 pessoas. Essa sala é composta de um grande videowall, um gabinete de crise com sistemas de teleconferências, computadores e um sistema de fornecimento de eletricidade em caso de blecaute. Os profissionais trabalham com imagens de satélites de alta resolução e com vários equipamentos de alta tecnologia como radares meteorológicos, plataformas de coleta de dados e com equipamentos de análise de solo. A estratégia principal do instituto é desenvolver parcerias com instituições regionais e estaduais para melhorar a difusão das informações e a análise das diferentes situações a fim de encontrar a melhor solução para a prevenção de desastres naturais.

O CEMADEN monitora hoje 957 municípios em todas as regiões do Brasil (Anexo 1 e 2). Todos os municípios monitorados têm histórico de desastres naturais causados por

movimentos de massa ou por processos hidrológicos. Os movimentos de massa são geralmente caracterizados por deslizamentos de encosta, corrida de massa, solapamento de margens, queda ou rolamento de blocos rochosos e processos erosivos. Já os desastres naturais causados por processos hidrológicos são geralmente inundações ou enxurradas.

O objetivo geral do CEMADEN é desenvolver diversas pesquisas e atividades inovadoras nas áreas de hidrologia, meteorologia, geologia e desastres naturais para melhorar a previsão, preparação, prevenção e mitigação das catástrofes naturais em bacias hidrográficas urbanas e rurais. Esses esforços vão permitir uma melhor gestão dos tempos de crise com uma resposta mais rápida e eficiente, diminuindo as consequências desse tipo de eventos.

Nessa linha de ação, o CEMADEN desenvolve dois projetos: o primeiro se chama “Pluviômetros Automáticos” e tem como objetivo instalar pluviômetros automáticos nos municípios próximos das áreas de risco de desastres naturais e o segundo, “Pluviômetros nas comunidades”, que visa conscientizar as populações nas áreas de riscos sobre os diferentes aspectos dos eventos potenciais distribuindo pluviômetros semiautomáticos. Na instalação dos pluviômetros automáticos fez-se necessário encontrar órgãos que pudessem se responsabilizar e cuidar do aparelho. Esses pluviômetros não precisam de energia elétrica, pois funcionam com a energia solar. Já os pluviômetros semiautomáticos podem ser operados por equipes locais, especialmente treinadas. Tais projetos permitem também aumentar a rede de informações que o CEMADEN pode recuperar para ajudar na emissão das alertas.

Hoje, o CEMADEN não usa modelos multicritérios de apoio à decisão para emitir ou não de um alerta. Os especialistas usam os dados coletados e os conhecimentos pessoais para tomar a decisão de emitir uma alerta. O centro não dispõe de uma ferramenta que permita consolidar todos os elementos que influenciam a tomada de decisão para emissão de um alerta, além disso, a dimensão psicológica que representa a percepção de risco das populações não é um elemento geralmente considerado nessa decisão. Vê-se, portanto, que a síndrome *Cry Wolf* não faz parte do processo de decisão da alerta do CEMADEN.

## 1.2. Objetivos

O objetivo principal desse trabalho é elaborar e desenvolver um modelo multicritérios de apoio à decisão para o CEMADEN. Esse modelo ajudará a tomada de decisão das emissões de alertas de desastre e constituirá uma ferramenta adicional para coordenar todas as informações e aspectos meteorológicos usando um modelo único.

Ainda, pretende-se incluir no modelo uma dimensão mais psicológica, com critérios relacionados à percepção de risco dos habitantes das regiões influenciadas pelos alertas emitidos. Desta forma, o foco é implementar um modelo que permita tomar decisões levando em conta os aspectos naturais e meteorológicos e os aspectos da síndrome *Cry Wolf*, que pode aparecer em caso de falsas alertas.

Esse trabalho visa permitir que o trabalho do CEMADEN seja mais eficaz e que as diferentes autoridades e a população tenham mais confiança nas decisões tomadas pelo órgão. Assim, torna-se possível reduzir os danos provocados durante a ocorrência de desastres naturais e proteger mais pessoas.

### 1.3. Metodologia do trabalho

Para construir o modelo multicritérios de apoio à decisão pretendido, precisamos primeiro entender o funcionamento dos diferentes aspectos que têm um papel importante no processo decisório do CEMADEN e que fazem parte do desenvolvimento da síndrome *Cry Wolf* na população.

Para tanto, será realizada uma revisão bibliográfica dos diferentes aspectos relacionados à Síndrome, a fim de construir as bases teóricas necessárias para a construção do modelo. Os três principais aspectos do trabalho são os desastres naturais no Brasil e o sistema de alerta, a percepção de risco das populações e o desenvolvimento da síndrome *Cry Wolf* e, por fim, a teoria dos modelos multicritérios de apoio a decisão. As pesquisas realizadas vão nos permitir entender melhor estes aspectos e construir a base teórica necessária para a elaboração do modelo.

Na construção de um modelo de apoio à decisão, sabemos que além de entender o funcionamento da decisão, é extremamente importante envolver os *stakeholders* principais na elaboração. Desenvolver um modelo desse tipo sem a participação dos *stakeholders* principais pode implicar um alto risco de que o modelo final não seja aprovado. Por isso, antes de realizar a construção do modelo, foi necessário entender todos os aspectos do funcionamento da Sala de Situação do CEMADEN. Para tal, foram feitas diversas visitas ao centro e realizou-se várias entrevistas com diferentes profissionais da Sala de Situação. Graças aos resultados dessas visitas e das entrevistas, foi possível desenvolver um modelo que representa de forma satisfatória o processo decisório na emissão de alertas de desastres naturais e pode-se envolver os principais atores da decisão na construção do modelo.

A revisão bibliográfica permitiu ainda determinar as etapas necessárias para a boa estruturação do modelo multicritérios. Assim, a construção do modelo seguirá as diretrizes encontradas na literatura: definição do problema, estruturação do modelo, definição dos critérios e construção dos parâmetros. Essas etapas são necessárias para garantir a boa construção do modelo e a fiabilidade dele. Em cada etapa, serão usados as observações e os resultados das visitas e entrevistas realizadas. O modelo será desenvolvido com o software *Visual Interactive Sensitivity Analysis for Multi-Criteria Decisions* (VISA) que permite o desenvolvimento de modelos multicritérios de apoio à decisão e foi recomendado pelo professor orientador deste projeto.

Finalizada a elaboração e análise do modelo multicritérios, será definida a melhor maneira de adicionar a dimensão da síndrome *Cry Wolf* ao modelo com base nas discussões desenvolvidas com os profissionais da Sala de Situação do CEMADEN.

#### 1.4. Estrutura do trabalho

O primeiro capítulo desse trabalho apresentou o contexto social e científico do nosso trabalho, assim que o centro que foi nosso parceiro durante um ano. Também, foram explicados os objetivos, as motivações e a metodologia do projeto.

O segundo capítulo apresentará uma revisão bibliográfica dos diferentes temas abordados durante o desenvolvimento do projeto. Assim, serão revisados perfis de desastres naturais no Brasil, sistema brasileiro de emissão de alertas de desastres naturais, percepção de risco das populações, síndrome *Cry Wolf* e os conceitos necessários para a construção de modelos de apoio à decisão

O terceiro capítulo consiste na elaboração do modelo multicritérios de apoio à decisão no caso das emissões de alertas de desastres naturais do CEMADEN. Essa construção seguirá as etapas encontradas na literatura e necessárias ao uso do software VISA: estruturação do modelo, determinação dos critérios e definição dos diferentes parâmetros do modelo.

O quarto capítulo apresentará os resultados obtidos e as diferentes análises realizadas. Também será apresentada a construção do indicador *Cry Wolf*, baseada nos resultados das entrevistas, e a integração desse indicador no modelo de apoio à decisão.

O quinto capítulo concluirá o trabalho e mostrará os limites do estudo realizado sugerindo tópicos de estudo que podem ser abordados em um projeto complementar.





## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta os diferentes conceitos necessários para o desenvolvimento do trabalho e os diferentes estudos que já foram realizados sobre os assuntos tratados neste trabalho. A revisão bibliográfica se divide em duas partes. A primeira trata da síndrome *Cry Wolf* e do impacto da percepção de risco pelos habitantes sobre o gerenciamento de alertas e as ações governamentais em eventuais desastres naturais. A segunda parte focaliza os modelos multicritérios de apoio à decisão, à construção e ao uso desse tipo de modelo.

### 2.1. As alertas de desastres naturais

#### 2.1.1 Os tipos de desastres naturais no Brasil

Os desastres mais comuns no Brasil são as inundações, os alagamentos, as enxurradas, os deslizamentos, as estiagens, as erosões, as secas e os vendavais. O número de desastres naturais no Brasil aumentou durante a década de 2000. Assim, o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais afirma que ocorreram 8.671 desastres durante a década de 90 e 23.238 desastres durante a década de 2000. A pesquisa mostra que a maioria das perdas humanas durante um desastre acontece no caso de inundações e os deslizamentos (87,15% dos mortos devidos a uma catástrofe em 2013). Além disso, as consequências materiais são também mais importantes no caso de os deslizamentos e inundações. Por isso, o trabalho do CEMADEN está focado nas ocorrências decorrentes de movimentos de massa e/ou de processos hidrológicos.

Como o trabalho foca nas atividades do CEMADEN, decidimos descrever e explicar unicamente os desastres de tipo movimento de massa ou causados por processos hidrológicos.

Primeiro, desde 1991 todos os estados brasileiros registram casos de enxurradas como está representado no mapa seguinte. A enxurrada é diferente da inundação, do alagamento ou da enchente. A enxurrada corresponde a um volume importante de água que corre com grande velocidade e que resulta de chuvas abundantes. Os riscos de enxurradas se concentram na primavera e verão nas regiões litorâneas e no estado de Santa Catarina. O número de enxurradas registradas durante os últimos anos aumentou em comparação ao da década de 90. De fato, o país conheceu uma média de 227 eventos por ano, entre 1991 e 2001 e 504 eventos por ano, entre 2002 e 2012 (Atlas 2013).



Figura 1: Registros de enxurradas no Brasil de 1991 a 2012 (Fonte: Atlas 2013)

A inundação corresponde ao transbordamento das águas de um curso d'água, atingindo zonas marginais. A maioria das inundações aconteceu no Sudeste (34%), no Nordeste (25%) e no Sul (22%). Como as enxurradas, as inundações foram mais frequentes nesses últimos anos: média de 97 inundações por ano, de 1991 a 2001 e média de 372 inundações por ano, de 2002 a 2012 (Atlas 2013).



Figura 2: Registros de inundações no Brasil de 1991 a 2012 (Fonte: Atlas 2013)

O alagamento é diferente da inundação: corresponde a um acúmulo de águas em um lugar determinado pela falta de drenagem durante uma chuva importante. A Defesa Civil de São Bernardo publicou no seu site um esquema que mostra as diferenças entre uma enchente, uma inundação e um alagamento (Figura 3). Os alagamentos acontecem mais nos estados litorâneos. Esses desastres acontecem por duas razões principais. Primeiro, os alagamentos

ocorrem muito nas grandes cidades e regiões metropolitanas com uma urbanização desordenada, o que diminui a permeabilidade do solo e aumenta o pico de escoamento superficial devido a um sistema de drenagem insuficiente. A segunda explicação é que, nas cidades de tamanho médio a expansão da cidade se faz sem considerar de maneira correta a expansão do sistema de drenagem. Os alagamentos são mais frequentes durante o verão e o início de outono. As chuvas de verão, intensas e curtas, contribuem para a frequência dos alagamentos nas cidades litorâneas. Os alagamentos podem ser amplificados pela falha na gestão do saneamento ou a sobrecarga das galerias que pode causar extravasamento ou rompimento de tubos. A frequência dessas ocorrências era de 4,5 eventos por ano, de 1991 a 2001 e subiu para 42 eventos por ano, de 2002 a 2012 (Atlas 2013).

## ✓ Enchente, inundação e alagamento;

SÃO PREOCUPANTES PORQUE CAUSAM **EFEITOS IMEDIATOS** (DIRETOS) E **EFEITOS POSTERIORES** (INDIRETOS) À SAÚDE HUMANA;



Figura 3: Esquema explicitando as diferenças entre enchente, inundação e alagamento (Fonte: Site da Defesa Civil de São Bernardo)



Figura 4: Registros de alagamentos no Brasil entre 1991 e 2012 (Fonte: Atlas 2013)

Os movimentos de massa podem ser de vários tipos como, por exemplo deslizamentos ou escorregamentos, que são os casos mais frequentes. Os movimentos de massa correspondem aos deslocamentos de rochas ou sedimentos, geralmente em superfícies inclinadas, que são provocados por ação da gravidade depois de chuvas abundantes. De fato, as rochas de um terreno muito inclinado tendem a cair durante chuvas importantes destruindo as diferentes paisagens e podendo causar danos materiais e humanos.

### Como ocorrem os deslizamentos

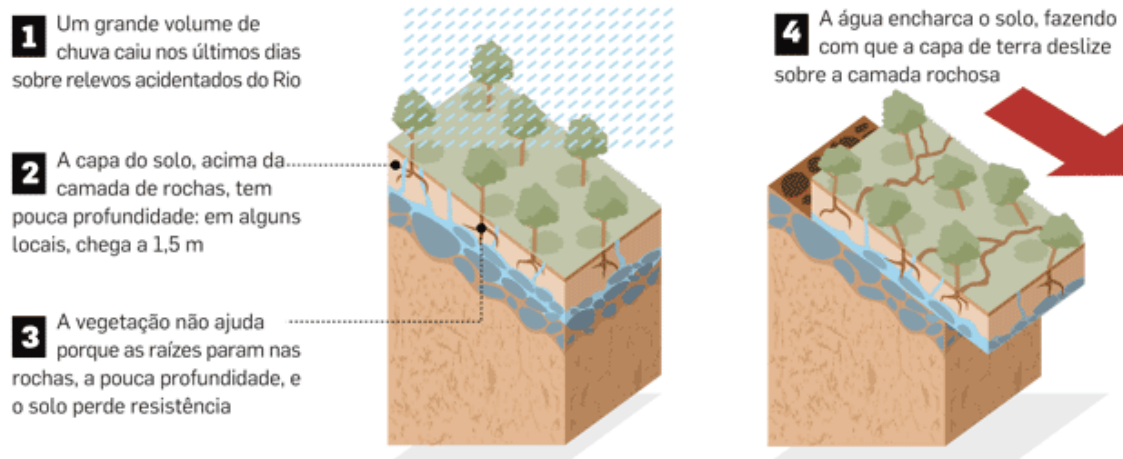


Figura 5: Esquema explicando o fenômeno de deslizamento (Fonte: Jornal Estadão)

Os deslizamentos são os movimentos de massa mais comuns. No entanto, existem vários outros tipos. Os escorregamentos são movimentos de massa importantes que acontecem rapidamente e causam importantes danos. Geralmente, eles são provocados por chuvas abundantes que

encharcam os solos e desprendem as rochas da superfície de base. Os desmoronamentos são movimentos mais lentos e graduais que podem deformar a superfície dos terrenos pouco a pouco. Os movimentos de blocos são deslocamentos de blocos de rocha que, em razão da gravidade, vão cair. Isso acontece geralmente nas áreas com grande declividade.

Os movimentos de massa são mais frequentes nas regiões Sudeste (79,8%) e Sul (13,6%) durante os meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março por causa das chuvas importantes do verão e da primavera. O número de desastres de movimentos de massa aumentou durante os últimos anos, passando de 4 eventos por ano, entre 1991 e 2001 a 66 eventos por ano, entre 2002 e 2012 (Atlas 2013).



*Figura 6: Registro dos movimentos de massa no Brasil entre 1991 e 2012  
(Fonte: Atlas 2013)*

Os fenômenos naturais mais frequentes no Brasil são, geralmente, classificados em onze categorias: estiagem e seca, enxurrada, inundação, alagamento, vendaval, movimento de massa, incêndio florestal, granizo, tornado, geada e erosão. Cada região do Brasil é afetada por ao menos um desses desastres (Figura 7).

No Norte, os estados com registro do maior número de ocorrências são o Pará e o Amazonas, em suas zonas centrais. As inundações e as enxurradas correspondem à 66,4% dos desastres na região devido ao clima equatorial, chuvoso e sem estação seca. O Norte é a região com o maior volume de chuva anual do país (QUADRO, 1996).

No Nordeste, todos os estados são afetados exceto o Maranhão e o oeste baiano. Os riscos mais importantes são as estiagens e as secas (78,4%), enquanto as inundações e as enxurradas correspondem a 19,5%. Essa região conhece uma variabilidade sazonal importante

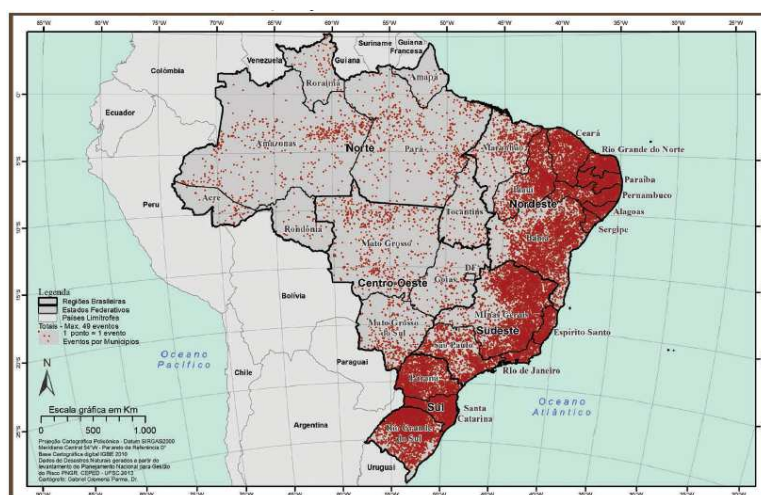


e marcante porque ela sofre os efeitos tanto das chuvas de verão quanto dos tempos de seca. Isso é provocado pela combinação entre relevo, posição geográfica e sistemas de pressão presentes (KAYANO; ANDRELLI, 2009).

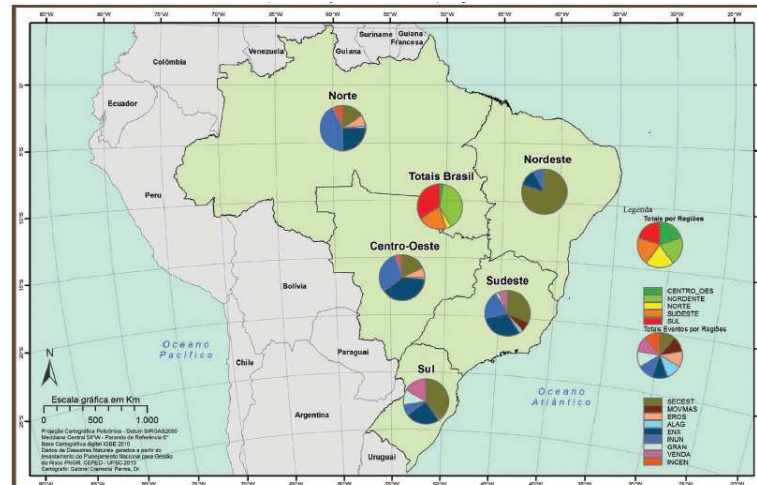
O Centro-Oeste é a região com a menor frequência de desastres naturais e apresenta uma variabilidade espacial e temporal importante seja de temperaturas seja de chuvas. De fato, essa região constitui a fronteira entre os climas quentes das latitudes baixas e os climas mais temperados da latitude média. Existe uma grande biodiversidade nessa região (QUADRO, 1996). As inundações e as enxurradas são os desastres de maior frequência (68%).

No Sudeste, são o norte mineiro, o norte do estado de Rio de Janeiro e o estado do Espírito Santo que conhecem mais desastres naturais. As enxurradas representam 50% dos eventos, as inundações 31% e os movimentos de massa 6,8%. Essa região apresenta a maior diversidade do Brasil em termos de clima por causa da variabilidade de latitude e de relevo, maritimidade e continentalidade e as diferentes ações dos sistemas tropicais e extratropicais. Ela representa o limite entre o Brasil Meridional e o Brasil Central (NUNES, KOGA-VICENTE & CANDIDO, 2009).

Enfim, a quase totalidade do Sul apresenta uma frequência importante de eventos. Os desastres mais frequentes são as estiagens e as secas (38,7%) e em seguida, as enxurradas (23,7%). Essa região conheceu fenômenos muitos diferentes e que podem ser atípicos como o caso do Furacão Catarina.



