

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO – BACHARELADO

**SAME: SISTEMA DE APOIO AO MONITORAMENTO DE
ENCHENTES**

JEAN CARLOS KRÜGER

BLUMENAU
2016

JEAN CARLOS KRÜGER

**SAME: SISTEMA DE APOIO AO MONITORAMENTO DE
ENCHENTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Ciência da Computação do Centro de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Regional de Blumenau como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Prof. Roberto Heinzle, Doutor - Orientador

**BLUMENAU
2016**

SAME: SISTEMA DE APOIO AO MONITORAMENTO DE ENCHENTES

Por

JEAN CARLOS KRÜGER

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado
para obtenção dos créditos na disciplina de
Trabalho de Conclusão de Curso II pela banca
examinadora formada por:

Presidente: _____
Prof(a). Roberto Heinzle, Doutor – Orientador, FURB

Membro: _____
Prof(a). Andreza Sartori, Doutora – FURB

Membro: _____
Prof(a). Miguel Alexandre Wisintainer, Mestre – FURB

Blumenau, 09 de dezembro de 2016

Dedico este trabalho a todos familiares, amigos e professores que de alguma forma contribuíram para a realização deste.

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo que sempre fez por mim.

À minha família, que mesmo sem entender minha ausência em alguns momentos, nunca deixou de me apoiar.

Aos meus amigos e colegas de curso que conheci nesses quatro anos e meio.

À minha namorada pelo apoio e parceria nessa fase de nossas vidas.

Ao meu orientador, Roberto Heinzle pelo apoio no desenvolvimento do trabalho.

Ao CEOPS por fornecer os dados necessários, pela receptividade e apoio no esclarecimento das dúvidas, em especial ao Marcos Momo, que acompanhou o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, dedico a todos que de alguma forma me ajudaram a concluir essa etapa da minha vida.

Pensamentos conduzem a sentimentos.
Sentimentos conduzem a ações. Ações
conduzem a resultados.

T. Harv Eker.

RESUMO

O trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema para apoiar o Centro de Operação do Sistema de Alerta da Bacia do Itajaí (CEOPS). Na mesorregião do Vale do Itajaí a ocorrência de desastres naturais causados pela enchente é comum. Torna-se necessário criar ações para diminuir os estragos causados pelas cheias. Com o intuito de proporcionar mais uma alternativa para atender a essa demanda, foi desenvolvido um sistema web capaz de prever o nível do rio com até 8 horas de antecedência para os municípios de Blumenau e Rio do Sul. Além da capacidade de realizar a previsão do rio e apresentar em gráficos, o sistema conta com outras funcionalidades, como o módulo previsor, as verificações de inconsistência nos dados de telemetria do CEOPS e gráfico comparativo. Para realizar as estimativas foi utilizado o modelo matemático AutoRegressive Moving Average with eXogenous inputs (ARMAX), já calibrado para os municípios de Blumenau e Rio do Sul, porém a ferramenta permite cadastrar novos modelos matemáticos.

Palavras-chave: Modelo ARMAX. CEOPS. Previsão de cheias. Dados de telemetria.

ABSTRACT

The work aims to develop a system to support the Operation Center of the Itajaí Basin Warning System (CEOPS). In the Itajaí Valley mesoregion, natural disasters caused by floods are common. It is necessary to create actions to reduce the damage caused by the floods. In order to provide another alternative to deal with this demand, a web system was developed that could predict the river level up to 8 hours in advance for Blumenau and Rio do Sul cities. In addition, to the forecast capacity the system has other functionalities, such as predictive module, inconsistency checks in the CEOPS telemetry data and comparative graph. The AutoRegressive Moving Average mathematical model with eXogenous inputs (ARMAX). That are already calibrated for the cities of Blumenau and Rio do Sul, was used to perform the estimates, although the tool allows to register new mathematical models.

Key-words: Model ARMAX. CEOPS. Flood Forecast. Telemetry data.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação geral do modelo ARMAX.....	18
Figura 2 - Equação calibrada para Rio do Sul.....	19
Figura 3 - Teste do modelo de previsão para 6 e 8 horas.....	19
Figura 4 – Equação ARMAX desenvolvida para Blumenau.....	20
Figura 5 – Desempenho do modelo com 6 horas de antecedência.....	21
Figura 6 – Desempenho do modelo com 8 horas de antecedência.....	21
Figura 7 – Questionário enchente.....	24
Figura 8 – Resultado final do questionário de enchente.....	25
Figura 9 – Página com dados históricos do CEOPS.....	26
Figura 10 – Interface para previsão do nível do rio em Rio do Sul.....	26
Figura 11 – Processo atual.....	27
Figura 12 – Processo proposto.....	28
Figura 13 – Mapa gerado para a bacia do Itajaí.....	29
Figura 14 – Visualização dos detalhes da estação.....	29
Figura 15 - Casos de uso.....	32
Figura 16 - Diagrama de Classes.....	33
Figura 17 - Utilização das ferramentas no portal SAME.....	34
Figura 18- Cadastro de Modelos.....	36
Figura 19 - Lista das funcionalidades para cada perfil de acesso.....	40
Figura 20 - Tela de login SAME.....	41
Figura 21 - Menu SAME.....	42
Figura 22 - Manter usuários.....	43
Figura 23 - Tela com os detalhes do usuário.....	43
Figura 24 - Tela de manter parâmetros.....	44
Figura 25 - Tela de manter estação.....	44
Figura 26 - Tela consulta de estações.....	45
Figura 27 - Tela de cadastro do modelo ARMAX.....	46
Figura 28 - Tela de cadastro da variável do modelo ARMAX.....	46
Figura 29 - Tela de simulação.....	47
Figura 30 - Tela simulador de evento.....	48
Figura 31 - Tela de análise de eventos.....	48

Figura 32 - Tela de detalhes de uma simulação de evento	49
Figura 33 - Tela registro de previsão.....	50
Figura 34 - Gráfico comparativo	51
Figura 35 - Tela consulta dados telemetria.....	52
Figura 36 - Tela consulta dados telemetria inconsistentes	52
Figura 37 - Primeiro cenário de análise do resultado	53
Figura 38 - Segundo cenário de análise do resultado	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Regras de produção	22
Quadro 2 – Criação de uma base de conhecimento.....	23
Quadro 3 - Matriz de rastreabilidade	31
Quadro 4 - Mapeamento tabela com os dados de telemetria do CEOPS	35
Quadro 5 - Busca dos dados na base legado do CEOPS	35
Quadro 6 - Implementação do modelo ARMAX	37
Quadro 7 - Tratamento de leituras inconsistentes	38
Quadro 8 - Trecho do código onde é analisado as leituras suspeitas	39
Quadro 9 - Questionário SAME	54
Quadro 10 – Características do desenvolvido e dos trabalhos correlatos.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARMAX – AutoRegressive Moving Average with eXogenous inputs

CEOPS – Centro de Operação do Sistema de Alerta da Bacia do Itajaí

EA – Enterprise Architect

FURB – Fundação Universidade Regional de Blumenau

IDE – Integrated Development Environment

JEOPS – Java Embedded ObjectOriented Production Systems

PDF – Portable Document Format

RF – Requisito Funcional

RNF – Requisito Não Funcional

SAME – Sistema de Apoio ao Monitoramento de Enchentes

UML – Unified Modeling Language

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 OBJETIVOS.....	15
1.2 ESTRUTURA.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 DESASTRES NATURAIS - ENCHENTES NO VALE DO ITAJAÍ.....	16
2.1.1 Circunstâncias das cheias na região, combate e prevenção	16
2.2 PROCESSO ESTOCÁSTICO	17
2.2.1 Modelo ARMAX	17
2.2.2 Modelo ARMAX para Rio do Sul	18
2.2.3 Modelo ARMAX para Blumenau	20
2.3 TRABALHOS CORRELATOS	22
2.3.1 Protótipo de um Sistema especialista para controle e alerta de desastres naturais	22
2.3.2 Tecnologias da informação baseada em serviços, aplicadas em sistemas de monitoramento e alerta de eventos climáticos.	25
2.3.3 Sistema de informações para apoiar o sistema de alerta da bacia do Itajaí.....	27
3 DESENVOLVIMENTO	30
3.1 REQUISITOS	30
3.2 ESPECIFICAÇÃO	30
3.2.1 Matriz de rastreabilidade.....	31
3.2.2 Diagrama de Casos de Uso	31
3.2.3 Diagrama de Classes	32
3.3 IMPLEMENTAÇÃO	33
3.3.1 Técnicas e ferramentas utilizadas.....	34
3.3.2 Coleta dos dados de telemetria.....	34
3.3.3 Cadastro dos modelos ARMAX	35
3.3.4 Previsão do nível do rio.....	36
3.3.5 Leitura de dados inconsistentes.....	37
3.3.6 Operacionalidade da implementação	39
3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
4 CONCLUSÕES	56
4.1 EXTENSÕES	57