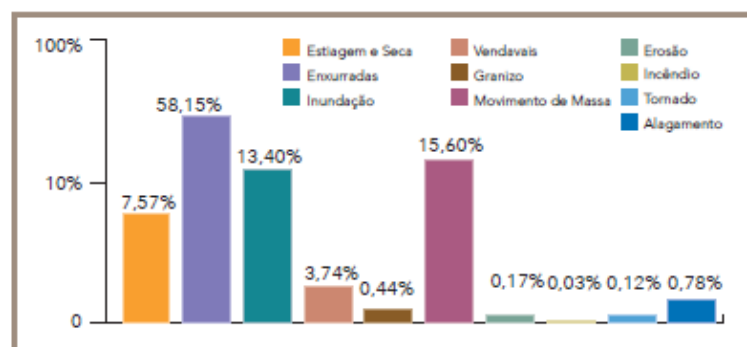
*Figura 7: Registro dos desastres naturais no Brasil entre 1991 e 2012  
(Fonte: Atlas 2013)*



*Figura 8: Repartição dos tipos de desastres por cada região do Brasil (Fonte: Atlas 2013)*

As estiagens e as secas são os fenômenos naturais com a maior frequência no Brasil (51,3%). No entanto, são fenômenos com uma progressão muito lenta e que não entram no escopo do trabalho do CEMADEN que emite alertas para desastres naturais de ocorrência rápida e que podem surpreender os habitantes e as administrações. As inundações e as enxurradas representam 32,6% dos desastres naturais que acontecem no Brasil (Atlas 2013).

Hoje, O trabalho do CEMADEN se concentra mais nos desastres naturais de ocorrência rápida e que colocam em grande risco a vida dos habitantes. Assim, os estudos dos Atlas mostram que o número de mortos por tipo de desastre é maior no caso de inundações e enxurradas, responsáveis por 71,55% das mortes, e de movimentos de massa, responsáveis por 15,60% das mortes (Atlas 2013). Por isso, o monitoramento do CEMADEN corresponde sobretudo aos indicadores das causas desses desastres naturais. Na continuação do trabalho, decidimos considerar unicamente os desastres de movimentos de massa para restringir o escopo e facilitar a elaboração do modelo de apoio à decisão.



*Figura 9: Mortos por tipos de desastres no Brasil em 2013 (Fonte: Atlas 2013)*

O trabalho do CEMADEN é muito importante para garantir a proteção dos habitantes das diversas regiões do Brasil. De fato, a ameaça dos desastres naturais é maior a cada ano, baseado na evolução do número de ocorrências no Brasil entre os anos de 1991 a 2012. Assim, houve 773 desastres naturais em 1991 e 3803 em 2012, ou seja, um crescimento anual de 7,9% durante esses 21 anos (Atlas 2013). A relevância do trabalho do CEMADEN é evidente e o desenvolvimento das ações e das atividades desse instituto são da maior importância para a sociedade brasileira.

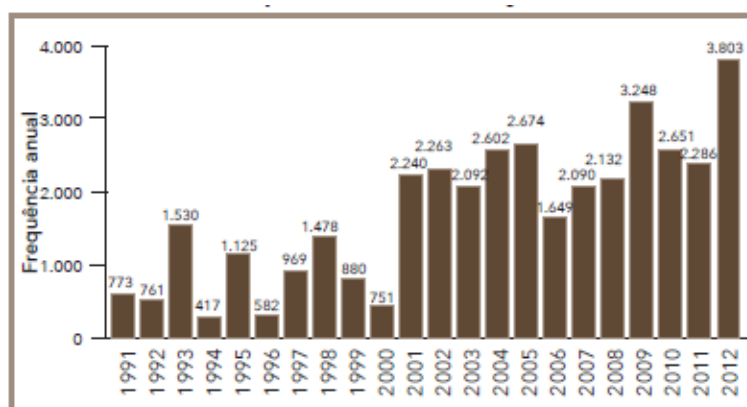


Figura 10: Evolução do número de desastres naturais no Brasil (Fonte: Atlas 2013)

### 2.1.2 O relatório da visita ao CEMADEN

No dia 8 de dezembro de 2015, foi realizada uma visita ao CEMADEN, a fim de entender o funcionamento e o trabalho do instituto e determinar as etapas necessárias para realizar o modelo de multicritérios de apoio à decisão. Nessa parte do trabalho, vamos apresentar o relatório da visita ao CEMADEN:

Primeiro, visitamos a Sala de Situação do CEMADEN (Figura 11), onde são realizadas as atividades de monitoramento e emissão de alertas para desastres naturais. Na sala de monitoramento do CEMADEN, há sempre um representante de cada profissão necessária para o controle dos dados recebidos: um hidrólogo, um meteorologista, um geólogo e um especialista em desastres naturais, que mudam a cada 6 horas.





*Figura 11: Sala de Situação do CEMADEN (Fonte: site do CEMADEN)*

Existem várias ferramentas para monitorar as diferentes dimensões relevantes para a decisão de emissão dos alertas.

Inicialmente, foi necessário registrar o mapeamento geológico de todas as cidades monitoradas e determinar o tipo de solo presente em cada uma, a fim de conhecer as diversas vulnerabilidades apresentadas pelos solos das cidades monitoradas. Além disso, os profissionais controlam os dados recebidos por satélite e radar. Os radares são mais precisos e mais rápidos do que as imagens de satélites, que são recebidas com atraso. No entanto, os radares atualmente instalados não permitem monitorar todas as cidades cadastradas, porque o raio de atuação deles não é suficiente para obter dados de todos os territórios acompanhados.

Os pluviômetros permitem monitorar a quantidade de chuva acumulada em cada município. Registros dos eventos de anos anteriores e estudos geológicos feitos em cada município permitem criar limiares de deslizamento, que correspondem à quantidade de chuva necessária para provocar deslizamentos de terrenos. Assim, com o monitoramento feito a partir dos pluviômetros, o instituto pode avaliar os riscos de deslizamento.

Também são utilizadas câmeras, instaladas nas cidades para monitorar o tráfego. Elas permitem avaliar, além disso, a quantidade de chuva acumulada e os riscos a ela relacionados.

A última ferramenta usada pelo CEMADEN são os *feedbacks* dos municípios, sobretudo os provenientes da Defesa Civil. Profissionais do CEMADEN costumam ligar para os municípios quando têm dúvidas acerca de uma situação e avaliar melhor o risco por meio de diálogo com a Defesa Civil. Adicionalmente, os *feedbacks* após os desastres são importantes

para entender como aconteceram os eventos e como eles se relacionam com suas causas. Esses diagnósticos permitem completar o mapeamento de cada cidade e delinear um perfil de risco mais preciso.

Os sistemas de monitoramento ainda não estão presentes em todas as regiões do país. A implantação dos radares e dos pluviômetros requer participação da população, de modo a permitir o bom funcionamento desses sistemas.

A instalação de radares é prioritária para o trabalho do CEMADEN, pois eles são as ferramentas mais confiáveis e rápidas de que dispõe o instituto.

A obtenção de dados dos pluviômetros demora, em média, uma hora e é frequentemente realizada por agricultores, os quais não necessariamente estão nos lugares de maior risco. Às vezes é necessário telefonar para os agricultores para obter os dados. Por essa razão, a educação e a instrução da população são essenciais para facilitar e automatizar a comunicação das informações.

Para determinar as regiões prioritárias para o recebimento dos sistemas de alertas, o CEMADEN trabalha em conjunto com o IBGE, a fim de identificar os territórios de risco, considerando também uma dimensão social (a quantidade de crianças, idosos, etc.). Para completar esse trabalho, eles estudam também os desastres anteriores, registrando, em especial, o número de mortos contabilizado em cada desastre identificado pela Secretaria Nacional da Defesa Civil ou o IMR (cujos dados são mais confiáveis).

Quando o CEMADEN detecta risco de desastre, os profissionais da sala de monitoramento ligam para o CENAD (Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres), localizado em Brasília. Depois, eles mandam as informações ao CENAD segundo um formulário (Anexo 3). A cadeia de emissão de alertas é longa. Às vezes, isso pode ser bom, dado que uma chuva preocupante pode parar em 15 minutos sem causar nenhum desastre. No entanto, este não é sempre o caso. A falta de uma comunicação rápida e eficiente pode causar várias perdas materiais e humanas.

Não existe ferramenta de suporte a decisão no CEMADEN. As decisões são demasiadamente apoiadas nas experiências dos funcionários. A equipe é autônoma e avalia como e quando emitir um alerta, segundo os níveis dos indicadores, o tempo do processo gerador de risco, o tempo de envio do alerta e as ocorrências passadas de desastres no mesmo local.

Quando se iniciaram os trabalhos do CEMADEN, os alertas não eram sempre transmitidos à população. Por isso, algumas cidades desenvolveram sistemas de informações como SMS, para prever riscos. Contudo, esses sistemas não transmitem alertas e servem mais

como forma de prevenção. O vocabulário utilizado numa alerta precisa ser bem adaptado, de modo a permitir o bom entendimento por parte da população (informando detalhes como: chuva acumulada, risco de deslizamento, etc.). Por exemplo, o risco de enxurradas é bem específico e aponta falta de drenagem urbana. Não é correto utilizar esse termo para outro tipo de risco. Os maiores riscos são os de deslizamento.

Outro trabalho do CEMADEN é registrar os alertas anteriores e analisar suas consequências. Nas análises dos alertas passados, funcionários do CEMADEN tentam avaliar os riscos de cada local. Por exemplo, determinar se um lugar passou por cinco alertas e zero ocorrências de desastre, ou se outro tem ocorrência de desastre todas as vezes em que um alerta foi emitido.

Existem várias áreas de pesquisa no CEMADEN, como a de modelagem para riscos de incêndio ou a de quantificação de impacto.

O maior problema da cadeia de alerta é a interpretação do risco pela população final. Assim, mesmo quando já ocorreram desastres em uma dada região, as pessoas se esquecem. Quando jovens perguntam aos mais idosos sobre os desastres que eles vivenciaram, as respostas não são suficientes para garantir uma reação apropriada durante uma alerta. Além disso, cada pessoa tem sua própria percepção do risco. Mulheres tendem a ter uma visão diferente da dos homens, por exemplo.

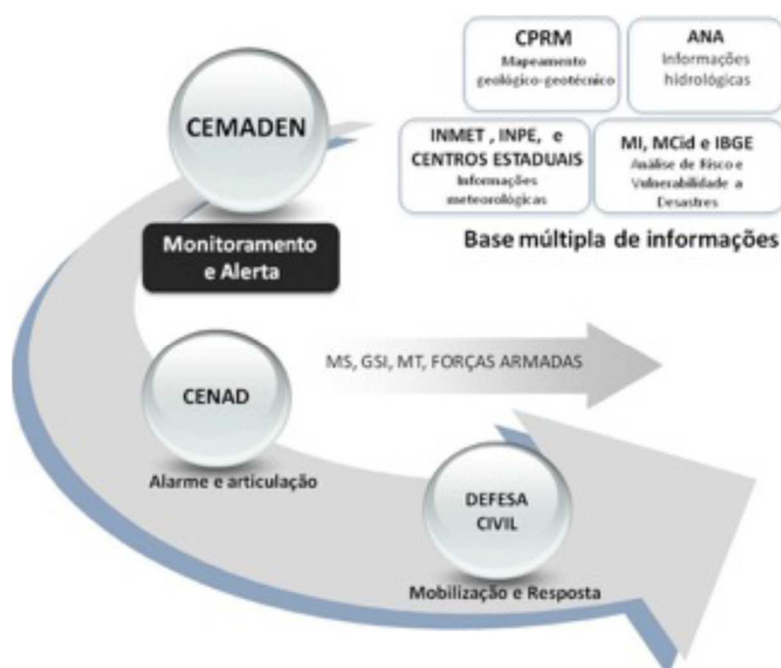
Para aumentar a eficácia da cadeia de alertas antes destes chegarem às populações, seria interessante criar centros estaduais, ao menos nas metrópoles, como São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. Alguns centros já existem; no entanto, é necessário implantar os mesmos sistemas e ferramentas em todos eles, para permitir a centralização das informações. Seria importante conseguir articular os diferentes centros dentro de alguns anos.

A Defesa Civil desempenha uma etapa importante da cadeia de alertas, porque envolve pessoas locais, que conhecem a estrutura das áreas com riscos e avisam a população. No entanto, eles não têm a infraestrutura necessária para responder aos alertas de desastres naturais de forma adequada. Há prefeituras que não têm telefone, cidades onde predomina uma precariedade muito elevada e até mesmo regiões que não reconhecem a autoridade da Defesa Civil. O maior problema dessa cadeia de alerta hoje é como chegar até as populações e permitir a elas o claro entendimento da situação em que se encontram.

O CEMADEN envia os alertas acompanhados de um nível de severidade. Existem quatro níveis de severidade: Observação (verde), Moderado (amarelo), Alto (marrom) e Muito Alto (vermelho). Alertas são emitidos a partir do nível de severidade classificado como alto.

Cada nível aponta para a necessidade de um dado curso de ação por parte da Defesa Civil. O nível alto requer a mobilização da Defesa Civil e a ativação do plano de comunicação do risco à população. O nível muito alto indica necessidade de evacuação da população de uma certa zona, que precisa ser bem definida.

Cada etapa da cadeia de alerta é acompanhada de documentos e protocolos que têm que ser preenchidos e realizados.



*Figura 12: Cadeia dos alertas de desastres naturais (Fonte: CEMADEN)*

A gestão de desastres ambientais é um trabalho complexo, que tem uma dimensão social importante. No entanto, a Defesa Civil, última etapa da cadeia de alerta, não tem as capacidades necessárias para prever os riscos. Uma solução seria transmitir os alertas para os líderes das comunidades e usar as redes sociais locais. Líderes comunitários têm um papel importante de informar a população durante um período de risco de ocorrência de desastre e, também, de ter contato com instituições como o CEMADEN, transmitindo dados relativos às quantidades de chuva acumuladas, aos tipos de solos do município, etc.

Em Petrópolis (2013), um alerta foi transmitido pelo Twitter e pelo Facebook, o que permitiu que a informação chegasse mais rapidamente às pessoas.

## 2.2. A síndrome *Cry Wolf*

### 2.2.1 O gerenciamento de crise

O Brasil e os outros países conhecem vários desastres climáticos e/ou meteorológicos que provocaram grandes prejuízos humanos e materiais. Esses desastres podem ser de diversas formas como chuvas intensas, ciclones, etc. Para apoiar as respostas a esses eventos, várias instituições ajudam as autoridades na tomada de decisão emitindo alertas segundo informações que devem ser confiáveis. Podemos assimilar essas ações como o gerenciamento de crise (CARUZZO, 2012).

Segundo a Política Nacional de Defesa Civil (BRASIL, 2007), podemos dividir o ciclo de um desastre natural em quatro fases (CARUZZO, 2012):

Prevenção – Preparação – (Evento) – Resposta – Reconstrução

Cada etapa desse gerenciamento de crise precisa de um bom fluxo de informações que são transmitidas entre os diferentes atores. Também, os institutos de monitoramento e emissões de alertas precisam fazer parte de cada etapa do ciclo e apoiar as autoridades em fim de garantir a melhor solução para os habitantes das regiões em risco. De fato, eles são os especialistas que vão permitir responder à uma situação não rotineira.

Assim a credibilidade dos serviços de previsões meteorológicas é muito importante para gerenciar esse tipo de crise. As falhas na gestão das informações e o atendimento impreciso dos habitantes podem prejudicar a confiança da população. Essa perda de credibilidade pode ser chamada de síndrome *Cry Wolf*.

Para as etapas de prevenção e preparação aos desastres naturais, as diferentes instituições devem-se coordenar entre elas para atender, nas melhores formas possíveis, a população que mora nos lugares a risco.

O maior desafio com os alertas de desastres naturais é tomar a melhor decisão rapidamente a partir de informações imperfeitas, visto que é impossível ter a certeza que um desastre vai ocorrer. Por isso, só o governo pode gerenciar esse tipo de crise e garantir que os procedimentos implementados permitem a comunicação com informações assertivas. O governo deve transmitir informações claras e confiáveis, pois falsos alertas e falhas na dispersão de informações podem ter efeitos negativos sobre a confiança da população.

Assim, durante os últimos anos, vários alertas de tsunami provocaram movimentos de pânico infundados na região do Oceano Indiano (SAMARAJIVA & GUNAWARDENE,

2007). Contudo, o tsunami do dia 26 de dezembro de 2004 ocorreu quase sem alerta em alguns países. É importante que as autoridades que monitoram os elementos meteorológicos possam avaliar os riscos de desastres, trabalhem da maneira mais profissional e melhorem as avaliações de riscos e a difusão das alertas usando um vocabulário adaptado.

É importante também que o governo seja o único canal de transmissão das informações. De fato, para garantir a clareza e a credibilidade das informações, é fundamental ter só uma fonte de informações e os outros canais devem unicamente transmitir as informações do governo (SAMARAJIVA & GUNAWARDENE, 2007). Em 2012, ocorreu um terremoto com uma magnitude de 8.6 no Oceano Índico. Cada país da região reagiu de uma maneira diferente. No Sri Lanka, teve uma alerta e uma evacuação das regiões litorâneas. No entanto, o governo não transmitiu outras informações depois do primeiro alerta e um movimento de pânico estabeleceu-se por causa das informações distorcidas que foram transmitidas via televisão e rádio para compensar o silêncio do governo (GUNAWARDENE, 2012). Depois de um caos como esse, a população perde a confiança no governo e igualmente nos institutos de emissão de alertas.

### 2.2.1 A percepção do risco

Em novembro 2007, a população do sul do Bangladesh decidiu ignorar os alertas sobre o ciclone Sidr e consequentemente mais de 1000 pessoas morreram. A tragédia ocorrera visto a circulação de um falso alerta, resultando em uma evacuação desnecessária que aconteceu dois meses antes do ciclone Sidr e que prejudicou a confiança da população no sistema de alertas de desastres naturais do Sri Lanka (GUNAWARDENE, 2012). A problemática descrita acima é um exemplo da síndrome *Cry Wolf* que aparece comumente depois de alertas falsos de desastres naturais.

A noção de risco pode ser complexa e todas as pessoas não a interpretam da mesma maneira. O risco é geralmente a possibilidade de consequências prejudiciais como mortes, pessoas feridas, destruições de prédios ou de infraestruturas. Alguns especialistas consideram o risco como a relação entre ameaça e vulnerabilidade (OLIVEIRA, 2015). Assim, a percepção de risco seria a visão que temos da nossa vulnerabilidade frente a uma ameaça designada. A ameaça é composta de dois elementos que são a frequência de ocorrência e a gravidade das consequências. Do mesmo modo que a vulnerabilidade tem duas dimensões que são a sensibilidade da pessoa e a capacidade de resposta dela (LIM & LIM &

PIANTANAKULCHAI, 2013). Além disso, essa percepção pode ser influenciada por vários elementos e características do indivíduo e de sua vida .

A percepção de risco é a maneira como as pessoas interpretarão uma situação e o que elas decidem fazer com essas informações. Esse processo mental vai depender de vários fatores. Primeiro, os fatores que caracterizam a pessoa de maneira social como a idade, o nível de escolaridade, a renda, a raça, as crenças, a presença de crianças, etc (DAHALL & HANGELMAN, 2011). Além disso, a cultura e o contexto econômico podem ser importante nessa percepção. Enfim, a pessoa vai também construir a interpretação do risco segundo sua história de aprendizagem e as experiências passadas que ela possui. Assim, alguém que já conheceu um desastre natural na sua vida vai ter uma percepção de risco desse desastre diretamente ligada com a experiência passada.

Além dos elementos pessoais que tem um papel na percepção do risco, podemos evidenciar outros aspectos ligados ao risco que podem influenciar a tomada de ações de frente ao risco. Assim, a qualidade da informação, da comunicação e do conhecimento do risco afeta bastante a decisão das pessoas (LIM & LIM & PIANTANAKULCHAI, 2013). Para permitir uma percepção melhor do risco, é necessário implementar medidas de prevenção e mitigação dos riscos. Assim, o conhecimento do risco e dos diferentes aspectos e suas consequências podem ajudar a população aceitar o risco e tomar, quando necessário, as ações adaptadas. Essa representação do risco vai depender também das fontes e dos tipos de informações que serão transmitidas. O gerenciamento das informações divulgadas durante a ocorrência de um desastre natural é muito importante para o bem-estar da população.

É importante saber que onde você mora é uma zona de risco e quais os tipos de risco que você pode enfrentar. Essa conscientização da sociedade é necessária para diminuir os efeitos da síndrome *Cry Wolf*.

Vários cientistas (UCHIDA, 2012; ATWOOD & MAJOR, 1998) afirmam que a ordem de evacuação deve ter em consideração o nível de riscos e as potenciais consequências. Se a ordem não é adaptada, esse fato vai prejudicar a confiança da população diminuindo sua percepção de risco.

De fato, o alerta e suas características têm um impacto sobre a percepção de risco. Dash & Gladwin (2007) evidenciam alguns aspectos de alerta que precisam ser controlados para garantir um efeito positivo na percepção do risco das pessoas como a especificidade, a consistência, a precisão, a clareza, a frequência, a fonte e os canais usados. Essas dimensões são importantes para garantir que a mensagem é entendida por todos. Uma evacuação será mais

eficaz se a mensagem é bem transmitida. É necessário entender quem será evacuado ou não, e as razões de cada escolha.

Dahal & Hangelman (2011) mostram em um estudo que as pessoas são menos susceptíveis de aceitar uma alerta e deixar o local se as mesmas já conheceram, no passado, algum alerta e/ou evacuações falsas. Nesse estudo, eles falam do caso de habitantes que moram perto do lago Tsho Rolpa, no Nepal e estão em uma região de risco de inundação brusca. Alguns anos antes do estudo, a região foi esvaziada por causa do risco de uma inundação e os habitantes ficaram longe de suas cidades durante várias semanas. Além disso, o governo implementou várias infraestruturas para prever o risco de inundação da região. Esses dois fatos provocaram a síndrome *Cry Wolf* dos moradores que durante o estudo apresentaram uma percepção muito fraca do risco da região. Vários habitantes falaram que as infraestruturas implementadas pelo governo são suficientes para eliminar o risco e que mesmo sem essas medidas, o risco não existe. Estes afirmaram que não acreditavam que o desastre poderia realmente ocorrer por causa do último alerta que foi falso.

A síndrome *Cry Wolf* pode ser identificada pela resistência das pessoas a acreditar que um risco existe segundo as experiências de alertas falsos que conheceram. Essa perda de credibilidade provoca uma resistência da população durante as evacuações e pode causar consequências graves como mortos ou feridos. Por isso, a qualidade dos alertas é um aspecto importante do trabalho realizado pelos diferentes atores da cadeia de alerta. Essas emissões devem ser controladas, claras e realizadas com a maior precisão possível.

O Pacific Tsunami Museum em Hilo Hawaii instalou um simulador de ordens de alertas de desastres naturais que a partir de casos gerados com dados aleatórios sobre movimentos sísmicos de 7.5, o nível do mar e vários dados históricos. Com todos esses dados, o visitante deve decidir se o alerta será ou não considerado, visto a segurança da população, os impactos econômicos e as potenciais consequências políticas. Esse simulador serve para mostrar a dificuldade desse tipo de decisão. De fato, no Oceano Pacífico, 75 % das alertas de tsunamis são falsas (GUAWARDENE, 2012). Por isso, é importante desenvolver ferramentas que permitem emitir alertas mais confiáveis e reduzir o aparecimento da síndrome *Cry Wolf*.



## 2.3. O modelo multicritérios de apoio a decisão

### 2.3.1 A teoria

Qualquer ação se caracteriza pelas consequências se esta é realizada. Essas potenciais consequências precisam ser comparadas para a melhor decisão ser tomada. O modelo multicritério é uma metodologia de apoio a decisões que possui vários objetivos (FRANCO & MONTIBELLER, 2009). Para representá-los, podemos usar uma árvore com diferentes valores sobre cada ramo.

No modelo multicritérios de apoio a decisão, a etapa mais importante é a definição dos critérios. Cada critério representa as preferências do tomador de decisão segundo seu ponto de vista do problema. Um critério tem três dimensões: uma avaliação do valor, propriedades e atributos definidos de maneira adequada para avaliar o desempenho dos objetivos (MONTIBELLER, 2013). O importante é avaliar de maneira correta as funções de valor e os pesos que correspondem a cada critério de maneira a encontrar um modelo confiável.

Para construir esse tipo de modelo, existem várias etapas. A primeira é definir os objetivos fundamentais da decisão e depois, podemos definir os critérios interligados com esses objetivos. Com as definições estabelecidas, é necessário avaliar as opções de decisão, melhorá-las e escolher a melhor para a tomada de decisão (MONTIBELLER, 2013).

Os objetivos devem ter as seguintes características: estes devem ser essenciais, operacionais, concisos, compreensíveis, não redundantes e independentes (FRANCO & MONTIBELLER, 2009).

O conjunto de critérios deve obedecer a algumas propriedades. A primeira é que os critérios devem permitir medir o desempenho de cada objetivo fundamental do problema e devem avaliar unicamente esses objetivos. Os critérios devem ser suficientes para comparar qualquer dupla de opções. Segundo as preferências entre dois critérios e as preferências globais, os critérios devem ser coerentes para o tomador de decisão. Enfim, os critérios não podem ser redundantes (MOUSSEAU, 2009). Depois, os atributos devem descrever as consequências segundo o ponto de vista do tomador de decisão. Eles devem ser não ambíguos, compreensíveis, diretivos e operacionais (FRANCO & MONTIBELLER, 2009). Os atributos vão permitir conhecer os pesos de cada critério na avaliação da decisão. Enfim, temos que construir as funções de valores que vão permitir tomar a decisão.

Para garantir uma boa leitura do modelo, não é recomendado ultrapassar 12 critérios. As funções de valor devem ser bastantes simples para ser entendidas por todos os atores da decisão. Os 75% do trabalho de construção do modelo multicritérios consiste em falar com os tomadores de decisão para determinar os objetivos, os critérios e a hierarquia de valores dos diferentes critérios. Para construir o modelo, podemos partir de duas maneiras diferentes: Top-Down, dos objetivos até os critérios ou Bottom-Up das consequências até o conjunto de critérios com atributos (MOUSSEAU, 2009). Existem três tipos de critérios: os critérios naturais como o custo, os critérios baseados nos atributos como a concentração de poluentes que permite avaliar os efeitos na saúde e os critérios construídos como a imagem de marca por exemplo.

### 2.3.2 O uso do modelo para as decisões de evacuação

Vários cientistas como Uchida, Kailiponi ou Caruzzo, Manso & Belderrain desenvolveram modelos multicritérios para apoiar as decisões de evacuações durante desastres naturais.

Uchida (2011) estudou o caso de deslizamento de terra causado por chuvas intensivas e desenvolveu um modelo considerando a síndrome *Cry Wolf*. Primeiro, ele criou uma variável  $q$  que representa o nível de chuva caindo e ele determinou três níveis diferentes de alertas  $q_1$ ,  $q_2$  e  $q_3$ . Em seguida, calculou as probabilidades para que os diferentes alertas sejam emitidos e as probabilidades de evacuação  $p_E$ . A probabilidade de evacuação tem uma definição baseada na aprendizagem das experiências passadas, introduzindo um coeficiente  $\alpha$  para representar o processo de aprendizagem. Assim, a probabilidade de evacuar no momento  $t$  vai ser diretamente ligada a probabilidade de evacuar no momento  $(t-1)$  multiplicado pelo coeficiente  $\alpha$ .

Além disso, Uchida baseou seu modelo de um ponto de vista puramente econômico. Assim, para modelizar a decisão do morador de evacuar ou não, ele considera que a pessoa vai comparar os diferentes custos das opções para se decidir. Então, se o custo de evacuar é mais elevado que o custo de ficar em casa, a pessoa vai decidir de ficar em casa.

Kailiponi desenvolveu um modelo do ponto de vista dos gerenciadores. Explicando que a complexidade desse modelo é a consequência de três elementos: a incerteza dos eventos, os fatores probabilísticos  $m$  sendo um problema que não podemos resolver de maneira linear. Além disso, esse problema tem um prazo limitado porque essas decisões devem ser tomadas de maneira rápida. Ele desenvolveu os diferentes objetivos e atributos que são considerados nas decisões de evacuação da população.

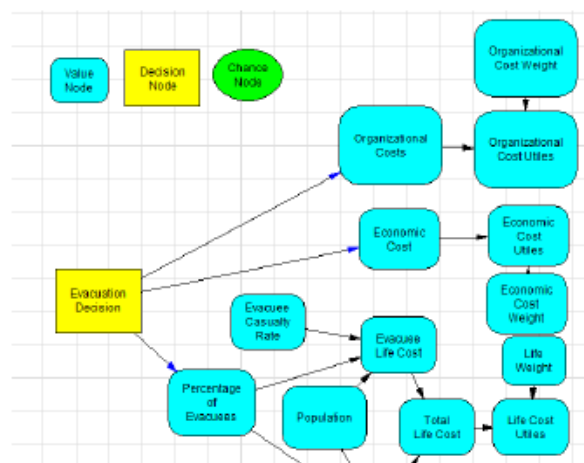
O segundo grande problema da decisão de evacuação é a resposta da população e saber se as pessoas aceitarão o alerta é complexo. Do ponto de vista do governo, Kailiponi avaliou quatro opções de decisão: fazer nada, emitir um aviso sobre o desastre, emitir uma ordem de parcial evacuação ou emitir uma ordem de evacuação em urgência.

**Table 2. Preliminary Objectives and Attributes for Evacuation Decisions**

Objectives	Attribute
1. Minimize Health and Safety Threat	
Minimize loss of life to population	Number of casualties
Minimize injuries to population	Number of serious injuries
2. Minimize Indirect Economic Losses	
Minimize business disruption	Cost in pounds
Minimize personal disruption	Cost in pounds
3. Minimize Emergency Organizations	
Economic Losses	Cost in pounds
4. Minimize Panic and Disorder	Number of individuals who exhibit panicked behaviour
5. Minimize Public Disregard for Future Evacuation Orders	Number of individuals who fail to regard future evacuation orders
6. Maximize Public Confidence in Officials	Public approval of strategy

*Tabela 1: Lista dos objetivos e atributos para decisões de evacuação (Fonte: KAILIPONI, 2010)*

Como Uchida (2011), ele construiu seu modelo de um ponto de vista financeiro como podemos ver na Figura 13. Os objetivos principais são diminuir os custos de vida, os custos econômicos e os custos organizacionais.



*Figura 13: Diagrama de influência no modelo de decisão (Fonte: KAILIPONI, 2010)*



de apoio a decisão será útil para os profissionais se estes aderirem ao modelo e entendam que todos os elementos e suas ligações presentes no modelo de apoio. Além disso, são as pessoas mais designadas para decidir sobre importância de cada critério, levando em conta seus conhecimentos e suas experiências adquiridas com a prática.



### 3. ELABORAÇÃO DO MODELO MULTICRITÉRIO

#### 3.1. A estruturação do modelo

##### 3.1.1 A identificação do problema

A primeira etapa de realização do modelo multicritério de apoio à decisão é a identificação do problema considerado para permitir a melhor resposta possível quando o modelo vai ser usado. Para a definição do problema, decidimos basear esse trabalho sobre a metodologia desenvolvida pelos professores L. Alberto Franco e Gilberto Montibeller na publicação “*Problem Structuring for Multi-Criteria Decision Analysis Intervention*”. De fato, essa etapa da elaboração do modelo multicritério não foi muito estudada na literatura e a metodologia explicada, segundo Franco e Montibeller é completa e permite construir as bases necessárias para um modelo multicritério. Além disso, eles realizam no artigo a revisão da literatura que trata da estruturação do problema para os modelos multicritério. Por isso, escolhemos adotar a metodologia descrita no artigo citado. Essa etapa não é trivial e necessita bastante atenção e precisão porque vai determinar a eficiência do modelo construído.

Segundo os autores, existem duas dimensões na estruturação do problema: a definição do problema e a identificação dos participantes na decisão. Primeiro, vamos realizar a definição do problema relacionado com nosso modelo multicritério e depois, determinaremos os participantes na decisão de emitir alertas ou não.

A definição do problema é uma tarefa complicada porque cada pessoa vai ter a sua própria visão do problema que não vai corresponder com a visão dos outros. Na literatura, o assunto de definição do problema para os modelos multicritério é pouco abordada e vários científicos e profissionais acham que a realização e a estruturação de um modelo são mais uma arte sem fundações científicas. No entanto, elaborar um modelo sem definir corretamente o problema pode criar uma solução não adaptada. Por isso, é necessário utilizar ferramentas (mapa cognitivo, metodologia de sistemas flexíveis, mapeamento de diálogo, ...) que permitem ter uma visão a mais objetiva possível para determinar o problema. Para nosso problema, decidimos usar o mapa cognitivo a fim de ver todos os aspectos considerados em nosso problema, representada na Figura 15. Esse mapa foi elaborado a partir das respostas dos funcionários do CEMADEN e mostra os diferentes elementos que contribuem na dificuldade de tomar a decisão de emitir uma alerta.

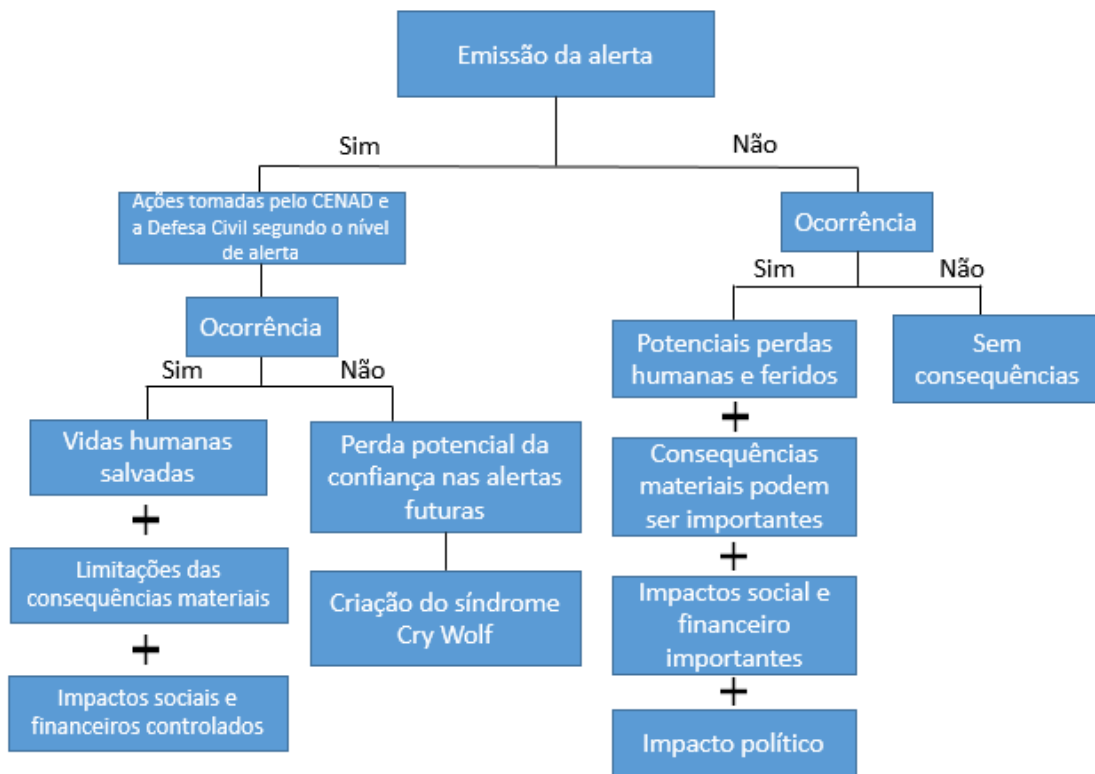
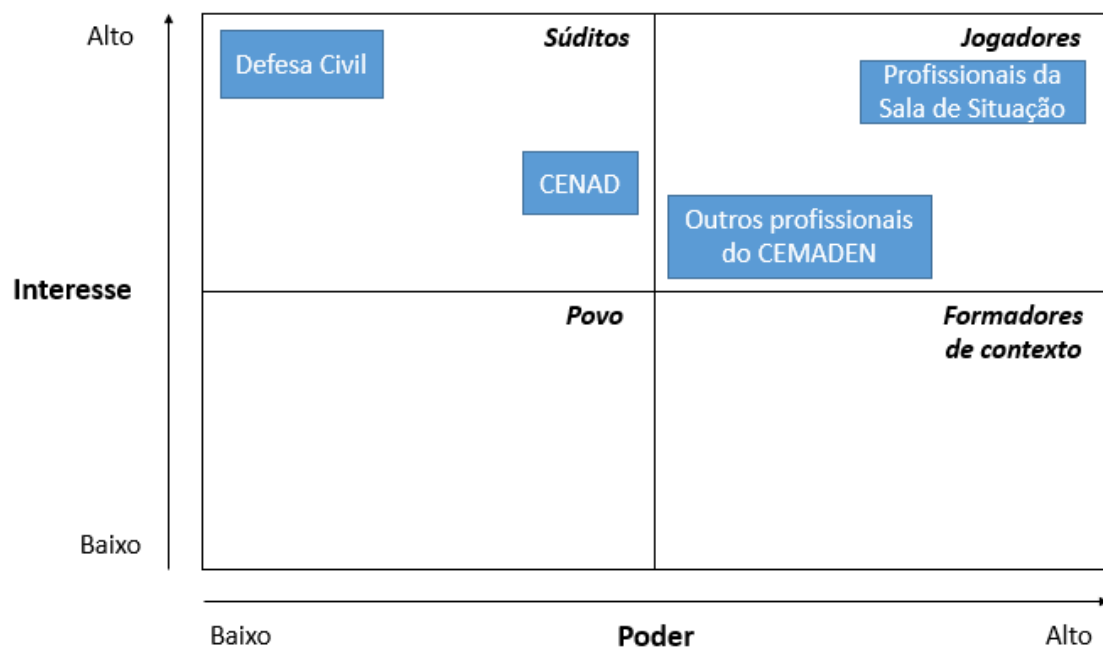


Figura 15: Mapa cognitivo para definir o problema de nosso modelo multicritério

A segunda etapa é a determinação dos participantes da elaboração do modelo multicritério. No artigo de Franco e Montibeller, é mencionado um estudo realizado por Nutt em 2002 sobre 400 decisões tomadas por várias organizações. Ele achou que a metade dessas decisões não foram aplicadas ou não deram os resultados esperados. A maior razão desses fracassos são a escolha errada das pessoas que tinham que implementar as decisões. Assim, escolher as partes interessadas é importante para garantir o sucesso da decisão. As partes interessadas chaves da decisão precisam fazer parte da elaboração do modelo para garantir que eles vão ter confiança nos resultados do modelo e que eles vão seguir as recomendações do modelo. A ferramenta mais usada para determinar as partes interessadas do problema é a matriz poder-interesse que foi aplicada a nosso caso na Figura 16. Na emissão de alertas, todas as partes interessadas têm um interesse muito grande. De fato, como as consequências podem ser muito graves para a população, todas as partes interessadas querem que a decisão seja a melhor possível. No entanto, não todos têm o poder de modificar a decisão. Assim, os profissionais da Sala de Situação têm um poder muito forte porque são eles que emitem a alerta. Os outros profissionais do CEMADEN, mesmo se eles não participam na emissão, podem ajudar a equipe da Sala de Situação em qualquer momento. O CENAD, que é a segunda etapa na cadeia de



emissão, têm menos poder porque eles não podem participar na decisão da alerta. No entanto, eles realizam cada vez uma nova avaliação da situação para saber se eles transmitem a alerta a Defesa Civil. A Defesa Civil tem pouco poder porque em tempo normal, cada nível de alerta emitida pelo CENAD corresponde a uma ação obrigatória da Defesa Civil. No entanto, como cada elemento da cadeia de emissão de alerta, eles podem decidir ignorar a alerta, o que é sobretudo causada pela síndrome *Cry Wolf*. Assim, para a estruturação do problema e do modelo decidimos encontrar profissionais do CEMADEN e entrevistar profissionais da Sala de Situação porque eles representam as partes interessadas com mais poder e interesse na decisão de emitir as alertas de desastres naturais. As entrevistas foram feitas unicamente com os profissionais da Sala de Situação que são os *stakeholders* mais críticos do nosso problema.



*Figura 16: Matriz Poder-Interesse das partes interessadas na decisão de emissão de alertas*

### 3.1.2. As fases de estruturação

Para estruturar o modelo multicritério de apoio a decisão, Franco e Montibeller destacam três fases: a representação dos objetivos do problema em uma árvore de valor, a

definição dos atributos relacionados a cada objetivo e a identificação das alternativas da decisão.