REFERÊNCIAS	58
--------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

A mesorregião do Vale do Itajaí, formada pelas cidades às margens do rio Itajaí, tem vivenciado desastres naturais decorrentes das chuvas, principalmente com as cheias. Isso ocorre pela ocupação desordenada desde os primeiros colonizadores. Conforme relata Siebert (2009, p. 40), “gradualmente, as clareiras, na beira dos rios, foram ampliadas, com a remoção da floresta nativa também nas encostas para a formação de passagens”.

Como consequência, nas últimas décadas o Vale do Itajaí vem sofrendo com enchentes ocasionadas por fortes chuvas. Desde as primeiras enchentes viu-se a necessidade de desenvolver ações para combater o problema das inundações. Com medidas não-estruturais, isto é, medidas como normas para conscientização da população, sistemas de monitoramento e alerta, com o fim de diminuir os impactos. Para isso, em 1983, a Universidade Regional de Blumenau (FURB) criou o “Projeto Crise”. Após alguns anos, parte das ações deixou de fazer parte do Projeto Crise e foram incorporadas ao Centro de Operação do Sistema de Alerta da Bacia do Itajaí (CEOPS), atuando com as medidas não-estruturais e os planos de ação e estratégias (CEOPS, 2016).

Uma das ações desenvolvidas pelo CEOPS é a operação do sistema de alerta de cheias. Quando o nível do rio Itajaí está em estado de atenção (nível do rio acima de 5 metros) e continua em elevação, é realizada a previsão do nível do rio para as próximas horas. Boletins são publicados pelo CEOPS, de hora em hora, com estimativas de elevação e precipitação do nível do rio Itajaí (CEOPS, 2016).

Processos e ferramentas de auxílio se tornam fundamentais para apoiar a operação do sistema de alerta. Ele ajuda a prever o nível das cheias, torna-se importante, uma vez, que com certa antecedência, a população pode ser avisada pela Defesa Civil Municipal sobre o evento e pode tomar medidas para que seu patrimônio humano e físico seja preservado ou que sofra o menor impacto possível (MANCHEIN, 2014, p. 56). São exemplos os modelos matemáticos desenvolvidos por Cordero et al. (1998) e Cordero et al. (2010), os quais permitem estimar o nível do rio com horas de antecedência.

Com base no supracitado foi desenvolvido um portal web para auxiliar na previsão do nível do rio Itajaí, em tempo real, com antecedência de 6 e 8 horas para os municípios de Blumenau e Rio do Sul utilizando modelos de previsão hidrológica baseada na modelagem matemática ARMAX.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma ferramenta web para auxiliar no sistema de monitoramento e alerta do CEOPS para os municípios de Blumenau e Rio do Sul.

Os objetivos específicos são:

- a) obter dados de precipitação e pluviometria do banco de dados hidrometeorológico da bacia do Itajaí;
- b) executar via web o modelo ARMAX calibrado para Blumenau e Rio do Sul;
- c) apresentar os gráficos com os dados observados e simulados pelo modelo, com antecedência de 6 e 8 horas para Blumenau e Rio do Sul.

1.2 ESTRUTURA

O trabalho está organizado em quatro capítulos, dispostos na seguinte ordem: introdução, fundamentação teórica, desenvolvimento e conclusão. No primeiro capítulo apresenta-se esta introdução e os objetivos do trabalho. O segundo capítulo aborda a fundamentação teórica do tema, bem como as tecnologias utilizadas no desenvolvimento do trabalho.

O terceiro capítulo refere-se ao desenvolvimento do portal, através de requisitos (RF) funcionais e não funcionais (RNF), diagramas e o sistema construído. Por último, na parte quatro são apresentadas as conclusões, resultados obtidos e as sugestões extensão do trabalho desenvolvido.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seção 2.1 aborda o combate a enchentes na mesorregião do Vale do Itajaí e uma breve explanação sobre a sua dimensão, fatos históricos e os impactos causados pelas cheias. A seção 2.2 trata sobre o modelo matemático do tipo ARMAX que é utilizado para definir as estimativas de elevação e precipitação do nível do rio Itajaí para os municípios de Blumenau e Rio do Sul. Na seção 2.3 são apresentados os trabalhos correlatos ao trabalho desenvolvido.

2.1 DESASTRES NATURAIS - ENCHENTES NO VALE DO ITAJAÍ

As grandes cheias e outros desastres naturais causados por chuvas são mencionados desde os primeiros registros feitos pelos colonizadores da região do Vale do Itajaí, mais especificamente em Blumenau. Como relata a Prefeitura Municipal de Blumenau (2016) em seu diário oficial eletrônico, a Lei nº 860, de 4 de fevereiro de 1880, elevou a colônia à categoria de município. Entretanto, em outubro, uma grande enchente causou sérios prejuízos à população e à administração pública, com a destruição de pontes e estradas.

2.1.1 Circunstâncias das cheias na região, combate e prevenção

O Vale do Itajaí é formado por uma geografia que favorece eventos de cheias entre outros desastres naturais. Conforme Frank (2003), a bacia hidrográfica do rio Itajaí compreende uma área de 15.000 km², dos quais cerca de 80% se encontram na região da floresta pluvial da costa Atlântica, ou “Mata Atlântica”, montanhosa e fortemente entrecortada por rios e ribeirões.

Um evento de cheia ocorre quando um rio tem uma elevação acima da esperada, conforme define a publicação do Ministério das Cidades (BRASIL, 2007). Enchente ou cheia é a elevação temporária do nível d’água em um canal de drenagem devido ao aumento da vazão ou descarga. Esse fenômeno ocorre quando existe a precipitação anormal do nível do rio e ao transbordar seu leito, invade os terrenos adjacentes, provocando danos, segundo Manchein (2014).

Em uma região propensa a eventos de cheias, torna-se essencial desenvolver medidas para combater as enchentes. O sistema de alerta de cheias criado pela FURB foi pioneiro no Brasil (FRANK, 2003). Esse mecanismo de prevenção criado já demonstrou ser importante na redução de danos ocasionados pela ocorrência das enchentes. Como afirma Momo et al. (2010), para a comunidade civil estes serviços são importantes para a redução de perdas materiais provocadas por fenômenos extremos tanto para Blumenau como para os municípios

vizinhos, pois possibilita aos órgãos de defesa aplicar os planos de contingência antes da ocorrência do desastre.

Uma parceria do CEOPS com a Defesa Civil de Blumenau disponibiliza diversos serviços e informações a comunidade, tais como cotas de enchente nas ruas e boletins diários com informações do nível do rio Itajaí-Açu. Durante um evento de cheia, quando o nível ultrapassa os 7,10 metros, as primeiras ruas de Blumenau são afetadas (Defesa Civil de Blumenau, 2016), tais informações são disponibilizadas periodicamente à comunidade.

O centro de operações hoje existente na região do Vale do Itajaí se tornou parte fundamental no combate as cheias e desastres naturais causados por chuva. A equipe do CEOPS conta atualmente com cerca de 10 profissionais auxiliando na previsão de cheias e apoiando no desenvolvimento de diversos projetos como: Modernização da rede de monitoramento do rio Itajaí, Reestruturação do centro de operações do sistema de alerta de cheias da bacia hidrográfica do Rio Itajaí em Santa Catarina, Projeto cota-enchente, mapeamento de áreas suscetíveis a inundação, entre outros, CEOPS (2016).

2.2 PROCESSO ESTOCÁSTICO

Processo estocástico é utilizado para estudar a evolução de fenômenos que são observados ao longo do tempo, (PORTAL ACTION, 2016). Com a base histórica mantida pelo CEOPS é possível aplicar esse modelo estocástico para observar a evolução do nível do rio em um evento de enchente, conforme afirmar Cordero et al. (2010), esse processo é utilizado como instrumento de previsão de cheias em tempo atual.

2.2.1 Modelo ARMAX

O ARMAX é um tipo de modelo estocástico linear. Frank e Pinheiro (2003, p. 114), explicam que o modelo é conhecido como ARMAX é composto de três partes: uma parte auto-regressiva (AR), uma parte de média móvel (MA) e uma parte exógena (X). Esse modelo matemático não oferece soluções únicas, pois cada solução tem uma probabilidade (LJUNG, 1999). A representação do modelo matemático está descrito pela Figura 1.

Figura 1 – Representação geral do modelo ARMAX

$$\begin{aligned}
 y(t) = & a_1 y(t-1) + \dots + a_p y(t-p) \\
 & + b_{11} u_1(t-\tau_1-1) + \dots + b_{1n_1} u_1(t-\tau_1-n_1) \\
 & + b_{21} u_2(t-\tau_2-1) + \dots + b_{2n_2} u_2(t-\tau_2-n_2) \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 & + b_{M1} u_M(t-\tau_M-1) + \dots + b_{Mn_M} u_M(t-\tau_M-n_M) \\
 & + \varepsilon(t) + c_1 \varepsilon(t-1) + \dots + c_q \varepsilon(t-q) + d
 \end{aligned}$$

Fonte: Ljung (1999).

No modelo, a variável escalar $y(t)$ é a saída do modelo no tempo t . $u_i(t)$, com $i = 1, 2, \dots, M$, são as M entradas (parte exógena) e $\varepsilon(t)$ é o ruído, assumido para ser um processo estocástico estacionário (LJUNG, 1999).

2.2.2 Modelo ARMAX para Rio do Sul

O método ARMAX desenvolvido por Cordero et al. (2010) tem como objetivo desenvolver uma fórmula matemática para prever o nível do rio para a cidade de Rio do Sul utilizando um modelo estocástico do tipo ARMAX. Para encontrar os parâmetros de calibração do modelo foi utilizado um software da *MatLab*, mais especificamente, o *toolbox Ident* (Toolbox, 2010), o qual proporcionou as operações de importação e processamento dos dados para a realização da estimação do modelo (CORDERO et al., 2010). Os dados foram coletados de planilhas eletrônicas com eventos de cheia ocorridos desde 1978 até 2009. O autor identificou que para estimar o nível do rio Itajaí em Rio do Sul, era necessário coletar os dados das estações de Ituporanga e Taió, as quais serviram como as entradas do modelo.

Após baterias de calibrações, Cordero et al. (2010) conclui que “o tempo de percurso da onda de cheia entre Ituporanga e Rio do Sul é de aproximadamente 6 horas, e de Taió a Rio do Sul é de 8 horas”. Foram simulados vários intervalos. Entre os testes efetuados mostrou-se que a configuração mais precisa é a ARX(2,2,2) onde 2 corresponde ao intervalo de 2 horas, O modelo calibrado para o município de Rio do Sul é descrito pela equação da Figura 2. Em $y(t)$ será obtido o nível do rio em Rio do Sul com duas horas de antecedência, em u_1 e u_2 temos os respectivos valores do nível do rio em Ituporanga e Taió, pois a vazão de ambos incide sobre o nível rio alvo que é Rio do Sul.

Figura 2 - Equação calibrada para Rio do Sul

$$\hat{Y}(t) = 1,24500 * y(t - 1) + 0,25130 * y(t - 2) + 0,41410 * u_1(t - 4) + 0,36370 * u_1(t - 5) + 0,06747 * u_2(t - 5) + 0,06861 * u_2(t - 6) + 0,04$$

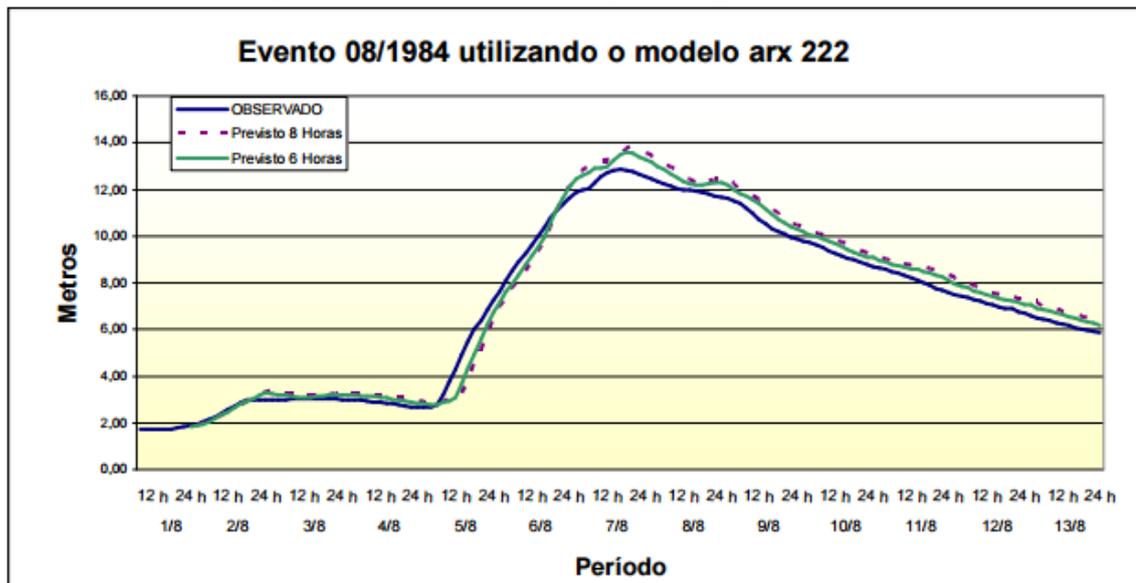
onde:

$\hat{Y}(t)$ = nível previsto para Rio do Sul;
 y = nível observado em Rio do Sul;
 u_1 = nível observado em Ituporanga;
 u_2 = nível observado em Taió;
 t = tempo (1, 2, 3,...).
 Obs.: O intervalo de tempo é de 2 horas.

Fonte: Cordero et al. (2010).

Após a calibração do modelo, foi iniciada uma fase de testes, para verificar a precisão da estimativa de elevação do nível do rio do município de Rio do Sul. Conforme é possível visualizar na Figura 3. A linha tracejada indica os valores que o modelo foi capaz de prever com 8 horas de antecedência, a linha verde indica a estimativa com 6 horas de antecedência e a linha azul indica o nível real do rio Itajaí. Observando o gráfico, é possível verificar que o modelo conseguiu acompanhar com grau satisfatório de precisão as oscilações do nível do rio Itajaí no município de Rio do Sul.

Figura 3 - Teste do modelo de previsão para 6 e 8 horas.



Fonte: Cordero et al. (2010).

2.2.3 Modelo ARMAX para Blumenau

O modelo criado por Cordero et al. (1998) tem como objetivo desenvolver um modelo matemático para estimar o nível do rio Itajaí para o município de Blumenau. Para desenvolver o trabalho foi utilizado um modelo estocástico do tipo ARMAX. O autor identificou que para estimar o nível do rio Itajaí em Blumenau, era necessário coletar os dados das estações localizadas nos municípios de Apiúna e Timbó, as quais serviram como entrada do modelo.

Após as verificações de calibração, Cordero et al. (1998) obtiveram a definição que o tempo de percurso da onda de cheia entre Apiúna/Blumenau e Timbó/Blumenau é de aproximadamente 8 horas. Com base nestes parâmetros, o melhor ajuste encontrado nas simulações foi a configuração ARX(2,2,2). O modelo calibrado é descrito pela equação da Figura 4. Em $\hat{Y}(t)$ tem-se o nível de Blumenau com duas horas de antecedência, em u_1 e u_2 os níveis de Apiúna e Timbó respectivamente.