Primeiro, vamos determinar os objetivos do nosso problema e representar eles em uma árvore de valor. Esse tipo de árvore decompõe os objetivos principais em objetivos mais operacionais o que normalmente permitem facilitar a avaliação das diferentes alternativas da decisão porque eles são mais específicos e detalhados. Existem duas metodologias para construir uma árvore de valor: o método *Top-Down* e o método *Bottom-Up*. O primeiro método parte dos objetivos principais e decompõe eles em objetivos operacionais, que são depois decompostos em sub-objetivos. O segundo método é baseado nas alternativas de decisão. Nesse caso, temos que identificar os atributos que permitem de avaliar as alternativas e definir os objetivos correspondentes. Enfim, podemos agrupar os objetivos achados em macro-objetivos. Outros científicos como Belton, Stewart ou Parnell usam metodologias baseadas nas relações de causalidade/influência entre os diferentes aspectos do problema usando modelos qualitativos.

Os objetivos devem corresponder a um conjunto de propriedades que têm que ser cumpridas durante a estruturação do modelo. As propriedades são as seguintes:

- Essencial: o modelo deve considerar todos os objetivos essenciais para o problema,
- Compreensível: todos os objetivos devem ser entendidos para todas as partes interessadas do problema,
- Operacional: as alternativas de decisão devem ser avaliadas segundo cada objetivo determinado,
- Não redundante: os objetivos devem considerar aspectos diferentes do problema,
- Conciso: o número de objetivos deve ser o menor possível para a resolução do problema,
- Independência preferencial: é melhor se for possível avaliar uma alternativa de decisão segundo um objetivo sem precisar da avaliação dela segundo os outros objetivos.

A Figura 17 representa a árvore de valor da emissão de alerta de desastres naturais considerando o impacto da síndrome *Cry Wolf*. Para estabelecer essa árvore, foi decidido usar o método *Bottom-Up*. De fato, as alternativas da decisão de emissão da alerta de desastre natural são evidentes: emitir a alerta ou não. Assim, foi mais simples construir a árvore a partir dessas duas alternativas. A emissão ou não da alerta depende dos riscos que presentes nas regiões os riscos. Assim, um desastre natural é grave porque ele tem consequências humanas e materiais pesadas. Por isso, os objetivos mais operacionais são a minimização dessas consequências e para garantir isso, a alerta deve permitir aos atores da cadeia de emissão ter todas as informações

e o tempo para realizar as ações necessárias. No entanto, não podemos esquecer que esse trabalho está focado na síndrome *Cry Wolf* e que um dos objetivos da decisão é de conservar a confiança de todos os atores da cadeia de alerta emitindo alertas certas. Assim, a árvore de valor seguinte mostra os objetivos que querem ser atingidos com a emissão de um alerta certo e com antecedência suficiente. Antes do nosso caso, colocamos o exemplo encontrado na metodologia usada para entender o funcionamento da árvore de valor.

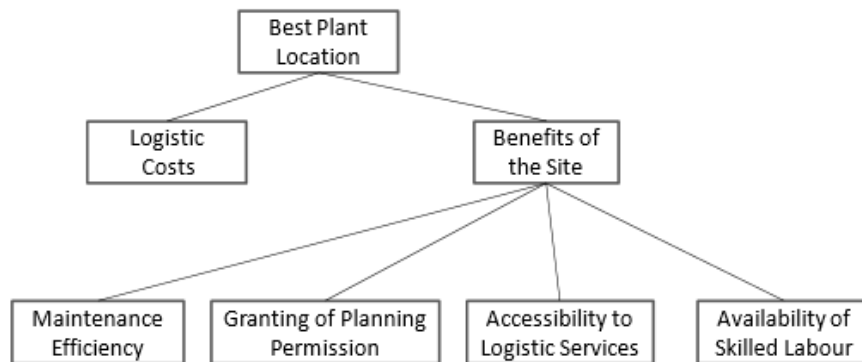


Figura 17:Árvore de valor da decisão do lugar de implantação de uma fábrica  
(Fonte: FRANCO L. A. & MONTIBELLER G. "Problem Structuring for Multi-Criteria Decision Analysis Interventions")

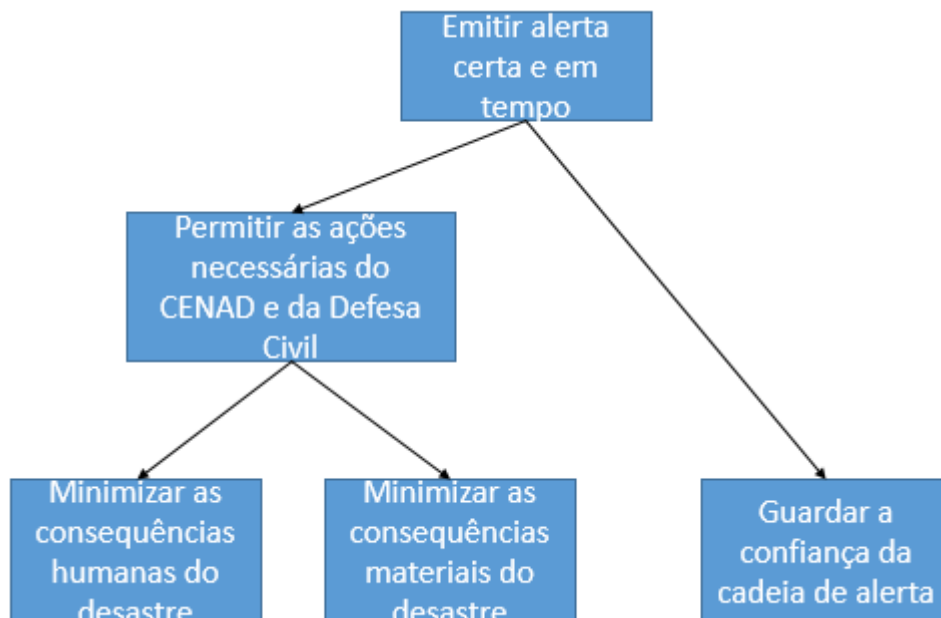


Figura 18: Árvore de valor da decisão de emissão de alerta de desastres naturais

A segunda etapa dessa estruturação do modelo é a definição dos atributos relacionados com os objetivos identificados na primeira etapa. Assim, para cada objetivo do último nível da árvore de valor, temos que identificar um atributo que vai permitir avaliar os impactos das diferentes alternativas de decisão. Os atributos podem ser caracterizados de duas maneiras diferentes. A primeira é determinar se o atributo é direto ou indireto:

- um atributo direto vai permitir avaliar diretamente se o objetivo foi alcançado ou não,
- um atributo indireto não vai permitir avaliar diretamente se o objetivo foi alcançado, mas, ele vai dar informações associadas sobre o nível de alcance.

A segunda maneira de caracterizar os atributos é se eles são naturais ou construídos:

- um atributo natural permite medir as preocupações relacionadas ao objetivo sem manipular ele,
- um atributo construído permite medir as preocupações relacionadas ao objetivo com a avaliação de indicadores construídos pelo analista.

Segundo Franco e Montibeller, é melhor ter atributos diretos para permitir uma avaliação mais precisa e completa dos objetivos. Do mesmo modo, um atributo natural é melhor porque ele permite avaliar de maneira mais clara. Como os objetivos na parte anterior, os atributos devem respeitar várias propriedades a fim de ter o modelo mais completo e eficaz possível. As propriedades dos atributos são as seguintes:

- Inequívoco: o atributo deve permitir ter uma visão clara da relação entre o impacto correspondente a uma alternativa e a descrição desse impacto,
- Compreensivo: o atributo deve permitir avaliar todas as situações possíveis segundo as diversas alternativas,
- Direto: os diferentes níveis do atributo devem permitir descrever diretamente as consequências de todas as alternativas,
- Operacional: a valor do atributo pode ser recuperada de maneira prática,
- Compreensível: os atributos e os valores deles devem ser entendidos para todas as partes interessadas.

Para o objetivo “Minimizar as consequências humanas do desastre”, o atributo é o número de mortes e de feridos que foram causados pelo desastre. O objetivo “Minimizar as consequências materiais do desastre” pode ser relacionado ao atributo que avalia o número de instalações e infraestruturas destruídas ou deterioradas por causa do desastre. Enfim o atributo do objetivo “Guardar a confiança dos atores da cadeia de alerta” é o mais difícil de avaliar e pode ser

unicamente qualitativo determinando as ações realizadas por os diferentes atores segundo cada nível de alerta emitida.

A terceira etapa da estruturação do modelo é a identificação das alternativas de decisão. É a etapa mais importante da estruturação porque ela vai determinar a complexidade do modelo. Além disso, a omissão de uma alternativa pode tornar o modelo obsoleto. Para a emissão de alerta de desastres naturais, a identificação das alternativas de decisão é simples porque a questão é emitir a alerta ou não e os diferentes níveis de alertas. Assim, existem quatro alternativas de decisão possíveis para nosso caso são: não emitir a alerta, emitir uma alerta de nível moderado, emitir uma alerta de nível alto e emitir uma alerta de nível muito alto.

### 3.2. Os critérios do processo decisório

Durante a primeira visita do CEMADEN (dia 8 de dezembro de 2016), não foi possível discutir amplamente os critérios usados no processo decisório da emissão dos alertas com os profissionais que atuam na Sala de Situação. Por isso, foi realizado primeiro uma revisão bibliográfica a fim de determinar os critérios usados na literatura e nos sistemas que existem em outros países. Depois dessa revisão bibliográfica, foram entrevistados dois profissionais para estabelecer a lista de critérios usados no caso do CEMADEN. Os dois profissionais entrevistados foram Diego Oliveira de Souza, atualmente meteorologista do CEMADEN e Flávio E. A. Horita, aluno de Doutorado do ICMC (USP) que está realizando vários estudos sobre o funcionamento do CEMADEN. Essas entrevistas permitiram determinar os critérios que são considerados na emissão de um alerta de desastres naturais. A etapa de determinação dos critérios é crítica para esse trabalho porque eles correspondem aos elementos fundamentais do modelo de apoio multicritérios.

#### 3.2.1 Os critérios da literatura

Na literatura, a maioria dos estudos analisam sistemas de emissão de alertas usados em outros países, sobretudo na Itália e na França, que conhecem um importante número de desastres naturais causados pela chuva. Nesses artigos, podemos encontrar uma base de critérios que são comuns para os deslizamentos. Esses critérios correspondem em grande parte às variáveis que têm um papel no processo de deslizamentos causados pela chuva, tais como as propriedades mecânicas e hidráulicas das declividades dos terrenos, as morfologias das

declividades, as características das zonas com riscos, as características dos solos e as características da chuva (BERNARDIE, DESRAMAUT, MALET, GOURLAY & GRANDJEAN, 2014). A maioria dos sistemas de monitoramento de deslizamentos correspondem a sistemas de medições e monitoramento da chuva porque o resto das variáveis consideradas são estudadas antes e registradas no sistema previamente (BERNARDIE, DESRAMAUT, MALET, GOURLAY & GRANDJEAN, 2014). Assim, no *Sistema Integrato Gestione Monitoraggio Allerta* (SIGMA) usado na Itália (LAGOMARSINO, SEGONI, FANTI & CATANI, 2013), o monitoramento da chuva controle três dimensões:

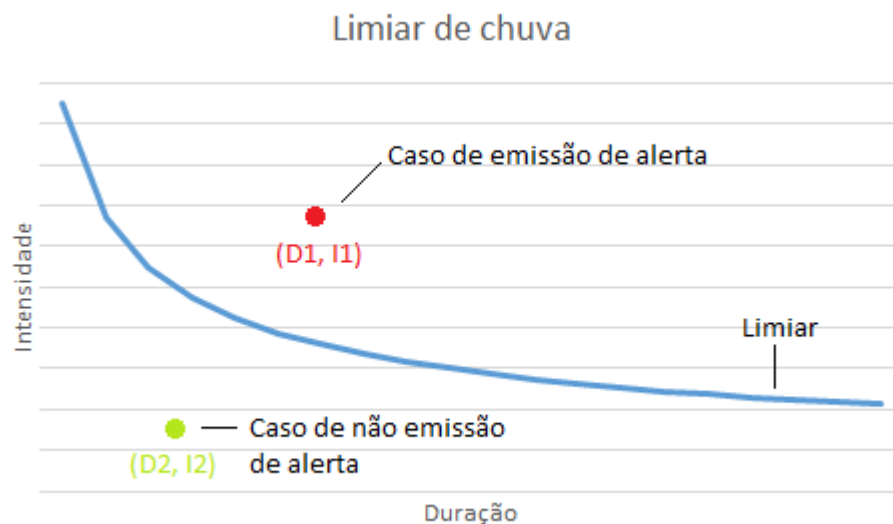
- as chuvas dos dias anteriores que podem corresponder às chuvas acumuladas durante dois ou três dias ou olhar as chuvas que aconteceram durante os últimos meses,
- a chuva que está caindo,
- as previsões de chuva para as próximas horas.

No entanto, os elementos que são estudados para determinar as áreas de risco são importantes. Os estudos geológicos são necessários para o bom funcionamento da emissão de alertas de desastres naturais. Assim, as instituições que monitoram e alertam os desastres naturais precisam que seja realizado previamente a avaliação das diferentes regiões do país. ALEOTTI (2004) afirma que para realizar essa avaliação das zonas de riscos, é necessário conhecer as propriedades geológicas, geomorfológicas e litológicas dos terrenos, as capacidades de permeabilidade e umidade dos solos, os perfis de pressão de água nos solos e os modelos de estabilidades dos diferentes terrenos.

Além disso, a maioria dos estudos e dos sistemas de monitoramento são baseados sobre um sistema de limiares e de base de dados de desastres passados. Os sistemas de limiares são baseados sobre o conceito de valor crítico que a chuva não pode ultrapassar sem causar desastres. Normalmente, os limiares colocam em relação a intensidade da chuva com a duração (tipo I-D) ou a intensidade com a quantidade de chuva dos dias anteriores e a duração da chuva (tipo I-A-D) (BERNARDIE, DESRAMAUT, MALET, GOURLAY & GRANDJEAN, 2014). Os sistemas de monitoramento avaliam as características da chuva (quantidade anteriores, quantidade atual e previsões) para depois, comparar os resultados com os limiares correspondentes com cada zona geográfica para determinar o nível da alerta. O sistema SIGMA na Itália funciona sobre esse modelo (LAGOMARSINO, SEGONI, FANTI & CATANI, 2013). Os limiares podem ser de dois tipos: empíricos ou estatísticos baseado sobre as características físicas do deslizamento (MARTELLONI et al, 2012).

Na Itália, existem outros sistemas de monitoramento além do SIGMA. O sistema SANF é baseado em um sistema de limiares, a quantidade de chuva que está caindo na rede de

pluviômetros do instituto de monitoramento e as previsões de chuva (ROSSI et al, 2012). Duas vezes por dia, o sistema compara as medições feitas e as quantidades previstas de chuva com os limiares predefinidos do tipo I-D. Esses limiares são construídos de maneira empírica e possuem cinco níveis de criticidade (ROSSI et al, 2012). Esses limiares permitem determinar os momentos críticos quando é necessário emitir um alerta. Assim, as equações de limiares definem uma curva crítica de chuva caindo segundo sua intensidade e duração. Quando os dados encontrados superam essa curva crítica, os cientistas consideram que a probabilidade de um desastre natural é suficiente para emitir um alerta. Assim, os centros de monitoramento emitem os alertas quando os dados indicam um ponto acima da curva da equação de limiar no espaço I-D.



*Figura 19: Explicação do funcionamento das equações de limiar na emissão das alertas*

ALEOTTI (2004) elaborou um outro sistema de monitoramento para a região do Piedmont na Itália onde aconteceram 18 ocorrências de desastres entre 1990 e 2002. O sistema de limiares dele é construído sobre uma base de eventos considerando a duração e a intensidade de chuva e o número de desastres causados, assim como as suas características. Graças a esses estudos, ele conseguiu criar um limite crítico:

$$I = 19 * D^{-0,5}$$

com I, a intensidade em mm/h e D, a duração em h. No entanto, ele desenvolveu essa fórmula com a normalização da intensidade: NI é a intensidade normalizada, expressada em % e igual

a  $[(I/MAP)*100]$  onde MAP é quantidade anual de chuva. Assim, ele construiu dois limiares que dependem das características dos solos:

$$NI = 0,76 * D^{-0,33} \text{ et } NI = 4,62 * D^{-0,79}$$

No final do artigo, ele propõe um último limiar que é baseado sobre a quantidade normalizada de chuva acumulada NCR,  $[(mm/MAP)*100]$ .

$$NI = -0,09 * \ln(NCR) + 0,54$$

ALEOTTI (2004) explica que existe um outro tipo de limiares que é baseado sobre as características físicas dos deslizamentos. De fato, alguns cientistas desenvolveram modelos numéricos que evidenciam as relações entre a chuva, a pressão de poros e a estabilidade da declividade considerando os modelos hidrológico e de estabilidade da literatura. No entanto, esse tipo de limiar é difícil de se construir e demanda um trabalho importante dos científicos.

Com essa revisão bibliográfica, conseguimos definir uma lista de potenciais critérios de decisão de emissão dos alertas de desastres naturais:

- Os limiares de deslizamentos em relação com a quantidade de chuva,
- As características da chuva atual (intensidade duração)
- A quantidade de chuva dos dias anteriores (ou chuva acumulada)
- As previsões de chuva
- Os registros de ocorrências anteriores
- As propriedades mecânicas, hidráulicas, morfológicas e de estabilidades das declividades de terrenos
- As propriedades geológicas, geomorfológicas e litológicas das zonas
- As capacidades de permeabilidade e umidade dos solos
- A pressão de poros
- A presença de construções, vegetação e população

As entrevistas com os profissionais vão permitir determinar os critérios que são considerados no caso do CEMADEN.

### 3.2.2 O caso do CEMADEN

No Brasil, o CEMADEN é a instituição que emite alertas de desastres naturais. Para realizar isso, as equipes do CEMADEN devem realizar quatro tarefas principais: o desenvolvimento de alerta que poderá ajudar as medidas de prevenção e de resposta, o



desenvolvimento e a implantação dos sistemas de monitoramento dos desastres naturais, as operações de monitoramento e a emissão das alertas para o CENAD.

Flávio E. A. Horita (HORITA et al, 2016) realizou, para um artigo sobre o CEMADEN, o Business Process Modeling and Notation (BPMN) para determinar o processo de emissão de alerta de desastres naturais do instituto (Anexo 4). No CEMADEN, a primeira etapa do processo de emissão de alerta é a realização de um relatório diário mostrando as áreas onde a quantidade prevista de chuva diária pode ser crítica. Esse relatório é feito pelo meteorologista, que recebe informações do Instituto Nacional de Meteorologia e da Agência Nacional das Águas (ANA). Uma vez que determinada as áreas de risco, o meteorologista transmite o relatório para hidrólogo e o geólogo. Eles vão trabalharão ao mesmo tempo. O geólogo vai comparar as áreas de risco determinadas no relatório com as áreas de risco do registro da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) que analisou previamente as diferentes zonas do Brasil para determinar as áreas de riscos para cada tipo de desastres. O hidrólogo vai analisar a quantidade de chuva acumulada nas regiões de riscos e a quantidade de chuva que está caindo. Se um deles detecta um potencial de desastre, avisará a equipe da Sala de Situação. Assim, cada um dos especialistas analisará em detalhes as informações disponíveis para determinar se uma reunião de equipe é necessária. No caso da reunião de equipe, o profissional que pediu a reunião determinará o nível do alerta. Se o tempo é suficiente e se o limiar existe, a equipe irá comparar as informações atuais com o limiar para definir o nível do alerta. Do mesmo modo, se o tempo permite, a equipe irá procurar os eventos e as alertas anteriores na mesma zona. Após, eles coletam todos os dados sobre as características do alerta (municípios, riscos, nível de alerta, quantidade de chuva, chuva acumulada, ...) para completar o “arquivo de alerta”. Uma vez que o “arquivo” é completo, o especialista em desastres revisa todas as informações, registra o alerta e emite o alerta para o CENAD.

Para realizar o BPMN, HORITA et al (2016) realizou diversas entrevistas com profissionais da Sala de Situação e durante tais entrevistas, conseguiu destacar as informações necessárias no processo de emissão de uma alerta de desastres naturais. Os critérios de decisão correspondem a alguns elementos dessa lista.

Categoria	Informações necessárias
Alerta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Localização do alerta</li> <li>- Condições do alerta</li> <li>- Tipo de alerta</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nível de alerta</li> <li>- Eficiência do alerta</li> <li>- Regulações públicas</li> </ul>
Área de risco	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Informações básicas</li> <li>- Localização da área de risco</li> <li>- Características de prédios e infraestrutura</li> <li>- Características do uso dos solos</li> <li>- Características dos solos</li> <li>- Características dos terrenos</li> <li>- Condição da área</li> <li>- Condições dos prédios e das infraestruturas</li> <li>- Densidade da população</li> <li>- Rede dos rios</li> <li>- Volume acumulado nos solos</li> <li>- Limiar de deslizamento</li> </ul>
Chuva	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Localização da chuva</li> <li>- Condições da chuva</li> <li>- Informações básicas</li> <li>- Quantidade de chuva atual</li> <li>- Quantidade de chuva acumulada (vários dias)</li> <li>- Previsões de chuva</li> <li>- Limiar de deslizamento</li> </ul>
Equipamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Confiabilidade</li> <li>- Estado do equipamento</li> <li>- Localização do equipamento</li> <li>- Informações recuperadas</li> </ul>
Rio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Informações básicas</li> <li>- Condição do rio</li> <li>- Localização do rio</li> <li>- Tamanho do rio</li> <li>- Fluxo do rio</li> <li>- Inclinação de bacias hidrográficas</li> <li>- Previsões de inundações</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limiar de inundações</li> <li>- Tempo de atraso</li> <li>- Tempo de concentração</li> </ul>
Tempo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Informações básicas</li> <li>- Sistema de previsão meteorológica</li> <li>- Localização do sistema meteorológico</li> <li>- Movimentos do sistema meteorológico</li> <li>- Velocidade do sistema meteorológico</li> <li>- Funcionamento do sistema meteorológico</li> </ul>
Vulnerabilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Informações básicas</li> <li>- Características da comunidade</li> <li>- Localização da comunidade</li> <li>- Condições de vida da comunidade</li> </ul>

*Tabela 2: Informações necessárias no processo de emissão de alertas de desastres naturais no CEMADEN*

As informações necessárias para emitir os alertas de desastres naturais não correspondem, em sua totalidade, a um critério de decisão de emissão de alerta.

Os elementos da primeira categoria “Alerta” não podem ser critérios para emissão de alerta porque eles são os resultados dessa emissão. No entanto, essas informações devem ser registradas e transmitidas para o CENAD.

Na categoria “Área de risco”, a maioria das informações são tratadas pelo CPRM. Assim, o meteorologista do CEMADEN, Diego de Oliveira de Souza, explicou que o serviço geológico do CPRM é responsável em realizar os mapeamentos das áreas de risco. De fato, para cada município monitorado pelo CEMADEN, um especialista do CPRM visitou o município em conjunto com a Defesa Civil local para determinar o nível de risco da zona e as características geológicas e geomorfológicas da região. Assim, eles estabelecem um mapeamento do município com fotos, descrições, estudos geológicos e hidrológicos a fim de determinar um grau de riscos de cada zona do município. Os diferentes graus de riscos são *BAIXO, MÉDIO, ALTO* e *MUITO ALTO*. O CEMADEN não faz os mapeamentos; eles seguem unicamente as recomendações e os graus de riscos determinados pelo CPRM. Assim, a única informação da categoria “Área de risco” que pode ser um critério de decisão é o limiar de deslizamento. No entanto, além disso, a equipe da Sala de Situação considera o resultado dos

estudos do CPRM - que é o grau de risco correspondente a cada área de cada município monitorado. Assim, esse elemento pode corresponder a um outro critério de decisão.

Na categoria “Chuva”, os elementos mais importantes são os critérios presentes na literatura: quantidade de chuva atual, quantidade de chuva acumulada e previsões de chuva. A localização é importante em cada categoria, mas, para esse trabalho, vamos assumir que a localização é determinada no início do processo de decisão e que depois que ela foi determinada, essa informação não muda e assim, não precisa considerar ela como um critério.

Para as categorias “Equipamento” e “Tempo”, os elementos são importantes para conhecer a certeza das informações que permitem decidir sobre a emissão do alerta. No entanto, para simplificar o nosso modelo e como eles não representam os critérios mais críticos desse processo de emissão de alertas para os profissionais da Sala de Situação, vamos assumir que eles têm um impacto limitado sobre o processo de decisão e não vamos considerar eles no modelo de apoio a decisão.

A categoria “Rio” não faz parte do escopo do nosso trabalho porque decidimos por tratar principalmente sobre o processo de decisão para a emissão dos alertas de movimentos de massa.

A última categoria “Vulnerabilidade” não é um assunto muito relevante na decisão do CEMADEN por eles terem poucas informações que possam alimentar tais elementos. No entanto quando é possível, eles consideram as dimensões de vulnerabilidade das comunidades dos municípios na emissão de alertas. Seria interessante entender se essa dimensão de vulnerabilidade das comunidades não é considerada na elaboração do grau de risco do CPRM porque eles vão visitar os municípios para determinar as áreas de risco e assim, eles têm mais acesso a esse tipo de informações.

O meteorologista, Diego Oliveira de Souza, trabalha na Sala de Situação do CEMADEN desde a criação do instituto e ele explica que a principal dificuldade do processo de decisão da emissão de alertas é que cada evento e cada município é muito diferente do outro. Então, estabelecer um padrão de decisão é difícil e a maioria das decisões são baseadas nas experiências dos profissionais da Sala de Situação. Assim, para cada caso de potencial desastre, os critérios considerados são diferentes como as relações entre a população e os rios de cada região, os rios canalizados, as construções, a vulnerabilidade da população. Essas características são muito diferentes entre as regiões e os municípios e não têm a mesma importância em cada caso de potencial desastre. No entanto, ele tentou me explicar os critérios fundamentais dessa decisão e que são considerados em todos os casos. Assim para ele, os critérios importantes da

decisão de emissão das alertas de desastres naturais para uma zona determinada previamente são:

- o volume de chuva que está caindo;
- o volume de chuva acumulado nas bacias do município;
- as previsões de volume de chuva;
- o limiar de deslizamento causado pela chuva da zona;
- o grau de risco da área em questão do CPRM;
- as ocorrências anteriores e as características delas.

Os três primeiros critérios permitem avaliar a quantidade de chuva que vai acumular em pouco tempo na área considerada. Essa avaliação permite realizar a comparação com o limiar de deslizamento causada pela chuva. Esse limiar corresponde a um valor crítico de chuva que pode se acumular nos solos de uma zona antes de criar um forte risco de deslizamento. O CEMADEN não tem limiares para todos os municípios monitorados. De fato, esses valores são baseados sobre a literatura e os estudos acadêmicos que foram realizados no Brasil. Na abertura do CEMADEN, os profissionais adotaram os valores da literatura e dos estudos acadêmicos como limiares. No entanto, eles perceberam que esses valores não representaram bem as diferentes ocorrências de desastres naturais. Hoje, eles consideram esses valores da literatura como base para o sistema de limiares de CEMADEN. No entanto, os valores são modificados com o tempo de atuação do instituto e as diferentes ocorrências que permitem retificar os limiares e modificar eles com valores mais adequados. Durante o processo decisório, a quantidade estimada de chuva que vai acumular-se nas bacias do município é comparada com o limiar dessa zona para ver se a quantidade é crítica ou não.

O grau de risco da área estudada foi determinado previamente pelo CPRM e segundo esse indicador, o geólogo considera se vai emitir uma alerta ou não.

O CEMADEN realiza, todos os meses, uma avaliação de todas as alertas efetuados para determinar a quantidade de alertas não emitidos, atrasados e com sucesso que aconteceu em cada município. Além disso, eles realizam o registro de todas as características dos alertas com o tipo de risco, o nível do alerta e da presença de ocorrências ou não. Esse registro permite também obter um catálogo das ocorrências de desastres no Brasil com todas as características (impacto humano, impacto material, características do desastre) e tentam recuperar todas as informações (da Defesa Civil, da população, das mídias, ...) que existem sobre cada ocorrência para completar essa base. Assim, durante o processo decisório de emissão de alerta, se a equipe da Sala de Situação considera ter o tempo suficiente para acertar o nível de alerta, eles vão olhar

essa base para ver as ocorrências passadas na mesma zona durante os anos passados e comparar as características que eles estão enfrentando com as características dos desastres anteriores.

Assim, com a revisão bibliográfica e as entrevistas realizadas, conseguimos definir os critérios mais relevantes da decisão de emissão de alertas de movimentos de massa. Podemos afirmar que os critérios determinados para o profissional do CEMADEN correspondem com os resultados da revisão bibliográfica e com o trabalho de Flávio E. A. Horita. Assim, para o nosso modelo de apoio a decisão multicritérios, decidimos considerar os critérios determinados durante a entrevista com o meteorologista do CEMADEN, Diego Oliveira de Souza.

### 3.3. A determinação dos parâmetros do modelo

#### 3.3.1 Os pesos dos diferentes critérios

Para construir o modelo multicritérios, precisamos estabelecer os pesos de cada critério na decisão considerada. Na parte anterior, determinamos os critérios críticos que devem ser levados em consideração na decisão de emitir uma alerta de desastre natural ou não. Para usar o software VISA que vai permitir criar o modelo multicritério, é necessário determinar os pesos relativos de cada critério na decisão de emissão do alerta.

O estabelecimento desses pesos deve ser feito com os *stakeholders* principais do problema considerado afim de ter a sua aderência a nosso modelo multicritérios. Assim, realizamos várias entrevistas com diferentes profissionais da Sala de Situação para entender como eles tomam a decisão de emitir um alerta e como cada critério impacta essa decisão.

A metodologia usada para cada entrevista vai ser descrita nesse parágrafo. Primeiro, perguntamos a profissão da pessoa entrevistada. Em seguida, apresentamos os diferentes critérios que foram determinados para nosso estudo anterior e perguntamos para o entrevistado qual é o mais importante para ele na decisão de emitir uma alerta de desastre natural. Esse critério principal vai obter a nota 100. Depois, foi pedido o segundo critério que parece mais importante para eles na decisão e a nota que deve ter esse critério em comparação ao 100 do primeiro. Assim, o entrevistado vai determinar um peso de relevância e importância do segundo critério em comparação ao critério de maior importância segundo ele. Assim, realizamos essa mesma tarefa para o terceiro critério mais importante em comparação com o 100 do primeiro critério e de novo para o quarto critério, ...

Realizamos a entrevista com 12 profissionais da Sala de Situação do CEMADEN: 4 meteorologistas, 4 hidrólogos, 2 geógrafos e 2 especialistas de desastres. Cada um deles avaliaram os diferentes critérios segundo a metodologia explicada previamente. Esse estudo permite determinar depois os pesos dos critérios. Os resultados dessas entrevistas estão disponíveis no Anexo 5.

Primeiro, realizamos a análise dos pesos segundo as diferentes profissões e obtemos para os resultados seguintes:

Profissão	Média				
	Meteorologistas	Hidrólogos	Geógrafos	Especialistas de desastres	Global
Volume de chuva que está caindo	97,5	73,75	94,5	94,5	88,58333333
Volume de chuva acumulado	92,25	75	100	100	89,08333333
Previsões de chuva	85,75	47,5	80	89	72,58333333
Limiar de deslizamento na zona	71,25	67,5	77,5	77,5	72,08333333
Grau de risco da área (estudos do CPRM)	81,25	71,25	85	73,5	77,25
Ocorrências anteriores	66,25	72,5	82	83	73,75

*Tabela 3: Análise das respostas dos profissionais dos CEMADEN para a determinação dos pesos dos critérios de decisão*

Assim, podemos ver que os dois critérios mais importantes para todos os tipos de profissionais da Sala de Situação do CEMADEN são o volume de chuva que está caindo e o volume de chuva acumulado na zona considerada. De fato, foi difícil para a maioria dos profissionais entrevistados conseguir dissociar esses dois elementos na decisão de emitir um alerta ou não. Como foi visto na parte anterior, a maioria dos cientistas avalia os riscos combinando a intensidade e a duração da chuva. Essas duas variáveis correspondem aos nossos dois primeiros critérios. Assim, é a combinação desses dois critérios que permite determinar o nível de severidade da situação monitorada pelo o CEMADEN. Assim, esses elementos são os critérios mais importantes na decisão de emitir um alerta porque eles representam o fator determinante da ocorrência de desastre natural.

Os outros quatro critérios são considerados de maneira diferente segundo o tipo de profissional considerado. Assim, para os meteorologistas, o terceiro critério mais importante para a decisão de emitir uma alerta é as previsões de chuva porque é um elemento que eles estão monitorando mais do que os outros profissionais da Sala de Situação. Do mesmo modo, o terceiro critério mais importante para os geógrafos é o grau de risco da zona que resulta dos estudos do CPRM. Assim, esse critério é totalmente geológico e avalia as probabilidades de riscos segundo as características geológicas da zona considerada. Então, são os geógrafos que vão analisar os relatórios de estudos do CPRM para avaliar a vulnerabilidade da zona em caso de chuva abundante. Assim, para eles, depois dos critérios de chuva, o mais importante corresponde ao grau de risco geológico da zona.

Globalmente, podemos ver que depois dos critérios de chuva, os dois critérios mais considerados e importantes são o grau de risco da zona e as ocorrências anteriores que permitem conhecer o perfil da zona considerada e a sua vulnerabilidade baseada nos estudos do CPRM e nos desastres que já aconteceram na zona. Isso vai permitir obter mais informações sobre a zona e determinar se, no contexto da chuva que eles já conhecem, seria necessário emitir uma alerta ou não. Finalmente, os dois últimos critérios em termo de peso segundo os profissionais da Sala de Situação são as previsões de chuva e os limiares de deslizamento. Esses critérios ficam importantes na decisão vendo os pesos atribuídos para os diferentes profissionais. No entanto, eles são menos confiáveis, sobretudo no caso dos limiares. Como já foi explicado em uma parte anterior desse relatório, esses limiares resultam de estudos feitos fora do CEMADEN durante várias pesquisas de casos. Assim, mesmo tendo esses limiares sido adotados, eles não são muito precisos e os profissionais do CEMADEN já entenderam que alguns deles não representam a realidade. Assim, o CEMADEN está realizando um trabalho de pesquisa para ajustar esses limiares. No entanto, são ainda dados que eles precisam considerar com atenção.

Para determinar os pesos para o nosso modelo, foi realizada a média de todas as respostas dos profissionais da Sala de Situação do CEMADEN. Depois, precisamos calcular os pesos para que a soma deles seja igual a 1.

Assim, essas entrevistas permitiram determinar os diferentes pesos de cada critério da decisão de emitir um alerta de desastres naturais ou não que vão ser usados no software VISA para construir o modelo de apoio à decisão multicritérios. Eles são apresentados na Tabela 4 seguinte.



<b>Critério</b>	Volume de chuva que está caindo	Volume de chuva acumulado	Previsões de chuva	Limiar de deslizamento na zona	Grau de risco da área	Ocorrências anteriores
<b>Peso</b>	0,187147887	0,188204225	0,15334507	0,152288732	0,163204225	0,155809859

*Tabela 4: Pesos de cada critério da decisão de emissão de uma alerta*

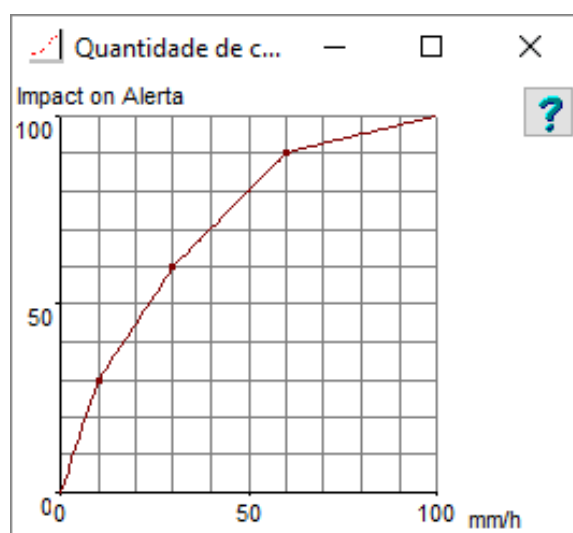
Segundo a literatura, a determinação dos pesos deve implicar em um entendimento de cada *stakeholder* do problema. Assim, o melhor jeito de determinar esses pesos é de realizar uma reunião com todos os *stakeholders* principais e determinar juntos os valores de cada peso. No entanto, em nosso caso, não foi possível organizar uma reunião com todos os profissionais da Sala de Situação para chegar a um consenso sobre os pesos de cada critério. De fato, como realizamos as entrevistas dos profissionais durante o tempo de trabalho deles na Sala de Situação, foi decidido com o nosso contato do CEMADEN, realizar entrevistas individuais para não atrapalhar o trabalho da Sala de Situação que deve sempre permanecer com um número mínimo determinado de pessoas.

### 3.3.2 As curvas de influência

Para modelizar o processo de decisão de emissão de alerta de desastres naturais no software VISA, precisamos determinar outros parâmetros além dos critérios e os pesos deles.

Primeiro, vamos determinar as curvas de influência de cada critério sobre a decisão. Para realizar essa tarefa, vamos nos basear nas entrevistas realizadas com os profissionais da Sala de Situação e sobre o nosso entendimento do funcionamento da tomada de decisão de emitir um alerta ou não. Essa metodologia é mais qualitativa que quantitativa. Foi perguntado aos profissionais do CEMADEN como cada critério impacta a decisão e a dificuldade deles foi responder uma resposta padrão. De fato, a maioria dos profissionais respondeu que cada critério tem um impacto diferente segundo o caso considerado e que é muito complicado dar uma resposta geral. Por isso, a determinação dessas curvas de influências não é uma tarefa fácil e vai ser baseada mais no nosso entendimento do funcionamento da Sala de Situação do que nos fatos. O primeiro critério considerado é o volume de chuva que está caindo. Esse critério é avaliado em mm/h e vamos considerar que ele pode tomar valores entre 0 e 100. Resultando das nossas conversas com os profissionais da Sala de Situação, entendemos que uma chuva de

30 mm/h é um valor preocupante que pode iniciar o processo de emissão de alerta se os outros critérios forem também preocupantes. Abaixo desse valor, as emissões de alertas correspondem mais a uma situação preocupante apenas dos outros critérios. Assim, decidimos que para um valor de 30 mm/h, o critério teria um impacto de 60% na decisão. De fato, com as diferentes interações que tivemos, entendemos que esse critério tem um impacto ainda mais forte cada vez que ele é mais alto sem seguir uma regra linear. O impacto deve ser mais parecido com uma curva de tendência de tipo  $K(1-\exp(-a*t))$  porque o impacto da quantidade de chuva que está caindo vai ser cada vez maior quanto mais rapidamente o valor aumenta. Assim, decidimos criar a curva de influência seguinte.



*Figura 20: Curva de influência do critério "Volume de chuva que está caindo" na decisão de emitir uma alerta*

Os diferentes pontos determinados nessa curva foram decididos para dar a tendência certa da curva, mas, eles não resultam de dados científicos.

Como os comentários dos diferentes profissionais foram similares sobre os critérios "Volume de chuva acumulado" e "Previsões de chuva", decidimos colocar as mesmas curvas de tendência para esses dois critérios. As previsões de chuva têm as mesmas unidades que o primeiro critério, mm/h e pode ir de 0 até 100. O volume de chuva acumulado pode ser considerado em mm durante 1, 2 ou 3 dias segundo o caso considerado. Para o modelo, decidimos colocar uma unidade de mm/d. Segundo os comentários dos profissionais, vamos considerar que esse critério pode tomar um valor entre 0 e 400 mm/d.

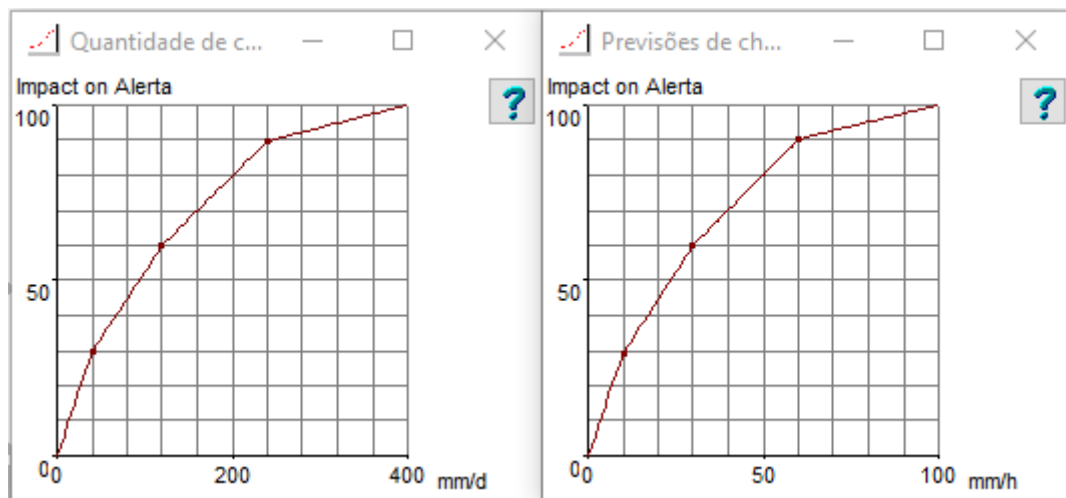


Figura 21: Curvas de influência dos critérios "Volume de chuva acumulado" e "Previsões de chuva" sobre a decisão de emissão de alertas

Para o critério dos limiares de deslizamento, os profissionais insistiram no fato de que eles não são ainda dados muito confiáveis por causa da sua construção, que é diferente para cada limiar e baseado em vários métodos diferentes porque eles foram recuperados da literatura. Por isso, consideramos que a influência dos limiares vai ser linear porque não temos informações suficientes sobre eles para determinar um outro tipo de curva. A unidade do limiar é mm-h que combina intensidade e duração.