Figura 4 – Equação ARMAX desenvolvida para Blumenau

$$\hat{Y}(t) = 1.98063 * y(t-1) - 0.98506 * y(t-2) + \\ - 0.09200 * u_1(t-4) + 0.08732 * u_1(t-5) + \\ + 0.01806 * u_2(t-4) - 0.01411 * u_2(t-5) + \\ + 0.03083$$

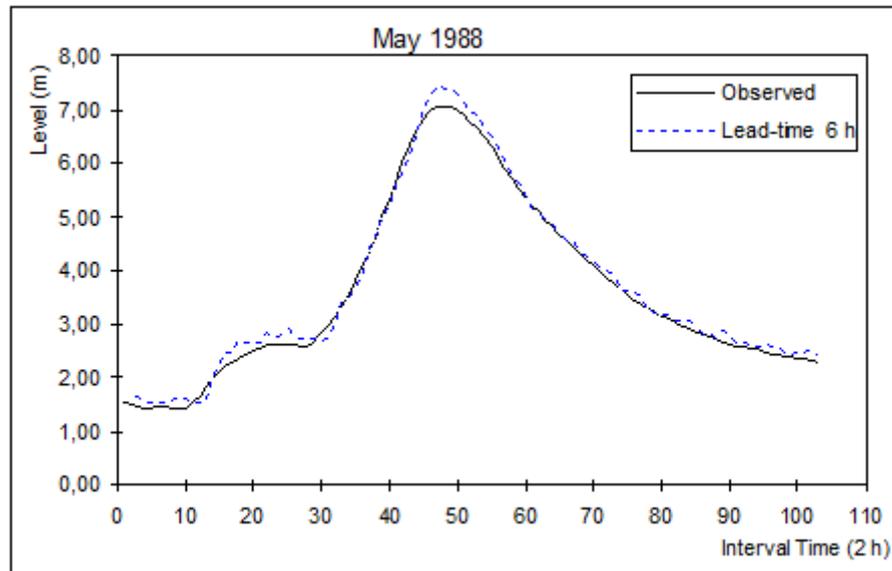
onde,

$\hat{Y}(t)$ = nível previsto para Blumenau,
 y = nível observado em Blumenau,
 u_1 = nível observado em Apiúna,
 u_2 = nível observado em Timbó,
 t = Tempo (1, 2, 3,...)
 Obs: O intervalo de tempo é de 2 horas.

Fonte: Adaptado de Cordero et al. (1998).

Após a calibração, foi iniciada a fase de testes do modelo, utilizando os dados da enchente ocorrida em 1998. Na Figura 5 observa-se que a linha tracejada azul corresponde ao nível do rio que o modelo foi capaz de estimar com 6 horas de antecedência, já a linha preta indica o nível oficial do rio observado.

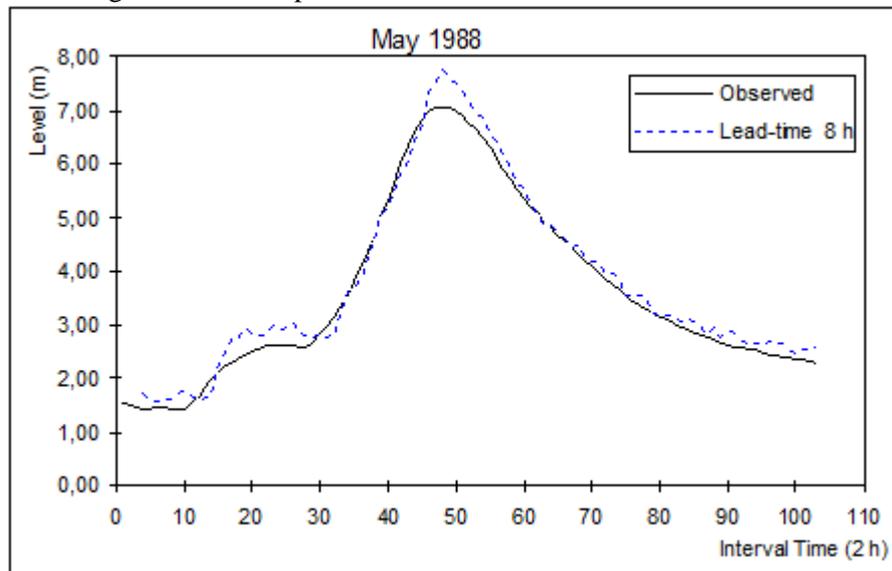
Figura 5 – Desempenho do modelo com 6 horas de antecedência



Fonte: Adaptado de Cordero et al. (1998).

Na Figura 6 é possível observar que a linha tracejada azul corresponde ao nível do rio que o modelo foi capaz de estimar com 8 horas de antecedência, já a linha preta indica o nível oficial do rio observado.

Figura 6 – Desempenho do modelo com 8 horas de antecedência



Fonte: Adaptado de Cordero et al. (1998).

2.3 TRABALHOS CORRELATOS

Nesta seção são apresentados os trabalhos correlatos. Na seção 2.3.1 é abordado o trabalho desenvolvido por Manchein (2014), cujo objetivo era desenvolver uma ferramenta baseada em sistemas especialistas para auxiliar no alerta e monitoramento de eventos de cheias e deslizamentos de encosta. Na seção 2.3.2, Momo et al. (2010) apresentam uma proposta de modernização do sistema de monitoramento e alerta da bacia do rio Itajaí. Na seção 2.3.3 é abordado o portal com informações para apoiar o sistema de alerta da bacia do Itajaí desenvolvido por Silva (2009).

2.3.1 Protótipo de um Sistema especialista para controle e alerta de desastres naturais

No protótipo de Manchein (2014), o principal objetivo era desenvolver um sistema especialista capaz de auxiliar o usuário da aplicação a ter um controle de alerta para desastres naturais na região da bacia hidrográfica do rio Itajaí. Para isso, foi criada uma base de conhecimento utilizando regras de produção. No levantamento realizado por Manchein foram mapeadas 96 regras de produção para enchentes e 109 regras para escorregamentos. Conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Regras de produção

```

regra8
  Se vegetacao = capoeira
  E cobertura vegetal = alta
  Entao vegetacaoValor = 2

regra39
  Se declividade >= 0 e declividade < 25
  E geotecnia = cortes e aterros
  Entao geotecniaValor = 2

regra53
  Se populacao >= 71 e populacao <= 105
  Entao populacaoValor = 3

regra104
  Se acumulado1h >= 100 e acumulado1h < 210
  E acumulado24h >= 0 e acumulado24h < 50
  E acumulado168h >= 210
  E previsao1h >= 40 e previsao1h < 80
  Entao valorChuva = 3

```

Fonte: Manchein (2014).

O trabalho de Manchein (2014) foi desenvolvido na linguagem de programação JAVA e para mecanismo de inferência foi utilizado o Java Embedded ObjectOriented Production Systems (JEOPS). Com o JEOPS as regras de produção foram organizadas dentro de uma

base de regras, assim como métodos em Java são organizados dentro de classes. No Quadro 2 é observado um exemplo de como as regras são criadas.

Quadro 2 – Criação de uma base de conhecimento

```
public ruleBase base_Enchente {  
  
    rule regra1 {  
        declarations  
            Enchente e;  
        conditions  
            e.getEstad().equalsIgnoreCase("Normal");  
            e.getAcumulado1h() >= 0 && e.getAcumulado1h() < 10;  
        actions  
            e.setValor1h(1);  
    }  
  
    rule regra2 {  
        declarations  
            Enchente e;  
        conditions  
            e.getEstad().equalsIgnoreCase("Normal");  
            e.getAcumulado1h() >= 10 && e.getAcumulado1h() < 30;  
        actions  
            e.setValor1h(1);  
    }  
  
    rule regra3 {  
        declarations  
            Enchente e;  
        conditions  
            e.getEstad().equalsIgnoreCase("Normal");  
            e.getAcumulado1h() >= 30 && e.getAcumulado1h() < 50;  
        actions  
            e.setValor1h(2);  
    }  
}
```

Fonte: Manchein (2014).