O critério do grau de risco vai de uma escala de *BAIXO* (nível 1) até *MUITO ALTO* (nível 4). Esses níveis têm um impacto linear na decisão de emitir um alerta. Assim, um nível maior do grau de risco tem um impacto mais forte sobre a decisão, mas de uma maneira relativamente similar ao nível inferior. Por isso, consideramos que a curva de influência é linear. Do mesmo modo, a curva de influência das ocorrências anteriores vai ser linear. De fato, se o número de ocorrências anteriores é maior, o impacto sobre a decisão desse critério vai ser maior de maneira proporcional. A unidade das ocorrências anteriores é o número de ocorrências.

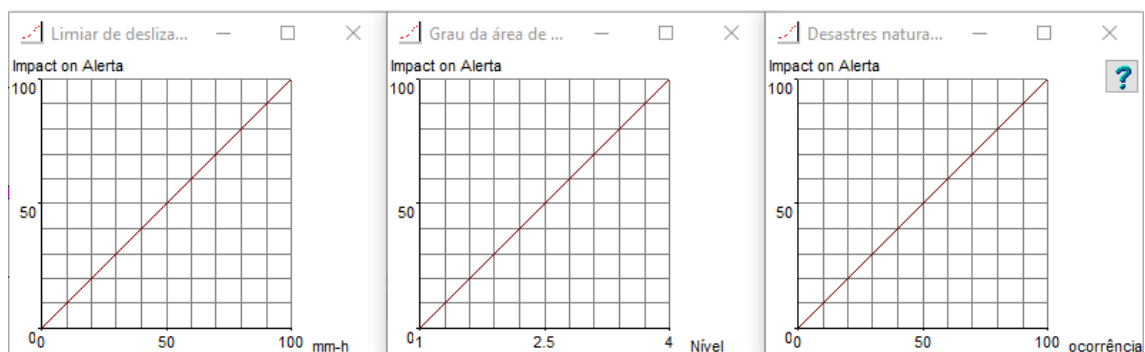


Figura 22: Curvas de influência dos critérios "Limiar de deslizamento", "Grau de risco da zona" e "Desastres naturais anteriores" na decisão de emissão de alerta

### 3.3.3 A construção das alternativas

Para realizar o modelo, precisamos integrar alternativas de decisão. Como foi determinado previamente, existem quatro alternativas para nosso caso: não emitir o alerta, emitir alerta de nível moderado, emitir alerta de nível alto e emitir de nível muito alto.

Para integrar alternativas no software VISA, precisamos criar quatro exemplos de conjuntos de dados dos critérios que correspondam cada um a uma alternativa precisa. De fato, para usar as alternativas no software, precisamos inserir quatro alternativas com os valores que correspondem a cada critério. Essa etapa não é evidente porque cada caso de emissão de alerta é bem diferente dos outros e esses valores variam bastante. Então, não existe um perfil típico segundo os critérios para cada alternativa.

Para determinar quatro exemplos de alternativas afim de completar o modelo no software, pedimos para nosso contato no CEMADEN uma amostra de alertas emitidos. Assim, ele nos comunicou vários casos de alerta durante os três últimos anos. O CEMADEN pediu para não divulgarmos essas alertas, então, eles não estão presentes neste relatório. No entanto, a análise desses diferentes relatórios permitiu criar nossos quatro casos de alternativas para o software VISA.

Graças à análise dos relatórios, conseguimos avaliar que existem dois tipos de alertas de nível moderado. De fato, depois da emissão de um alerta de nível alto ou muito alto, o CEMADEN costuma enviar um alerta de nível moderado quando a situação se torna menos crítica e quando os riscos de desastres naturais diminuem. Assim, existe um tipo de alerta moderado “normal” e um tipo de alerta moderado que corresponde à redução dos alertas de níveis alto e muito alto. Por isso, optamos por colocar cinco casos de alternativas no software com uma alternativa Moderado 1 que corresponde à emissão “normal” de uma alerta de nível moderado e uma alternativa Moderado 2 que corresponde à emissão de um alerta de nível moderado correspondente à redução de uma alerta de nível maior.

Para determinar os diferentes valores de cada critério para cada alternativa, nos baseamos nos diferentes alertas da nossa amostra e, depois da análise desses dados, conseguimos construir os exemplos de alternativas apresentados na tabela em seguida. Os valores para cada critério no caso de cada alternativa representam as médias dos casos fornecidos pelo CEMADEN.

Alternativa	Volume de chuva que está caindo	Volume de chuva acumulado	Previsões de chuva	Limiar de deslizamento	Grau de risco	Ocorrências anteriores
Não alerta	10 mm/h	25 mm/d	5 mm/h	/	2	0
Moderado 1	25 mm/h	60 mm/d	25 mm/h	/	3	10
Moderado 2	0 mm/h	40 mm/d	0 mm/h	/	3	10
Alto	30 mm/h	100 mm/d	35 mm/h	/	3	20
Muito alto	50 mm/h	180 mm/d	60 mm/h	/	4	50

*Tabela 5: Descrições das alternativas de decisão do modelo multicritérios no software VISA*

Nos relatórios dos alertas do CEMADEN, não havia informações sobre os limiares usados durante o processo decisório ou sobre um valor preciso de ocorrências anteriores. Por isso, decidimos não colocar nenhum valor para o critério do limiar de deslizamento afim de não cometer nenhuma incoerência. Para o número de ocorrências anteriores, os valores usados são baseados nos conhecimentos do autor e representam uma ideia mais ou menos precisa dos valores efetivamente encontrados durante a emissão de um alerta. Os outros valores são baseados nas análises dos dados de cada alerta fornecida pelo CEMADEN e representam exemplos de emissão de alertas.



## 4. RESULTADOS E INDICADOR *CRY WOLF*

### 4.1. Resultados do modelo multicritérios sem o critério *Cry Wolf*

#### 4.1.1 As curvas de sensibilidade

O software VISA nos permitiu analisar vários aspectos do modelo de apoio à decisão construído para modelar o processo decisório da emissão das alertas de desastres naturais. A primeira análise que pode ser feita é o estudo das sensibilidades da decisão segundo cada critério. Para isso, o software permite desenhar as curvas de sensibilidade das diferentes alternativas segundo cada um dos critérios que serão representadas em seguida. Nessa parte, não vamos apresentar as curvas de sensibilidade relativas ao critério “Limiar de deslizamento”. De fato, para todas as alternativas que construímos para o modelo de apoio à decisão do software, deixamos 0 para esse critério porque não tínhamos as informações dos limiares usados pelo CEMADEN nos relatórios de emissões de alertas que nos foram comunicados. Assim, como não foi possível determinar os valores dos limiares, o estudo da sensibilidade da decisão segundo esse critério não pode ser realizado.

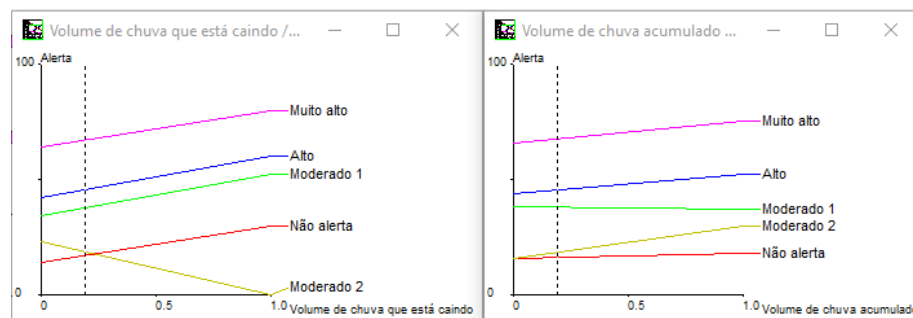


Figura 24: Curvas de sensibilidade dos critérios "Volume de chuva que está caindo" e "Volume de chuva acumulado"

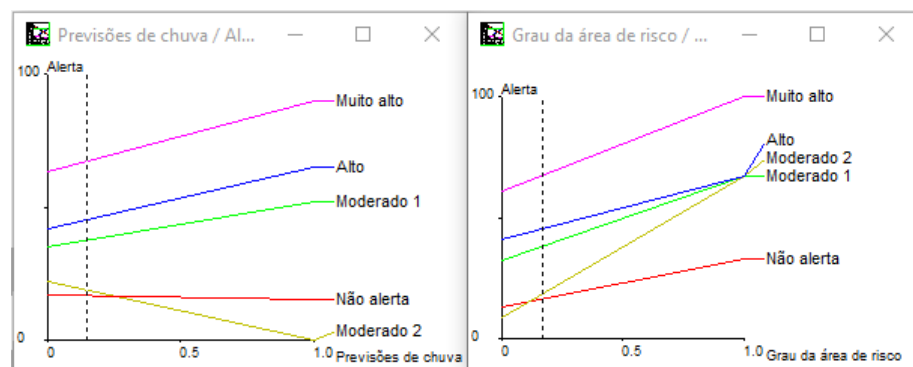
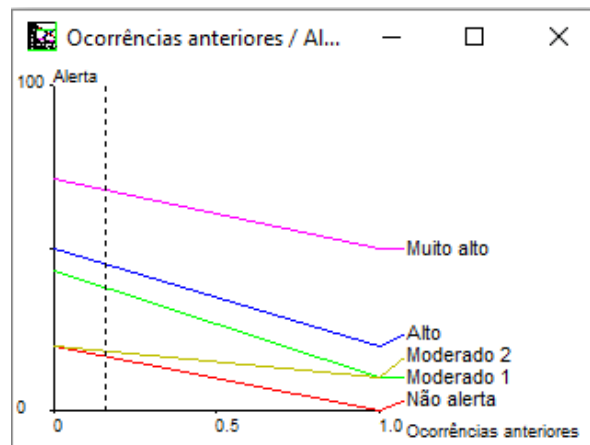


Figura 23: Curvas de sensibilidade dos critérios "Previsões de chuva" e "Grau da área de risco"



*Figura 25: Curvas de sensibilidade do critério "Ocorrências anteriores"*

Primeiro, consideramos as curvas de influência do critério “Volume de chuva que está caindo”. Podemos ver no gráfico acima que as diferentes curvas das alternativas são quase paralelas, exceto no caso da alternativa Moderado 2. De fato, a alternativa Moderado 2 vai sempre ter um comportamento diferente das outras porque ela não foi construída sobre o mesmo esquema que as outras alternativas. Moderado 2 é o tipo de alerta emitido quando os riscos de desastres naturais diminuem depois de um alerta de nível Alto ou Muito alto. Por isso, os valores de cada critério que correspondem a essa alternativa seguem um outro padrão que as demais alternativas, como, por exemplo, um volume de chuva que está caindo de 0 mm/h e previsões de chuva de 0 mm/h que explicam o fim dos riscos de desastres.

No gráfico do critério “Volume de chuva que está caindo”, o fato que as curvas são paralelas significa que a mudança do valor do peso desse critério não teria influência sobre a decisão final. O único caso que poderia mudar a decisão seria aumentar o peso até que ele ultrapasse o cruzamento entre as alternativas Moderado 2 e Não alerta. Se for o caso, a decisão de não emitir um alerta seria escolhida no caso atual de emitir Moderado 2. No entanto, como foi explicado previamente, o caso da emissão de Moderado 2 é diferente dos outros.

Para os gráficos dos critérios “Volume de chuva acumulado” e “Previsões de chuva”, o esquema das diferentes curvas é parecido com o primeiro gráfico. De fato, a curva de Moderado 2 tem um comportamento diferente das demais curvas, mesmo se elas não são paralelas, ou seja, não se cruzam. Assim, uma modificação do peso desses critérios não teria impacto sobre a decisão. Isso pode ser explicado devido ao fato que os tipos de alertas não correspondem a uma escolha pontual. De fato, cada alternativa do nosso modelo representa uma parte do espaço de decisões. As alternativas usadas no modelo são os exemplos desses tipos de alertas e os valores que usamos foram determinados com a média dos valores apresentadas na amostra



fornecida pelo CEMADEN. Assim, no modelo do software VISA, representamos um alerta que corresponde a uma parte do espaço de decisão por uma alternativa pontual média. Assim, a distância entre as alternativas do modelo é muito grande e as curvas não se cruzam. Portanto, podemos avaliar a dificuldade de escolher entre duas alternativas próximas avaliando o espaço entre as curvas. Assim, podemos ver no gráfico do critério “Volume de chuva acumulado” que se o peso do critério é diminuído, a escolha entre uma alerta Moderado 1 e Alto não é tão evidente porque as curvas são mais próximas. Então, a dificuldade de escolher entre esses dois níveis de alerta seria maior. Do mesmo modo, no gráfico “Previsões de chuva”, a escolha entre o nível Moderado 1 e Alto é mais complicado se o peso do critério “Previsões de chuva” é menor.

O gráfico do critério “Grau da área de risco” é diferente porque as possibilidades dos valores do critério são menores. Assim, se o peso desse critério é muito maior, a escolha entre as diferentes alternativas é mais complicada. De fato, o critério “Grau de risco” não é um elemento acionador de alerta. O CEMADEN não vai emitir uma alerta unicamente baseado no nível de risco geológico da zona. Os elementos acionadores de alerta são os elementos relacionados com a chuva que correspondem aos dois primeiros critérios. Os outros elementos, como o grau de risco da zona, são complementares e permitem avaliar a severidade de uma situação da chuva já preocupante. Assim, o peso desse critério não pode ser muito alto em comparação aos pesos dos dois primeiros critérios. Por isso, o modelo não vai se encontrar na zona onde as curvas de sensibilidade são muito apertadas.

Finalmente, para o gráfico do critério “Ocorrências anteriores”, podemos ver um comportamento das curvas similares ao primeiro gráfico. De fato, as curvas são paralelas, exceto a curva do nível Moderado 2, que tem um comportamento diferente. Assim como o critério “Grau da área de risco”, esse critério é mais complementar e o peso dele não pode ser mais alto que os pesos dos dois primeiros critérios.

Pode ser possível que se tivéssemos colocado todos os alertas da nossa amostra no modelo multicritérios, as curvas de sensibilidade seriam mais complexas e teria mais cruzamentos entre as curvas e assim, uma sensibilidade maior aos pesos. No entanto, decidimos colocar unicamente um exemplo de alerta para cada alternativa para não ter um modelo demasiadamente complexo que seria difícil de analisar.

#### 4.1.2 O perfil das alternativas

O software VISA permite também obter os diferentes perfis das alternativas segundo os diferentes critérios. Esses perfis podem permitir entender como funciona a decisão tomada pelos *stakeholders* e a que perfil corresponde cada tipo de alternativa. Isso permite também avaliar a proximidade entre cada alternativa e as relações que podem existir entre elas.

Considerando nosso caso, obtemos um gráfico de perfis interessante que vai representar de uma outra maneira as análises formuladas na parte anterior. Assim como para as curvas de sensibilidade, temos que desconsiderar a parte relacionada com os limiares porque como não colocamos valores para esse critério, os perfis têm uma variação anormal nessa parte do gráfico.

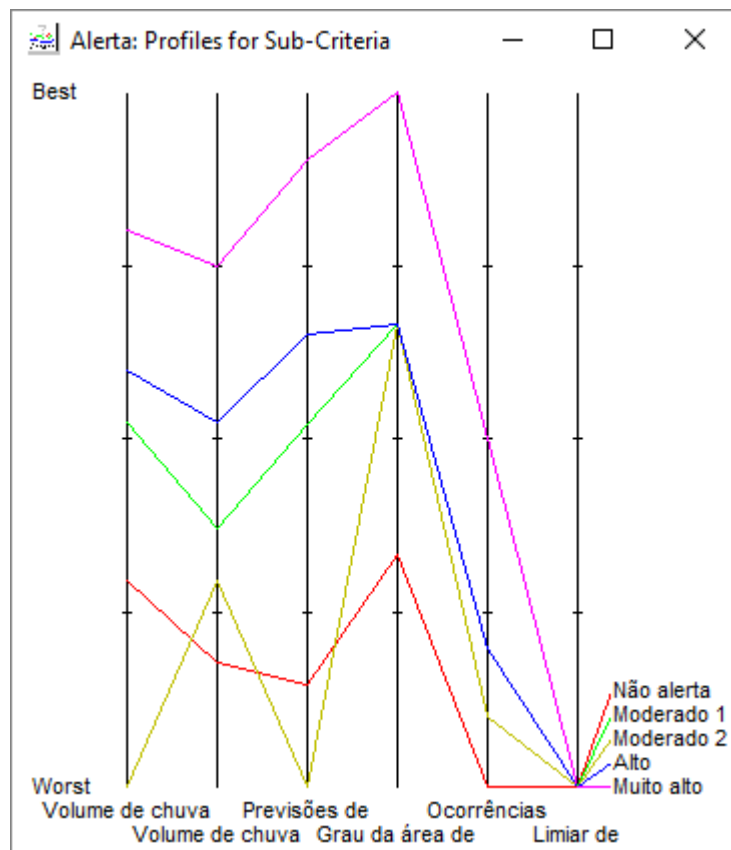


Figura 26: Perfis das diferentes alternativas

Podemos ver que dentre os três primeiros critérios a ordem entre Muito alto (rosa), Alto (azul) e Moderado 1 (verde) é a mesma e é crescente. De fato, podemos dizer que para esses três níveis de alerta, os perfis são em ordem crescente considerando os três primeiros critérios. Essa análise pode ser considerada para a relação entre esses três níveis e a alternativa Não alerta (vermelha). A proximidade entre os perfis sobre esses três critérios é menor para os níveis Alto

e Moderado 1. De fato, a decisão entre uma alerta de nível Moderado 1 e uma alerta de nível Alto é mais difícil que decidir entre os níveis Alto e Muito alto. Assim, um espaço restringido entre dois perfis sobre vários critérios pode permitir avaliar a dificuldade de decidir entre duas alternativas. Como foi destacado na primeira parte, a alternativa Moderado 2 (amarelo) é bem diferente das outras e o perfil dessa alternativa cruza o perfil da alternativa Não alerta. Isso permite mostrar que o caso específico de Moderado 2 resultaria na escolha de não emitir uma alerta se não existia uma alerta previamente de nível maior (Alto ou Muito Alto). De fato, com as condições da alternativa Moderado 2 não teria alerta num caso “normal”. Por isso, os perfis da alternativa Não alerta e Moderado 2, mesmo se eles são diferentes, se cruzam e atuam no mesmo espaço do gráfico de perfil.

Considerando a parte do critério do grau de risco, podemos ver que a diferença entre os perfis não é muito diferente para com os primeiros critérios. De fato, como foi explicando na parte anterior, existem menos possibilidades de valores para esse critério e por isso, os perfis são mais concentrados na mesma zona. Assim, a diferença entre os perfis dessa zona é menos evidente e por isso já comentamos que o critério do grau de risco não é um critério acionador. De fato, ele permite avaliar a situação quando as condições de chuva são preocupantes. O critério “Ocorrências anteriores” segue um padrão mais parecido com os três primeiros critérios. Não podemos ver o perfil da alternativa Moderado 1 porque ele está confundido com a alternativa Moderado 2.

Nossas entrevistas com os profissionais do CEMADEN nos permitiram entender que cada tipo de alerta poderia corresponder a um espaço do gráfico dos perfis e as alternativas representam a média da zona de cada tipo de alerta. A fronteira entre essas zonas são os momentos onde a decisão é difícil entre dois níveis de alertas. A determinação dessas zonas é mais difícil para os critérios “Grau da área de risco” e “Ocorrências anteriores” porque os valores entre as diferentes alternativas são bem parecidas e próximas. Mesmo assim, elas podem ser as mesmas para vários níveis de alerta porque não são critérios acionadores de alerta mas, sim, critérios que permitem conhecer o perfil da zona e avaliar a vulnerabilidade numa situação de chuva preocupante na zona.