Para que o protótipo desenvolvido por Manchein (2014) consiga estimar a probabilidade de enchentes, o usuário precisa informar o estado atual do nível de risco, a quantidade em milímetros do acumulado na última hora, do acumulado nas últimas 24 horas e a previsão da quantidade de milímetros de chuva para a próxima hora, conforme o questionário apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Questionário enchente

Sistema para Controle e Alerta de Desastres Naturais

Administrador Usuário

Questionário Enchente Questionário Escorregamento

1. Qual o estado atual em nível de risco?

Normal Atencao Alerta Emergencia

2. Qual a quantidade em milímetros do acumulado de chuva na ultima hora?

21

3. Qual a quantidade em milímetros do acumulado de chuva nas ultimas 24 horas?

54

4. Qual a quantidade em milímetros da previsao de chuva para a proxima 1 hora?

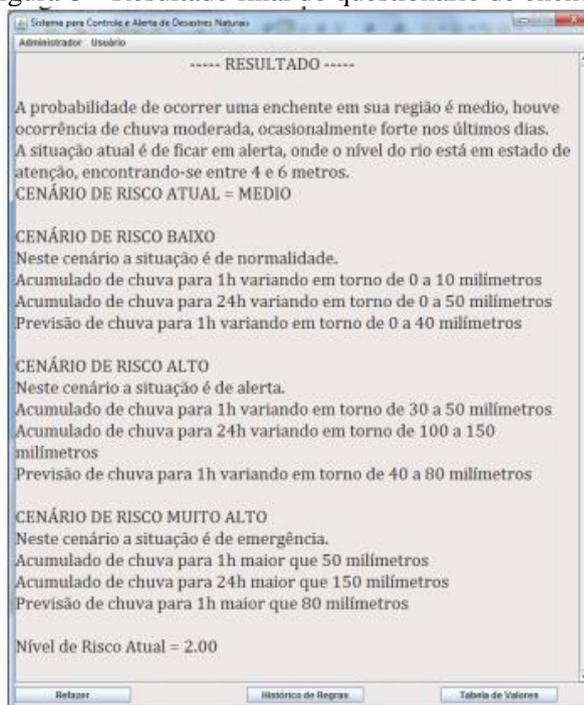
54

OK Limpar Voltar Informações

Fonte: Manchein (2014).

Após o informar os dados solicitados no questionário da aplicação, no momento em que o usuário clicar no botão OK, o sistema irá verificar qual regra melhor se encaixa para os dados informados. Após essa análise, o protótipo apresenta o resultado com as probabilidades de enchentes. Como apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Resultado final do questionário de enchente



Fonte: Manchein (2014).

2.3.2 Tecnologias da informação baseada em serviços, aplicadas em sistemas de monitoramento e alerta de eventos climáticos.

O trabalho desenvolvido por Momo et al. (2010), tem como objetivo modernizar o sistema de monitoramento de cheias e alerta da bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu. Para atingir o proposto, o autor implantou tecnologias baseadas em computação distribuída, a fim de apoiar nas atividades e na disponibilização das informações geradas pelo CEOPS. O banco de dados *PostgreSQL*, foi utilizado para armazenar as informações. Para gerenciamento de conteúdos do portal web do CEOPS foi utilizado o Joomla.

No portal estão disponibilizados diversos serviços, entre eles, consultas ao banco de dados hidrometeorológicos, as condições meteorológicas, previsão de chuva e temperatura. Conforme destaca Momo et al. (2010), para a comunidade civil estes serviços são importantes para redução de perdas materiais provocadas por fenômenos extremos tanto para Blumenau como para os municípios vizinhos, compreendendo uma população da ordem de 300 mil habitantes. Na Figura 9 é apresentado o portal do CEOPS. Na página em questão o autor mostra dados históricos do Centro de Operação da Bacia do Itajaí.

Figura 9 – Página com dados históricos do CEOPS



Fonte: Momo et al. (2010).

Além do portal supracitado, foi desenvolvida uma interface que prevê a subida do nível do rio para 2, 4, 6 e 8 horas de antecedência. O usuário informa os dados de telemetria de Rio do Sul, Ituporanga e Taió. Após os dados serem inseridos, ao clicar no botão gerar projeções, o sistema calcula o nível estimado para as próximas horas para a cidade de Rio do Sul, conforme Figura 10.

Figura 10 – Interface para previsão do nível do rio em Rio do Sul

The screenshot shows a web application window titled "Previsão para Rio do Sul". It contains several input fields and buttons. At the top, there are fields for "Data:" and "Hora:". Below these, there are input fields for "Rio do Sul" and "Ituporanga", each with a dropdown menu and a "Atual" button. To the right of these fields is a "Gerar Projeções" button. Below the "Ituporanga" field, there are input fields for "Taió" and a "Atual" button. At the bottom, there is a section titled "PREVISÃO PARA RIO DO SUL" with buttons for "2 horas", "4 horas", "6 horas", and "8 horas", along with "Limpar Dados" and "Sair" buttons.

Fonte: Momo et al. (2010)

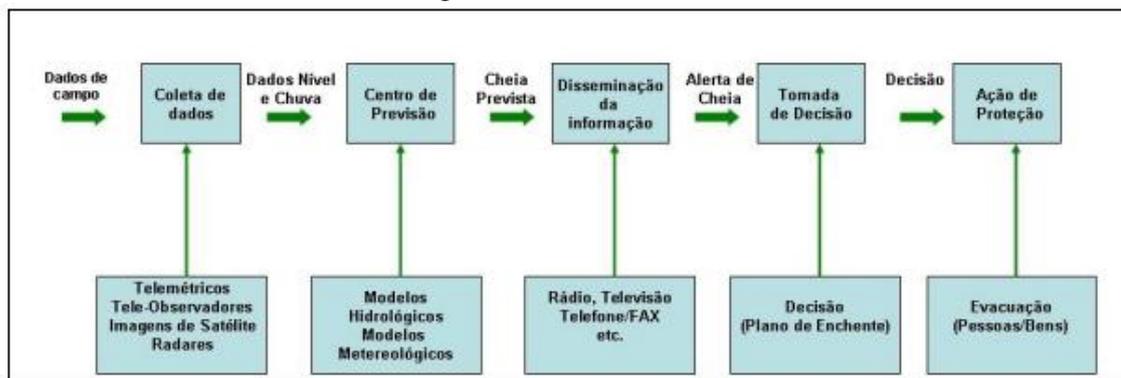
Como conclui o autor, neste trabalho foi apresentada uma proposta que visa a modernização do Sistema de Monitoramento e Alerta da Bacia do Rio Itajaí, utilizando ferramentas para apoiar o sistema de monitoramento e alerta de cheias. Como afirmam Momo et al. (2010), o trabalho desenvolvido é um exemplo de como ferramentas de apoio são fundamentais para minimizar os impactos ocorridos por enchentes.

2.3.3 Sistema de informações para apoiar o sistema de alerta da bacia do Itajaí.

O trabalho desenvolvido por Silva (2009) visa organizar as informações geradas pela rede de monitoramento da bacia do Itajaí, com o intuito de auxiliar no processo de tomada de decisão na previsão de catástrofes ambientais no vale do Itajaí. Ao disponibilizar os dados em um portal na internet, permitiu um fácil acesso as informações de telemetria para que os especialistas do CEOPS emitam boletins com a situação do nível do rio. Os resultados obtidos foram apresentados de forma tabular e gráfica.

Para atingir ao objetivo proposto, Silva (2009) realizou um levantamento do processo atual por meio de entrevistas com os especialistas do CEOPS, após o levantamento do cenário representado pela Figura 11 o autor constatou que existe um gargalo de distribuição de informações, pois, os dados são disseminados por meios que deixam a integração dos dados morosa, retardando a tomada de decisão dos especialistas do CEOPS.

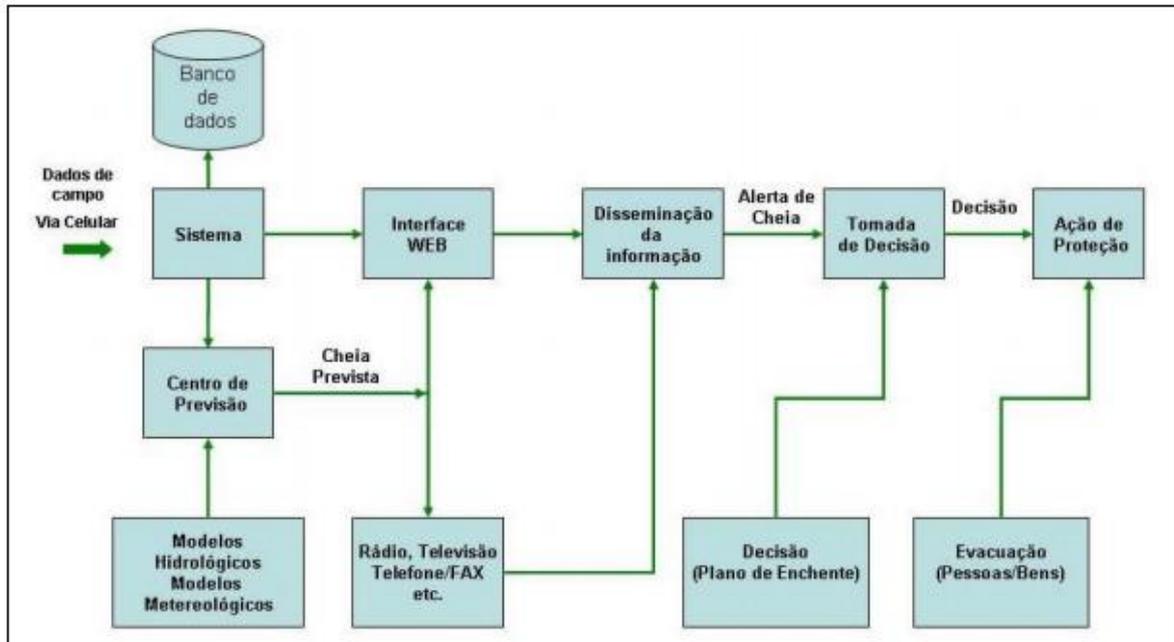
Figura 11 – Processo atual



Fonte: Silva (2009).

No fluxo proposto por Silva (2009) visto na Figura 12 o autor propõe a criação de uma segunda forma de integração dos dados coletados, através de um sistema com interface web para distribuir os dados. Conforme afirma o autor com a reformulação do fluxo será possível disponibilizar de forma ágil e confiável as informações coletadas para auxiliar a equipe do CEOPS na tomada de decisão. Além da melhora na forma de distribuição dos dados o autor inclui na reformulação a criação de uma base dados, para que seja criada uma base histórica dos dados de telemetria do Vale do Itajaí.

Figura 12 – Processo proposto



Fonte: Silva (2009).

Na Figura 13 é apresentado um mapa com a localização das estações telemétricas do CEOPS. Cada estação é representada por uma bandeira. A cor da bandeira é definida de acordo com as regras de estado do CEOPS. Cada estação telemétrica possui sua regra para definir seu estado atual. Os valores possíveis são: sem regra, normal, atenção, alerta e emergência.

3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo são demonstradas as etapas de desenvolvimento do SAME. Na primeira seção é apresentado os requisitos funcionais e não funcionais. Na segunda seção demonstra a especificação do sistema utilizando o Unified Modeling Language (UML). A terceira seção apresenta trechos com maior relevância na codificação. Na quarta seção são apresentadas as principais telas do portal. Por fim, na quinta seção temos a análise dos resultados obtidos.

3.1 REQUISITOS

Em seguida estão listados os requisitos do portal SAME. Eles estão categorizados em requisitos funcionais (RF) e requisitos não funcionais (RNF). Os requisitos do SAME são:

- a) coletar os dados da telemetria do CEOPS (Requisito Funcional - RF);
- b) permitir gerenciar os usuários que terão acesso ao portal (RF);
- c) permitir criar e editar os modelos ARMAX que irão prever o nível do rio nos pontos de estudo (RF);
- d) apresentar gráficos com os dados observados nas estações de telemetria e dados simulados com a previsão do nível para as próximas 6 e 8 horas (RF);
- e) permitir exportar os gráficos em arquivo PDF (RF);
- f) armazenar as previsões e comparar com o resultado real para que seja possível validar a eficiência do modelo ARMAX (RF);
- g) manter estimativa de previsor (RF);
- h) consultar dados de telemetria incorretos (RF);
- i) apresentar gráfico comparativo entre o nível registrado, previsor e modelo ARMAX (RF);
- j) manter parâmetros do portal (RF)
- k) ser desenvolvido em plataforma web (Requisito Não Funcional – RNF);
- l) utilizar os modelos matemáticos ARMAX para simulação dos dados (RNF);
- m) utilizar o banco de dados PostgreSQL (RNF);
- n) utilizar a linguagem de programação C# (RNF).

3.2 ESPECIFICAÇÃO

Nesta seção são apresentados os artefatos de especificação do SAME. Foram definidos os seguintes diagramas da UML: matriz de rastreabilidade, diagrama de casos de uso e o

diagrama de classe. Todos foram desenvolvidos utilizando a ferramenta Enterprise Architect (EA).

3.2.1 Matriz de rastreabilidade

O Quadro 3 apresenta os requisitos funcionais previstos para o portal e sua rastreabilidade com os casos de uso associados.

Quadro 3 - Matriz de rastreabilidade

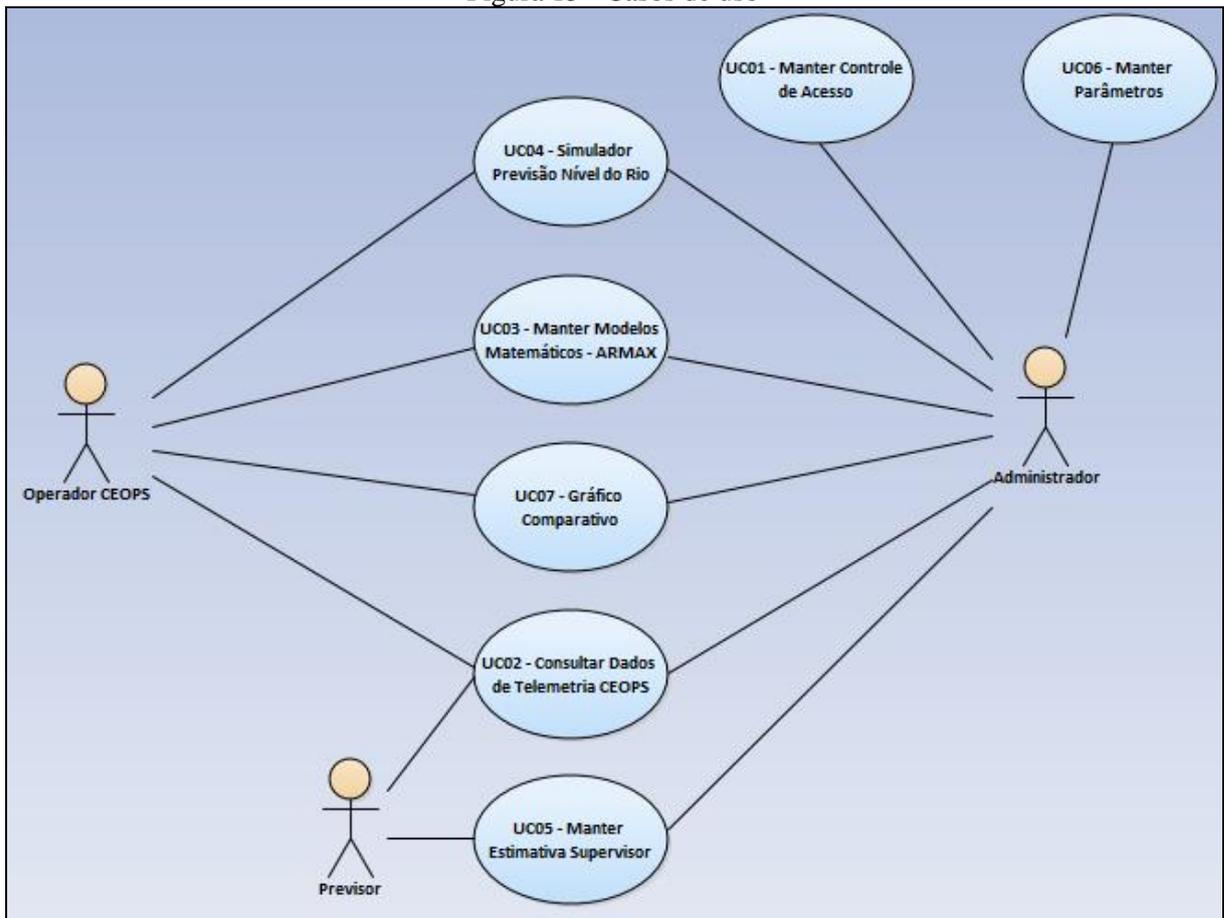
Requisitos Funcionais (RF)	Casos de Uso
RF01: coletar os dados da telemetria do CEOPS	UC02
RF02: permitir gerenciar os usuários que terão acesso ao portal	UC01
RF03: permitir criar e editar os modelos ARMAX que irão prever o nível do rio nos pontos de estudo	UC03
RF04: apresentar gráficos com os dados observados nas estações de telemetria e dados simulados com a previsão do nível para as próximas 6 e 8 horas	UC04
RF05: permitir gerar os gráficos em arquivo PDF	UC04 e UC07
RF06: armazenar as previsões e comparar com o resultado real para que seja possível validar a eficiência do modelo ARMAX	UC04
RF07: manter estimativa de previsor	UC05
RF08: consultar dados de telemetria incorretos	UC02
RF09: apresentar gráfico comparativo entre o nível registrado, previsor e modelo ARMAX	UC07
RF10: manter parâmetros do portal	UC06