## 4.2. O indicador *Cry Wolf*

### 4.2.1 A construção do indicador

O objetivo do nosso trabalho é construir um modelo multicritérios de apoio à decisão para as emissões de alertas de desastres naturais considerando a síndrome *Cry Wolf*. A primeira parte do trabalho de construção é elaborar o modelo multicritérios de apoio à decisão que corresponde ao funcionamento do CEMADEN e ao processo de emissão de alertas entre o CEMADEN e o CENAD. A segunda parte da construção é integrar o risco de aparecimento da síndrome *Cry Wolf* nas comunidades onde o número de alertas falsos é alto. As diversas entrevistas com os profissionais do CEMADEN nos permitiram entender que a melhor maneira de avaliar a possibilidade de aparecimento da síndrome é avaliando a frequência e a quantidade de alertas falsos em cada município monitorado pelo CEMADEN.

Assim, entendemos que, para eles, é necessário que esse critério *Cry Wolf* seja baseado em um indicador tangível e compreensível para todos os *stakeholders* do processo de decisão de emissão do alerta. Por isso, o indicador de risco *Cry Wolf* deve ser baseado em informações que podem ser manipuladas pelos profissionais do CEMADEN. As discussões com os diferentes profissionais nos permitiram explicá-los sobre o que é a síndrome *Cry Wolf* e como isso podia afetar o trabalho deles e a eficiência dos alertas emitidos. Uma vez que foram exibidos todos os elementos dessa síndrome e as suas consequências segundo o que aprendemos durante nossa revisão bibliográfica, perguntamos, então, para os profissionais o que eles imaginariam se falássemos de indicador *Cry Wolf*. Na visão deles, o aparecimento dessa síndrome nas populações e na Defesa Civil de vários municípios é um resultado direto de um forte número de alertas falsos que faz com que os *stakeholders* não acreditem no final da cadeia de alerta que vai ter uma ocorrência de desastre natural no próximo alerta. O nosso contato do CEMADEN, o meteorologista Diego de Oliveira Souza, comentou que esse risco é sobretudo importante no caso dos alertas de nível Moderado. De fato, ele explicou que um alerta de nível Moderado significa que tem 50% de chances de acontecer um desastre e 50% de chances de não acontecer nada. Os alertas desse nível representam avisos prévios e é recomendada a atenção da Defesa Civil sobre a evolução da situação. No entanto, o nosso contato comentou que os alertas são relativamente emitidos facilmente e que o acontecimento de ocorrências ou a emissão de uma alerta de nível maior em seguida não é automático. Essa maneira de proceder pode criar facilmente a síndrome *Cry Wolf*. Assim, já foi percebido pelas equipes da Sala de Situação do CEMADEN que algumas Defesas Civas de diferentes municípios não estão

acreditando mais nos alertas de nível Moderado já que foram emitidos muitos alertas desse nível durante os últimos meses. Para os níveis Alto e Muito Alto, o aparecimento da síndrome parece mais complicado para nosso contato. De fato, a emissão de um alerta de nível Alto ou Muito Alto significa quase sempre que vai ter ocorrência e implica várias ações e movimentos da Defesa Civil local. Assim, é muito raro não ter ocorrências depois de um alerta desse nível. Então, conseguimos entender que o risco da criação da síndrome *Cry Wolf* existe mais para a emissão de alerta de nível Moderado.

Além disso, as entrevistas com os profissionais nos permitiram aprender que todas os alertas são conservados sob um formato de “clipping”. Assim, para cada alerta emitido, as equipes do CEMADEN tentam construir relatórios que agrupam todas as informações disponíveis sobre o caso do alerta. Eles tentam saber se existiram ocorrências de desastres naturais ou não, qual foi o tipo de riscos das ocorrências e todas as informações que eles podem achar sobre a zona durante os dias depois do alerta. Então, o “clipping” de cada alerta é composto, primeiro, da linha de tempo de alerta que resume os diferentes alertas emitidos para essa zona e as ocorrências que foram encontradas na mesma zona nesse mesmo período de alguns dias (Anexo 6). Essa linha de tempo informa os níveis dos alertas, os momentos exatos de emissões dos alertas, os momentos conhecidos das diferentes ocorrências e das características das ocorrências. Depois, o “clipping” é composto dos feedbacks do CENAD se eles foram comunicados, dos feedbacks da Defesa Civil se eles foram comunicados, das notícias da mídia encontrada pelos profissionais do CEMADEN, dos relatos via redes sociais que foram encontrados e dos diferentes documentos de apoio a decisão do CEMADEN (Anexo 6). Esses últimos documentos podem ser os registros de volume de chuva que está caindo, os dados dos radares e do satélite, os dados da rede de pluviômetros, os elementos importantes dos relatórios da CPRM e os mapas da zona. Existem também “clippings” para as situações um pouco preocupante, mas, sem emissão de alertas e sobre as ocorrências que aconteceram sem alertas prévios. O CEMADEN realiza uma avaliação mensal de todos alertas considerando os alertas não enviados, os alertas atrasados, os alertas sem ocorrências, ou os alertas com sucesso. Esse trabalho permite determinar a eficiência do trabalho do instituto e destacar os pontos mais fracos para concentrar os esforços de melhorias.

Para determinar como criar um indicador *Cry Wolf*, decidimos nos basear em comentários dos profissionais da Sala de Situação do CEMADEN e no sistema de avaliação deles já implementado. Assim, entendemos que o importante, para garantir o uso desse indicador, é que todos os atores importantes da emissão do alerta entendam como ele funciona.

Por isso, temos que considerar que para os profissionais da Sala de Situação, o aparecimento da síndrome *Cry Wolf* é um resultado de uma importante quantidade de emissões de alertas falsos na mesma região. Assim, decidimos criar um indicador *Cry Wolf* baseado no número de alertas falsos emitidos em cada região. Como o CEMADEN realiza o trabalho de recuperação e compilação de dados sobre todos os alertas emitidos, é possível calcular o número de alertas falsos, então sem ocorrências, que foram emitidos em cada região. Depois, podemos avaliar a frequência desses alertas falsos em cada município monitorado. Assim, poderíamos criar um indicador *Cry Wolf* que seria uma escala entre 0 e 4 e que representaria a frequência dos alertas falsos em cada região como é representado na tabela seguinte:

Indicador <i>Cry Wolf</i>	Frequência das alertas falsas na zona
<b>0</b>	$< X_1$ alertas falsos nos últimos 6 meses
<b>1</b>	$X_1 < \dots < X_2$ alertas falsos nos últimos 6 meses
<b>2</b>	$X_2 < \dots < X_3$ alertas falsos nos últimos 6 meses
<b>3</b>	$X_3 < \dots < X_4$ alertas falsos nos últimos 6 meses
<b>4</b>	$> X_4$ alertas falsos nos últimos 6 meses

*Tabela 6: Explicação da escala do indicador Cry Wolf*

Um outro estudo seria necessário para determinar a sensibilidade dos outros atores da cadeia como o CENAD e as Defesas Civas para entender como e quando pode aparecer a síndrome *Cry Wolf*. Assim, esse estudo permitiria avaliar os valores dos diferentes limiares  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  e  $X_4$  que avaliam a criticidade da síndrome *Cry Wolf* na zona. Do mesmo modo, esse estudo poderia determinar se o prazo de 6 meses é adaptado para determinar a evolução da síndrome ou se ele deve ser menor (por exemplo, 3 meses) ou maior (por exemplo, 1 ano) para permitir a melhor avaliação da síndrome em cada região do Brasil. No entanto, não foi possível realizar essa tarefa para esse trabalho porque não conseguimos o tempo necessário para realizar os contatos com os profissionais do CENAD ou das diferentes Defesas Civas. De fato, para realizar esse estudo, seria necessário entrevistar pessoas de todas as Defesas Civas dos municípios monitorados pelo CEMADEN para ter uma avaliação completa e determinar os limiares e o prazo da maneira mais apropriada.

#### 4.2.1 A determinação do peso e da curva de influência do critério

Uma vez que foi determinada a ideia do nosso indicador *Cry Wolf*, precisamos avaliar o peso que teria esse critério na decisão de emitir um alerta ou não para integrar ele no modelo multicritérios já construído. Por isso, foi pedido para cada profissional da Sala de Situação entrevistado, avaliar de novo os critérios de decisão com o novo critério do “Indicador *Cry Wolf*”. Para cada um, explicamos como seria construído esse indicador e como ele permitiria avaliar a presença mais ou menos forte da síndrome *Cry Wolf* em cada município. Uma vez que o entrevistado entendeu o funcionamento do indicador, ele tinha que avaliar a importância dele na decisão de emitir um alerta e como ele seria importante em comparação com os outros critérios já avaliados previamente. Globalmente, todos os funcionários afirmaram que esse critério seria o último que eles considerariam na decisão de emitir um alerta. Primeiro, como o risco importante da síndrome *Cry Wolf* aparece unicamente no caso dos alertas de nível Moderado, esse critério não seria necessário para alertas de nível Alto e Muito Alto. Além disso, o indicador teria um uso unicamente sobre a emissão de alerta de nível Moderado. Assim, se todos os outros indicadores forem avaliados como um caso de emissão de alerta de nível Moderado, o indicador *Cry Wolf* seria usado antes de enviar o alerta para determinar se ele não vai agravar a presença de uma síndrome. De fato, se o indicador *Cry Wolf* já está no nível 3 ou 4, talvez fosse interessante não enviar o alerta porque a possibilidade de que ele seja falso é alta, além do que, um alerta falso a mais pode criar ou acentuar o sentimento de perda de confiança da Defesa Civil local nos alertas que são emitidos pelo CEMADEN. Por isso, esse indicador seria usado como último recurso na decisão de emitir um alerta ou não, mas, ele não pode ser mais importante que todos os outros critérios já considerados. Assim, para quase todos os entrevistados o critério do “Indicador *Cry Wolf*” tem um peso menor que todos os critérios (Anexo 7). As respostas dos diferentes profissionais da Sala de Situação nos permitiram determinar os novos pesos dos diferentes critérios do modelo multicritérios criado:

Critério	Volume de chuva que está caindo	Volume de chuva acumulado	Previsões de chuva	Limiar de deslizamento na zona	Grau de risco da área	Ocorrências anteriores	Indicador "Cry Wolf"
Peso	0,187147887	0,188204225	0,15334507	0,152288732	0,163204225	0,155809859	
Peso com Cry Wolf	0,16661442	0,167554859	0,136520376	0,135579937	0,145297806	0,138714734	0,109717868

*Tabela 7: Pesos de cada critério da decisão de emissão de um alerta sem e com o critério “Indicador Cry Wolf”*

Assim, podemos ver que o critério do “Indicador *Cry Wolf*” tem um peso menor que representa o uso que poderia ser feito pelas equipes da Sala de Situação como foi explicado previamente.

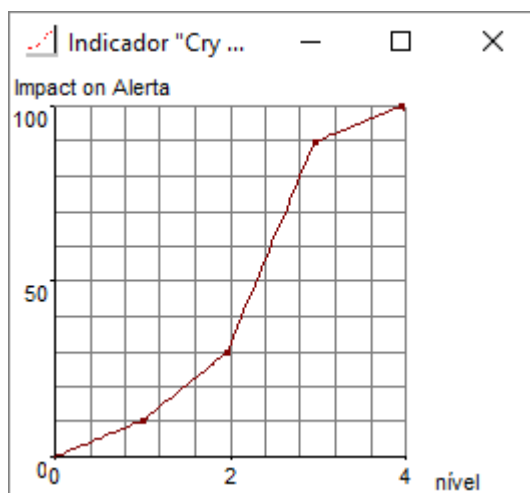
Para determinar uma curva de influência que corresponde as decisões do CEMADEN, seria melhor obter os comentários dos profissionais sobre o uso desse indicador. No entanto, segundo nossas discussões com os profissionais durante nossas entrevistas, pudemos determinar uma curva de influência previa que deveria ser revisada quando o uso do indicador estivesse disponível. Assim, entendemos que um nível baixo do indicador como 0 ou 1 não mudaria normalmente a decisão do CEMADEN tomada antes de considerar o indicador. Assim, se todos os indicadores permitem decidir que o alerta de nível Moderado deve ser enviado, os níveis 0 e 1 não teria muito impacto na decisão. Por isso, na curva de influência, esses dois níveis são considerados próximos a 0. Por outro lado, os níveis 3 ou 4 teriam um impacto importante sobre a decisão de emitir um alerta de nível Moderado. De fato, se a frequência de emissões de alertas falsos durante os últimos meses for alta, a possibilidade de criação da síndrome *Cry Wolf* é maior e o risco de perda de confiança de Defesa Civil é alto se um novo alerta falsa for emitido. Por isso, no caso de emissão de um alerta de nível Moderado, um indicador de nível 3 ou 4 teria bastante impacto sobre a decisão. Então, na curva de influência, esses dois níveis são próximos a 100. Para o nível 2 do indicador, seria mais um nível para chamar a atenção dessa equipe na zona, mas, o indicador não mudaria a decisão previa da equipe, exceto em casos bem específicos. De fato, a possibilidade de mudança da decisão com um indicador *Cry Wolf* no nível 2 seria quando a equipe apresentasse muitas dúvidas sobre a emissão do alerta nessa zona. No entanto, isso poderia acontecer unicamente em alguns casos. Assim, vamos considerar que o impacto do nível 2 é de 30% na decisão. Graças aos comentários dos profissionais da Sala de Situação do CEMADEN, conseguimos construir a curva de influência apresentada na Figura 26.

Como foi explicado previamente, seria necessário revisar essa curva de influência do critério “Indicador *Cry Wolf*” quando o indicador estivesse disponível para uso pelos profissionais da Sala de Situação. Assim, poderíamos realizar novas entrevistas com eles e entender melhor como eles considerariam o nível do indicador *Cry Wolf* na decisão de emitir o alerta ou não e como esse indicador mudaria as decisões de emissão de alertas.

As análises de curvas de sensibilidade e perfis das alternativas não podem ser realizadas para o modelo multicritérios com o critério “Indicador *Cry Wolf*” porque como o indicador não está disponível, não temos amostras de emissões de alertas considerando esse fator. Por isso, não podemos criar novas alternativas para o modelo a fim de realizar as análises da parte



anterior. Não queríamos inventar alternativas com valores aleatórios do indicador *Cry Wolf* porque não conhecemos o comportamento que vão adotar os profissionais da Sala de Situação com esse indicador. Então, realizar análises sobre alternativas com valores aleatórios não teria valor ou interesse.



*Figura 27: Curva de influência do critério Cry Wolf*

#### 4.2.2 O uso do modelo multicritérios

O modelo multicritérios construído oferece um apoio à decisão de emitir um alerta ou não para os profissionais do CEMADEN. Assim, esse modelo pode ser usado no processo decisório de emissão de um alerta considerando os critérios mais importante. Os profissionais poderiam usar o modelo multicritérios criando a situação que eles monitoram como uma nova alternativa no software VISA. Assim, eles poderiam obter o perfil da nova alternativa e comparar ela com as alternativas padrões que representassem cada tipo de nível de alerta. Com um software mais eficiente, seria possível registrar todas os alertas emitidas durante o último ano e assim, os profissionais poderiam comparar o perfil da situação que eles estão analisando com todas os alertas do último ano. Isso permitiria ver os alertas antigos parecidos com a situação atual que eles enfrentam e permitir orientar a decisão deles conhecendo o nível dos alertas que têm um perfil similar.

No entanto, temos que lembrar que consideramos no modelo os critérios mais importantes da decisão da emissão de alerta. Assim, como os profissionais do CEMADEN comentaram durante as entrevistas, o processo decisório da emissão de alerta é muito complexo e depende muito de cada zona. Assim, considerando diversas zonas, os profissionais precisam

avaliar vários elementos diferentes que não são os mesmos para cada zona monitorada do Brasil. Assim, mesmo se o modelo multicritérios pudesse ajudar na decisão de emissão do alerta, os conhecimentos dos profissionais seriam necessários para avaliar o resultado do modelo e completar esse resultado com as informações necessárias para conhecer todos os aspectos da situação enfrentada e tomar uma boa decisão.

O indicador *Cry Wolf* permitiria diminuir o número de alertas falsos emitidos considerando os registros dos alertas falsos para cada município monitorado. Essa redução dos alertas falsos permitirá garantir a confiança dos outros atores da cadeia de alerta de desastres naturais e evitar os riscos de não ações em caso de alerta. A integração desse indicador no modelo multicritérios permitirá ter uma visão melhor da situação e ajudar os profissionais da Sala de Situação.

## 5. CONCLUSÕES

O objetivo do nosso trabalho era construir um modelo multicritérios de apoio à decisão para as emissões de alertas de desastres naturais do CEMADEN e agregar uma dimensão mais “social” a esse modelo com o propósito de diminuir os efeitos da síndrome *Cry Wolf* que pode aparecer em algumas regiões. Para isso, realizamos uma revisão bibliográfica de todos os aspectos do projeto, visitamos o CEMADEN e entrevistamos diversos profissionais da Sala de Situação para entender o funcionamento do instituto e o processo decisório deles. Essas observações nos permitiram determinar os critérios mais importantes da decisão de emitir um alerta de desastres naturais e de identificar os pesos de cada um desses critérios. Assim, foi possível desenvolver um modelo multicritérios que permite representar as decisões tomadas na Sala de Situação pelos profissionais do CEMADEN. Depois da construção do modelo de apoio a decisão, elaboramos a ideia de um indicador *Cry Wolf* de uma escala de 0 a 4 baseado sobre a frequência dos alertas falsos em cada município monitorado pelo CEMADEN. Como foi explicado no andamento do projeto, esse critério seria sobretudo interessante para os alertas de nível Moderado que corresponde hoje a uma probabilidade de 50% de chance de ocorrências de desastres naturais. São sobretudo esses alertas que podem criar a síndrome *Cry Wolf* afinal, os alertas de nível Alto e Muito Alto são quase sempre seguidos por ocorrências. A integração do indicador com novo critério do modelo multicritérios permite apoiar as decisões de emissão de alertas considerando a síndrome *Cry Wolf*.

No entanto, precisamos lembrar que a decisão de emitir um alerta é bem mais complexa que os critérios considerados no modelo. Assim, os profissionais da Sala de Situação insistiram sobre o fato que cada situação e município é um caso muito diferente uns dos outros e que para cada um, eles precisam considerar diversos elementos antes de emitir um alerta pois as características de cada zona são diferentes. Portanto, o nosso modelo considera unicamente os elementos principais que permitem tomar a decisão de emitir um alerta. No entanto, eles não são suficientes e o modelo não é exaustivo. Além disso, achar uma generalização do processo decisório dos profissionais da Sala de Situação foi difícil, afinal eles explicam que as informações não são disponíveis em uma ordem específica e que eles têm que atuar com uma chegada desorganizada de informações. Como foi explicado, em todas as entrevistas, cada caso de alerta é diferente uns dos outros.

Considerando o indicador da síndrome *Cry Wolf*, todos os profissionais pareceram interessados pelo uso desse indicador e as possíveis consequências dele. De fato, o número de

alertas falsos é bem alto em algumas zonas do Brasil. No entanto, vários profissionais afirmaram que um uso interessante dessa ferramenta não poderia ser possível antes da implementação de melhorias nas outras ferramentas já usadas no processo decisório deles. Assim, por exemplo, o sistema de limiares não é muito confiável porque a maioria desses limiares foram recuperados na literatura e não foram revisados, então, neste modo, o uso desses limiares pode ser defeituoso. O CEMADEN está elaborando novos limiares para todos os municípios monitorados a fim de ter um sistema confiável e revisado. Portanto, sem todas as outras ferramentas da Sala de Situação melhoradas, o uso do indicador não seria eficiente. Os profissionais precisam ter uma inteira confiança nos dados que eles usam para emitir um alerta antes de considerar a avaliar os alertas falsos com o indicador *Cry Wolf*. Para eles, a redução dos alertas falsos deve primeiramente ser um resultado das melhorias das ferramentas que eles usam e posteriormente, o uso do indicador *Cry Wolf* será interessante. Uma vez que ele será implementado, seria necessário realizar um novo estudo para adaptar os elementos desse critério no modelo multicritérios de maneira mais correspondente com a realidade.