Fonte: elaborado pelo autor.

3.2.2 Diagrama de Casos de Uso

Esta subseção mostra o diagrama de casos de uso do portal SAME. Existem 3 atores que são caracterizados como: *Administrador*, *Operador CEOPS* e *Previsor*. O usuário do tipo *Administrador* tem acesso a todas as funcionalidades do sistema, bem como, cadastrar novos usuários e alterar parametrizações. O ator do *Operador CEOPS* tem acesso às funcionalidades que compreendem a utilização do modelo matemático ARMAX. Usuários do tipo *Previsor* terão acesso a parte do portal que cabe cadastrar as estimativas. Como visto na Figura 15 apresenta-se o diagrama de casos de uso.

Figura 15 - Casos de uso



Fonte: elaborado pelo autor.

3.2.3 Diagrama de Classes

Na Figura 16 é apresentado o diagrama de classes do trabalho desenvolvido. O diagrama está dividido em 4 partes macro: Modelo ARMAX, Previsor, Dados Telemetria CEOPS e Configurações Portal.

O modelo matemático do tipo ARMAX está mapeado em duas classes, a `Modelo` e a `ModeloVariavelTempo`. A classe `Modelo` contém informações de cabeçalho do modelo como o seu nome, sua lista de variáveis de tempo e a estação alvo, ou seja, a estação que terá a estimativa de previsão do nível. A classe `Modelo` tem uma lista de `ModeloVariavelTempo`, onde cada uma dessas variáveis contém informações que serão levadas em consideração ao executar este modelo matemático.

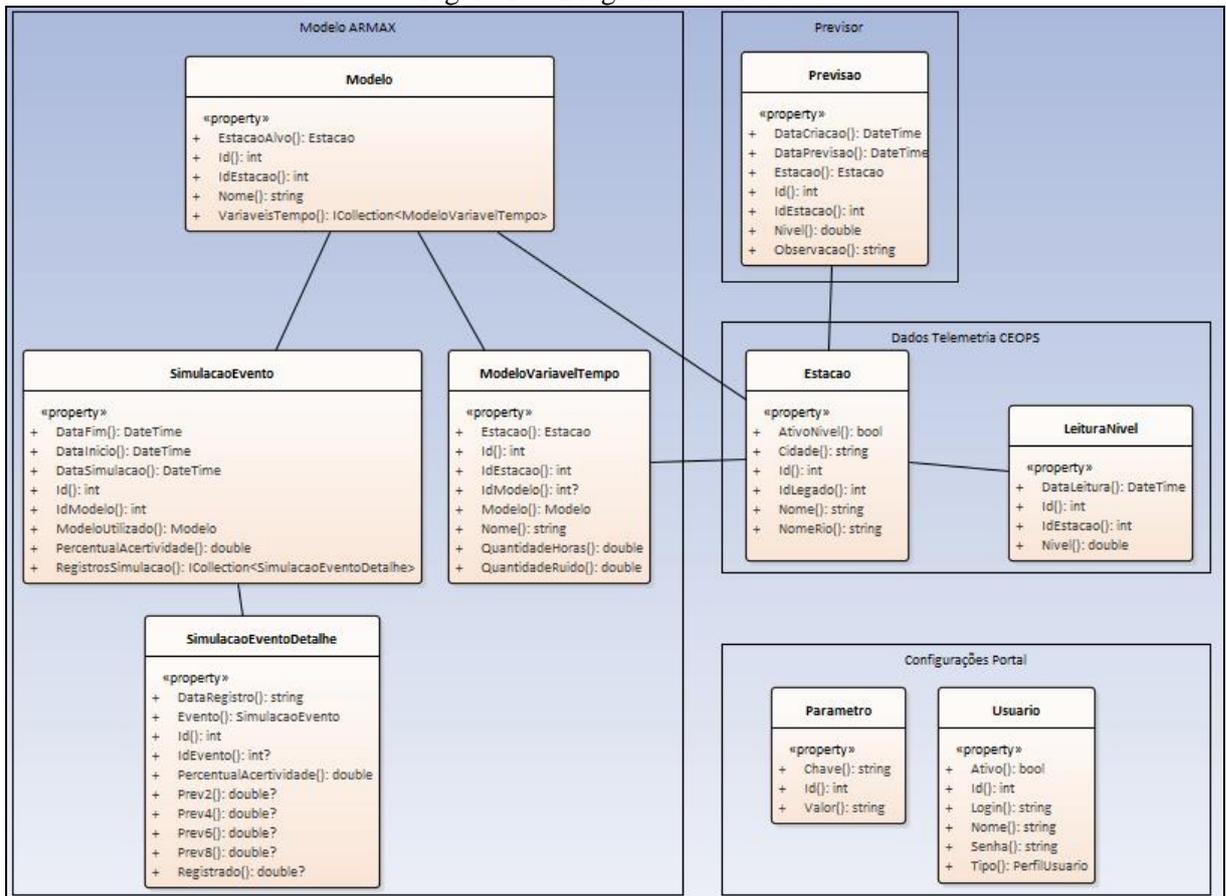
As classes `SimulacaoEvento` e `SimulacaoEventoDetalhe` são utilizadas na simulação de um evento de cheia dentro do portal SAME. Essas classes contêm informações que serão geradas a partir de um modelo matemático escolhido dentro do sistema, ou seja, o usuário escolhe o modelo que deseja executar e um período de datas. Com essas informações é iniciada a simulação do evento e armazenada para futuras análises.

A classe `Previsao` é utilizada no módulo previsor do portal. No CEOPS existem especialistas em realizar estimativas do nível do rio utilizando diversas informações e seu expertise. Essas estimativas são inseridas no portal através do modelo previsor.

Para deixar dinâmico o portal SAME, foi criado um modelo de configurações, onde estão presentes as classes `Parametro` e `Usuario`. A Entidade `Parametro` contém parametrizações permitindo alterar algumas configurações dentro do sistema. A classe `Usuario` é utilizada para manter o controle de acesso do SAME.

Diversos módulos do sistema utilizam os dados de telemetria do CEOPS para realizar cálculos, simulações, consultas, entre outros. Esses dados estão mapeados nas classes `Estacao` e `LeituraNivel`, onde `Estacao` contém informações das estações do CEOPS e `LeituraNivel` os respectivos dados de telemetria de cada estação.

Figura 16 - Diagrama de Classes



Fonte: elaborado pelo autor.