## 6. REFERÊNCIAS

- ALEOTTI P. (2004) *A warning system for rainfall-induced shallow failures*. Elsevier, Engineering Geology 73, p247-265
- ATWOOD L.E. & MAJOR A.M. (1996) *Exploring the “Crying Wolf” Hypothesis*. International Journal of Mass Emergencies and Disasters, Vol 16, No 3. p279-302
- BERNARDIE S., DESRAMAUT N., MALET J.-P., GOURLAY M. & GRANDJEAN G. (2014) *Prediction of changes in landslides rates induced by rainfall* Published online: 27 May 2014, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014, 14p
- CARUZZO A. (2012) *Gestão de crises em eventos meteorológicos extremos no Brasil: uma introdução ao debate*. Conference paper, 6p
- CARUZZO A., MANSO D. & BELDERRAIN M. (2013) *Planejamento do sistema de meteorologia no apoio da logística humanitária: a visão dos previsores utilizando a Teoria de Valor Multiatributo*. Artigo da Revista Electronica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento, p266-290
- CEMADEN, Site do CEMADEN, <[www.cemaden.gov.br](http://www.cemaden.gov.br)>
- DAHAL K. & HANGELMANN R. (2011) *People’s risk perception of glacial lake outburst flooding: a case of Tsho Rolpa Lake, Nepal*. Environmental Hazards, p154-170
- DASH N. & GLADWIN H. (2007) *Evacuation Decision Making and Behavioral Responses: Individual and Household*. Artigo em Natural Hazards Review, 10p
- FRANCO A. & MONTIBELLER G. (2009) *Problem Structuring for Multi-Criteria Decision Analysis Interventions*. Published by Operational Research Group, Department of Management, London School of Economics and Political Science, 25p
- FRENCH S. & AL (1998) *Problem formulation for Multi-Criteria Analysis: Report of Workshop*. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, No 7. p 242-262
- GUNAWARDENE N. (2012) *Nuturing Public Trust In Times of Crisis: Reflections on April 11 Tsunami Warning*. Disaster Management. Publicado no site Groundviews.org.
- GUNAWARDENE N. & SAMARAJIVA R. (2013) *Crying wolf over disasters undermines future warnings*. Publicado no site [www.scidev.net](http://www.scidev.net).

HORITA et al (2016) *A quantitative analysis of the early warning process in disaster management*. Short Paper – Community Engagement and Practitioner Studies Proceedings of the ISCRAM 2016 Conference, 9p

JOSLYN S. & LECLERC J. (2013) *The “Cry Wolf” Effect And Weather-Related Decision Making*. International Conference on Naturalistic Decision Making, Marseille, France. 4p

KAILIPONI P. (2010) *Analyzing evacuation decisions using multi-attribute utility theory (MAUT)*. Publicado por Elsevier Ltd. p163-174

KAYANO M. T. & ANDREOLI V. T. (2009) *Clima da Região Nordeste no Brasil*. Em: CAVALCANTI N. J. *Tempo e Clima no Brasil*. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, p212-233

LAGOMARSINO D., SEGONI S., FANTI R. & CATANI F. (2013) *Updating and tuning a region-scale landslide early warning system*. Journal Landslides, Volume 10, Issue 1, p91-99

LIM B., LIM H. & PIANTANAKULCHAI M. (2013) *Factors Affecting Flood Evacuation Decision and Its Implications to Transportation Planning*. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol 9. 15p

MARTELLONI G. et al (2012) *Rainfall threshold for the forecasting of landslides occurrence at regional scale*. Journal Landslides, Vol. 9, p485-495

MONTIBELLER G. (2013) *Best Practices In Multi-Criteria Evaluations*. Slides de um curso do Department of Management da London School of Economics. 27p

MONTIBELLER G. (2013) *Evaluating Options with Value Models*. Slides de um curso do Department of Management da London School of Economics. 26p

MOUSSEAU V. (2009) *Concepts de base en aide multicritère à la décision*. Cours d’Aide à la Décision de l’Ecole Centrale Paris. 53p

NUNES L. H., KOGA-VICENTE A. & CANDIDO D. H. (2009) *Clima da Região Sudeste no Brasil*. Em: CAVALCANTI N. J. *Tempo e Clima no Brasil*. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos

OLIVEIRA D. (2015) *Variáveis envolvidas no comportamento de percepção de risco em desastres naturais*. Universidade de São Paulo e Instituto de Psicologia. 8p

QUADRO M. F. L. (1996) *Climatologia e Precipitação e Temperatura no período de 1986 a 1996*. Revista Climanálise. São Paulo, ed. com.

ROSSI M., PERRUCCACCI S., BRUNETTI M. T., MARCHESINI I., LUCIANI S. & ARDIZZONE F. (2012) *SANF: National warning system for rainfall-induced landslides in Italy*. Landslides and Engineered Slopes: Protecting Society through Improved Understanding – Eberhardt et al. (eds) Taylor & Francis Group, London, p1895-

SAITO S. M. & OLIVEIRA DE SOUZA D. (2013) *Sistema de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais: Práticas e Desafios* Porto Alegre: Evangraf, 2013. 13p

TOMASINI R. & WASSENHOVE L.V. *Humanitarian Logistics*. INSEAD Business Press Series. 193p

UCHIDA K. (2012) *A model evaluating effect of disaster warning issuance conditions on “cry wolf syndrome” in a case of a landslide*. European Journal of Operational Research. p530-537

Universidade Federal de Santa Catarina. (2013) *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012*. Centro Universitário de Estudos e de Pesquisa sobre Desastres. 2. ed. rev. ampla.- Florianópolis, 126p

VELASQUEZ M. & HESTER P.T. (2013) *An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods*. International Journal of Operations Research, Vol 10, No 2. p56-66

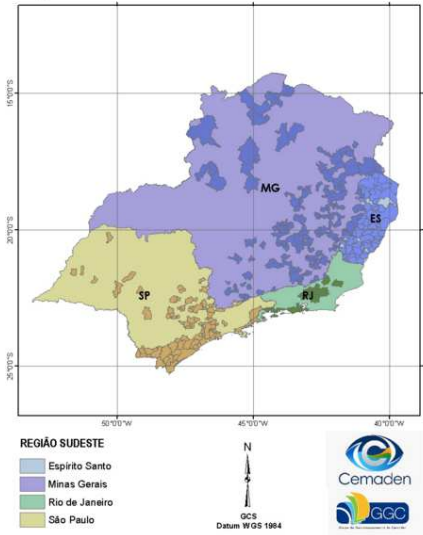




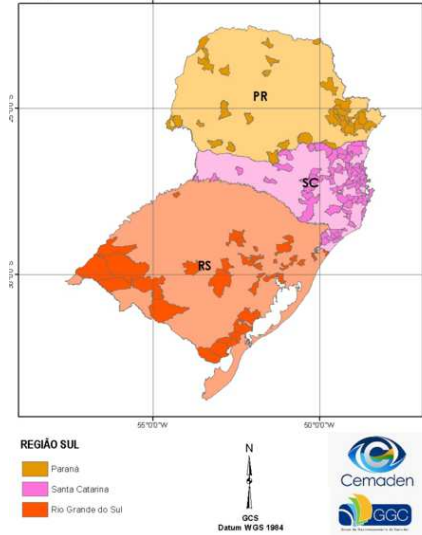
## 7. ANEXOS

Anexo 1: Mapas das cidades monitoradas pelo CEMADEN (Fonte: CEMADEN)

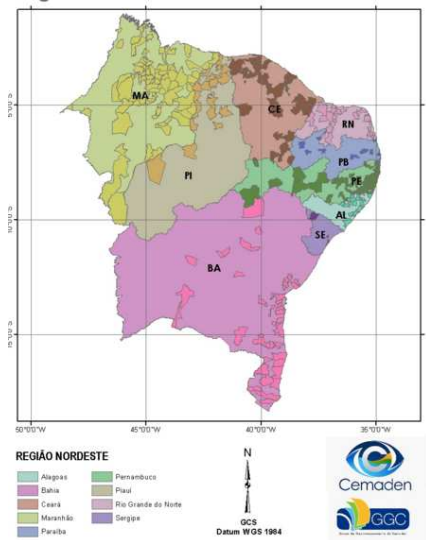
Região Sudeste



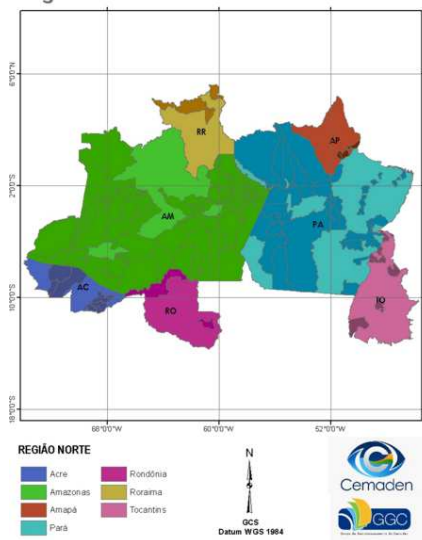
Região Sul



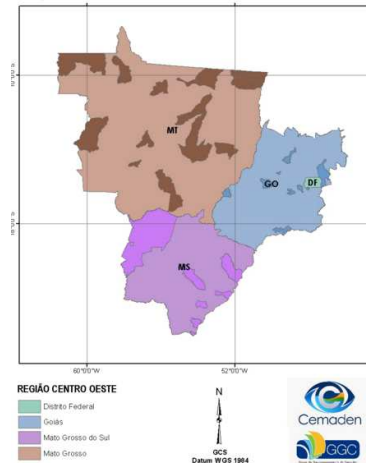
Região Nordeste



Região Norte




Região Centro Oeste



Anexo 2: Números de cidades monitoradas pelo CEMADEN por estado (Fonte: site do CEMADEN)

<b>Estado</b>	<b>Número de municípios monitorados</b>
AC	7
AL	24
AM	40
AP	2
BA	40
CE	31
ES	64
GO	9
MA	72
MG	126
MS	7
MT	11
PA	39
PB	15
PE	61
PI	18
PR	34
RJ	16
RN	22
RO	2
RR	3
RS	39
SC	70
SE	3
SP	88
TO	10

Anexo 3: Exemplo de formulário de emissão de alerta de desastres naturais enviado pelo CEMADEN para o CENAD.



**Cemaden**  
Centro Nacional de Monitoramento  
e Alertas de Desastres Naturais

ALERTA				
ALERTA Nº	ABERTO EM	ATUALIZADO EM	MUNICÍPIO	UF

**TIPO DE EVENTO/NÍVEL:**                      **MOVIMENTOS DE MASSA / MODERADO**

**Cenário de Risco:**

---

**Situação Atual:**

---

**Tendência:**

---

**Recomendações:**

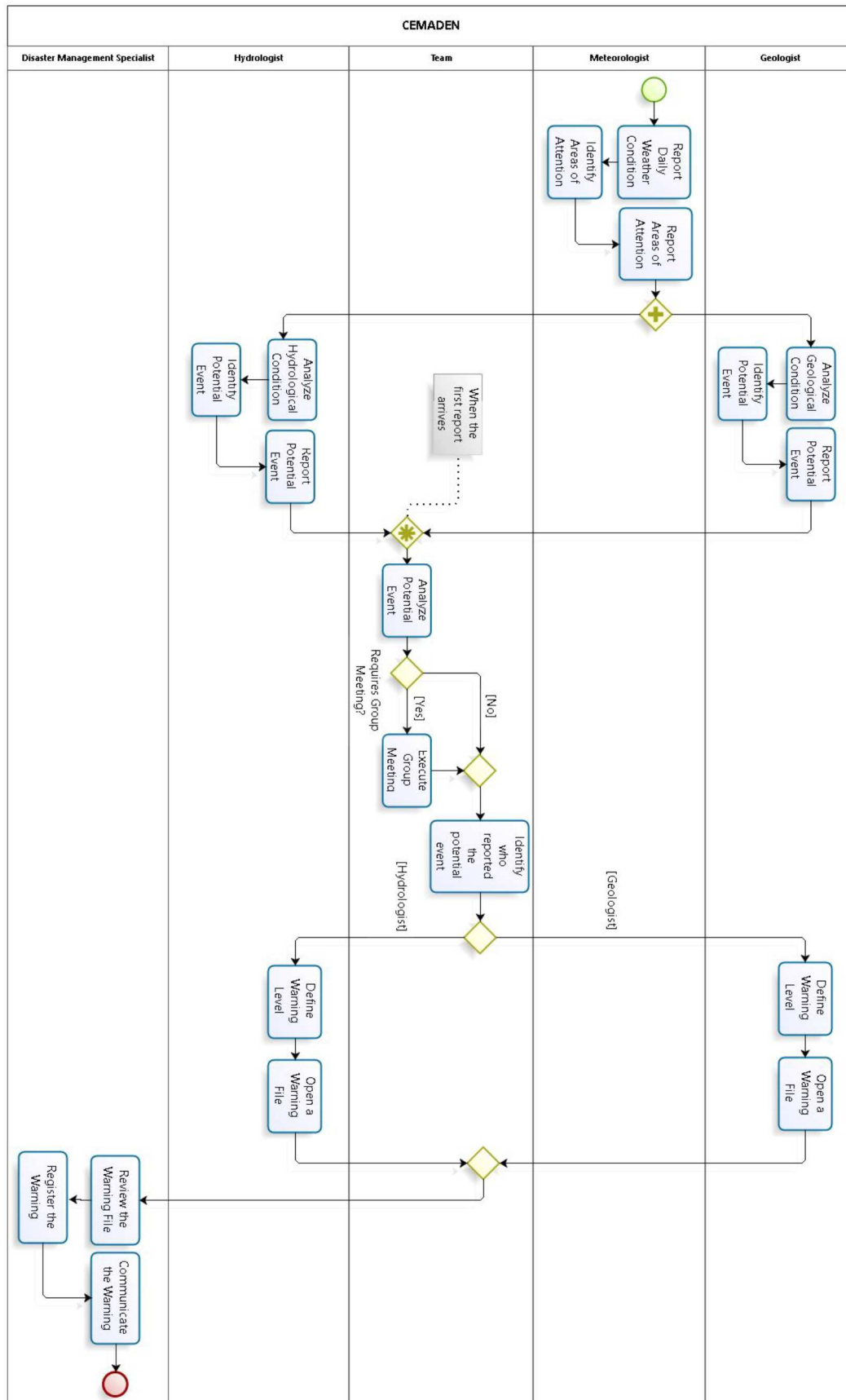
---

**Ações de Proteção e Defesa Civil recomendadas pelo CENAD:**

---

Para constante melhoria dos alertas emitidos pelo Cemaden solicita-se preencher o breve questionário no link abaixo. Mesmo ocorrências pequenas (que não gerem ocorrências formais) são de extrema importância para avaliar a qualidade dos alertas. O que não puder ser respondido deixar em branco, mas qualquer informação será muito relevante: <http://www.cemaden.gov.br/ocorrencias/index.php>

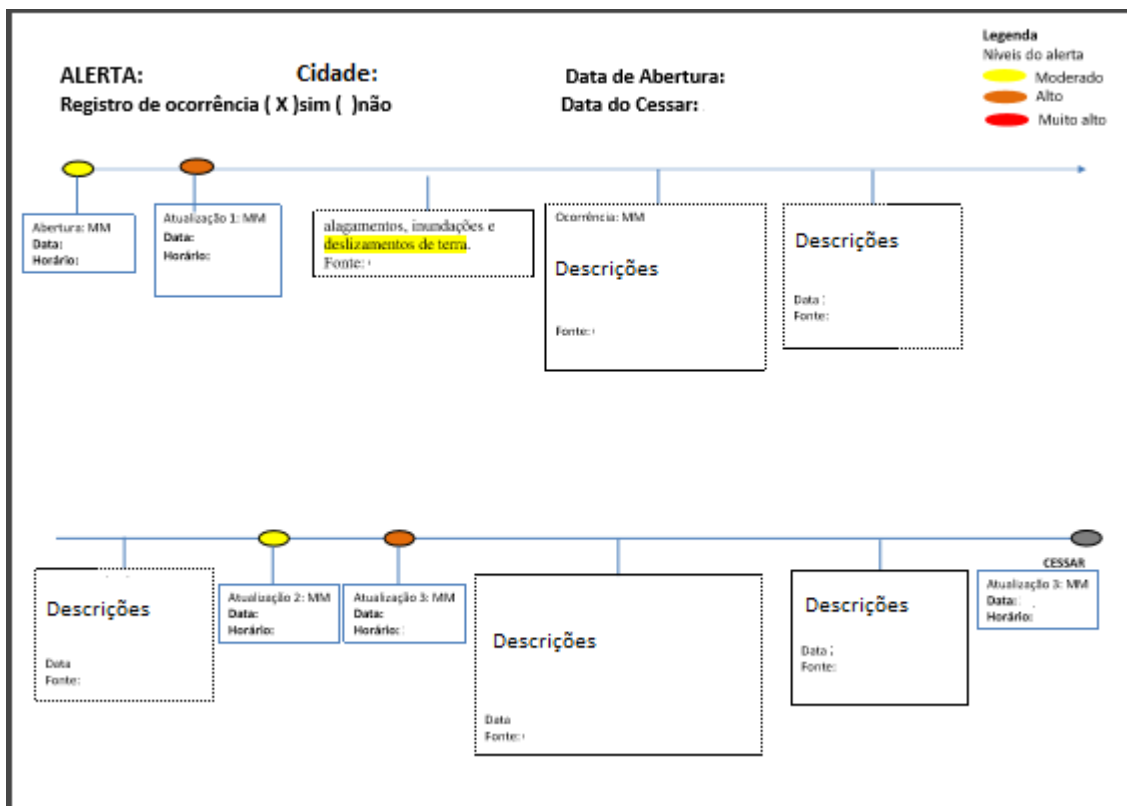
Anexo 4: BPMN do processo de emissão de alertas do CEMADEN (Fonte: HORITA et al, 2016)



Anexo 5: Resultados das entrevistas realizadas com os profissionais do CEMADEN para determinar os pesos dos critérios para o modelo de apoio a decisão multicritérios.

	Entrevistado 1	Entrevistado 2	Entrevistado 3	Entrevistado 4	Entrevistado 5	Entrevistado 6	Entrevistado 7	Entrevistado 8	Entrevistado 9	Entrevistado 10	Entrevistado 11	Entrevistado 12
Profissão	Especialista de		Especialista de		Especialista de		Especialista de		Especialista de		Especialista de	
	Meteorologista	desastres	Meteorologista	Geógrafo	Hidrólogo	desastres	Hidrólogo	Hidrólogo	Meteorologista	Meteorologista	Geógrafo	Hidrólogo
Volume de chuva que está caindo	100	99	100	99	100	90	100	100	90	100	90	30
Volume de chuva acumulado	99	100	80	100	90	100	70	100	100	90	100	40
Previsões de chuva	98	98	85	90	60	80	40	80	80	80	70	10
Limiar de deslizamento na zona	65	95	70	80	50	60	70	90	75	75	75	60
Grau de risco da área (estudos do CPRM)	70	97	90	85	80	50	80	75	85	80	85	50
Ocorrências anteriores	60	96	65	84	70	70	50	70	70	70	80	100

Anexo 6: Exemplo de “clipping” de uma alerta constituído pelas equipes do CEMADEN (linha de tempo e outras partes)



1. Feedback do CENAD (email ou telefone):

2. Feedback da Defesa Civil local:

3. Notícias da mídia (link e notícia)

4. Relatos via redes sociais (facebook, twitter, youtube, etc.)

Anexo 7: Resultados das entrevistas realizadas com os profissionais do CEMADEN para determinar o peso do critério “Indicador *Cry Wolf*” para o modelo de apoio a decisão multicritérios.

	Entrevistado 1	Entrevistado 2	Entrevistado 3	Entrevistado 4	Entrevistado 5	Entrevistado 6	Entrevistado 7	Entrevistado 8	Entrevistado 9	Entrevistado 10	Entrevistado 11	Entrevistado 12
Profissão	Especialista de Meteorologista				Especialista de desastres				Especialista de Meteorologista			
	Meteorologista	desastres	Meteorologista	Geógrafo	Hidrologo	desastres	Hidrologo	Hidrologo	Meteorologista	Meteorologista	Geógrafo	Hidrologo
Volume de chuva que está caindo	100		99	100	99	100		100	65	90	100	90
Volume de chuva acumulado	99		100		100			70	100			
Previsões de chuva	98	98	85	90	60	80		40	80	80	70	10
Limiar de deslizamento na zona	65	95	70	80	50			70	90	75	75	60
Grau de risco da área (estudos do CPRM)	70	97	90	85	80			80	75	85	85	50
Ocorrências anteriores	60	96	65	84	70			50	70	70	80	100
Indicador "Cry Wolf"	50	50	50	20	70	70	70	75	50	60	65	80