3.3 IMPLEMENTAÇÃO

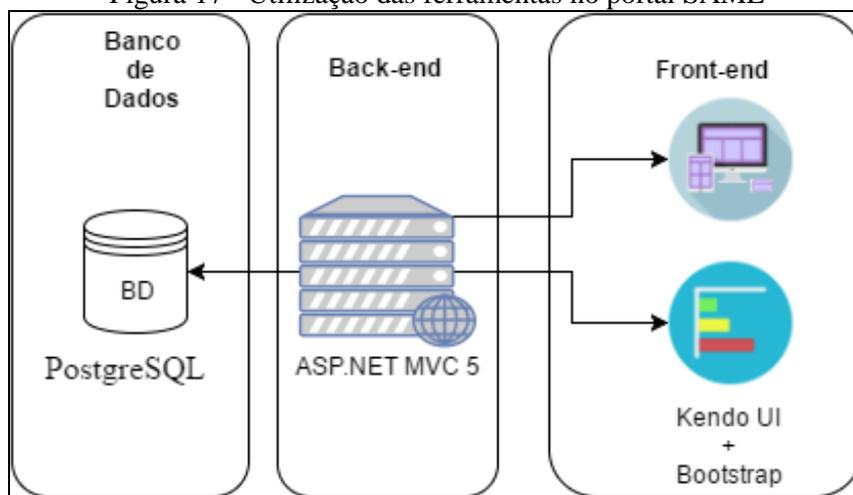
A seguir são mostradas as técnicas, ferramentas utilizadas e trechos de implementação relevantes para o portal SAME.

3.3.1 Técnicas e ferramentas utilizadas

O portal SAME foi desenvolvido na linguagem de programação C# (C-Sharp) na IDE Microsoft Visual Studio 2015. A plataforma é web e a arquitetura utilizada é a ASP.NET MVC 5. As grids e os gráficos foram feitos utilizando um pacote de bibliotecas chamado Kendo UI. O Framework Bootstrap foi usado para criar o layout do portal. Para armazenar os dados do SAME foi utilizado o Banco de dados PostgreSQL.

A Figura 17 demonstra como cada ferramenta é utilizada no sistema. O portal SAME é dividido em três partes: banco de dados, back-end e front-end.

Figura 17 - Utilização das ferramentas no portal SAME



Fonte: elaborador pelo autor.

3.3.2 Coleta dos dados de telemetria

O CEOPS coleta os dados de telemetria de atualmente em 17 estações. Esses dados são coletados a cada 15 minutos e ficam armazenados localmente na estação para serem enviados ao servidor do CEOPS em intervalos de uma hora. Todos esses dados são coletados e armazenados em um banco de dados do CEOPS, criando uma base de dados unificada com todas as estações de telemetria. Essas informações são utilizadas para análise da equipe interna do CEOPS e subsidiam os estudos científicos realizados na área de hidrometeorologia.

Essa base é utilizada para fornecer os dados usados na simulação e na previsão do nível do rio com o modelo matemático ARMAX. Para coletar os dados, foi realizado o mapeamento da tabela do banco de dados do CEOPS conforme visto no Quadro 4. Após o mapeamento, todos os dados de telemetria ficam disponíveis para consumo na Classe `LeituraNivel`.

Quadro 4 - Mapeamento tabela com os dados de telemetria do CEOPS

```

public LeituraNivelMap()
{
    ToTable("dados", "public");
    Property(col => col.Id).HasColumnName("cd_dado");
    Property(col => col.IdEstacao).HasColumnName("cd_estacao");
    Property(col => col.DataLeitura).HasColumnName("dt_leitura");
    Property(col => col.Nivel).HasColumnName("vlr_nivel");
}

```

Fonte: elaborador pelo autor.

No Quadro 5 é mostrado como é feita a consulta dos dados de telemetria de uma estação. O parâmetro `idEstacaoLegado` do método `BuscaDadosCEOPS` é o código da estação na tabela de estações da base de dados legado do CEOPS.

Quadro 5 - Busca dos dados na base legado do CEOPS

```

public IEnumerable<LeituraNivelDto> BuscaDadosCEOPS(int? idEstacaoLegado, DateTime? dataInicio, DateTime? dataFim)
{
    try
    {
        var dados = contexto.LeituraNivelRepositorio.Where(f => f.DataLeitura >= dataInicio
                                                            && f.DataLeitura <= dataFim
                                                            && f.IdEstacao == idEstacaoLegado);

        return Mapper.Map<IEnumerable<LeituraNivel>, IEnumerable<LeituraNivelDto>>(dados);
    }
    catch (Exception ex)
    {
        throw new Exception("Erro ao buscar os dados da estação: " + idEstacaoLegado, ex);
    }
}

```

Fonte: elaborador pelo autor.

Para garantir a flexibilidade do portal e a independência da base legado já existente no CEOPS, o usuário cadastra a estação no SAME e informa qual o código legado da tabela de estações do CEOPS. Dessa forma quando houver alguma troca código de estação no banco do CEOPS, será necessário apenas um simples ajuste no cadastro de estações do SAME, evitando alterações em código.

3.3.3 Cadastro dos modelos ARMAX

O SAME foi modelado de modo que seja possível cadastrar inúmeros modelos matemático do tipo ARMAX. A Figura 18 representa como um modelo ARMAX é cadastrado no portal SAME, para exemplificar foi utilizado o modelo de Rio do Sul.

Figura 18- Cadastro de Modelos

Editar Modelo ← Voltar para listagem

Nome: *

Valor Erro: *

Estação Alvo:

Variáveis do Modelo + Nova Variável

Nome da Variável	Estação da Variável	Defasagem (Horas)	Coefficiente
T-1	Rio do Sul	2	1.245
T-2	Rio do Sul	4	-0.2513
T-4	Ituporanga	8	0.4141
T-5	Ituporanga	10	-0.3637
T-5	Taió 7328	10	0.06747
T-6	Taió 7328	12	-0.06861

10 registros por página Apresentando 1 de 6. Total de registros: 6.

✓ Salvar

Fonte: elaborado pelo autor.

Um modelo é composto pela estação onde se espera prever o nível do rio, essa estação é chamada de Estação Alvo, pelo Valor Erro, esse valor erro corresponde as variações que não podem ser previstas na fórmula, como erosão da encosta do rio, maior quantidade de chuva em uma determinada região, entre outros. O modelo é composto por n variáveis e onde cada variável tem como principais informações: a estação, o tempo de defasagem em horas e seu coeficiente. A informação de estação corresponde a qual estação de telemetria do CEOPS os dados serão coletados. A defasagem de horas significa a quantidade de horas retroativas que o modelo levará em consideração, ou seja, hora atual menos a quantidade de horas informada para a respectiva variável. O coeficiente corresponde ao valor calibrado para a variável em questão.

3.3.4 Previsão do nível do rio

No módulo de modelos ARMAX é possível realizar a previsão do nível do rio de duas formas. A primeira utilizando o simulador de evento, que é mais voltado para a simulação de um evento de cheia encerrado, ou seja, um período histórico onde já se tem a informação do início e fim da enchente. A segunda é pelo painel de simulação, que deve ser utilizada para gerar as projeções durante uma enchente. Servindo como um painel que aponta o estágio atual do nível do rio e a situação para as próximas 8 horas.

No Quadro 6 a seguir é apresentado o principal trecho de código que implementa o modelo matemático ARMAX. O primeiro passo para implementar o modelo é calcular o nível do rio para as próximas duas horas como visto na linha 3. Na variável `prev2Calc` é armazenada essa estimativa. Para calcular o nível com quadro horas de antecedência é utilizado a previsão de duas horas que foi calculada na instrução anterior, como visto na linha 12. Na previsão dos níveis com 6 e 8 horas de antecedência segue a mesma lógica de utilizar o valor anteriormente calculado como vistos nas linhas 27, 31, 45 e 49. Existem casos em que a quantidade de horas retroativas usadas na fórmula (informação parametriza no modelo) é superior à previsão já calculada, nesse caso é feita uma busca na base para recuperar essa informação como visto nas linhas 16, 35 e 53.

Quadro 6 - Implementação do modelo ARMAX

```

1 foreach (var varModelo in ListaEstacoesVariavel)
2 {
3     prev2Calc += (varModelo.QuantidadeRuido *
4                 varModelo.ListaDadosRegistrados.Where(a => a.DataLeitura == item.DataLeitura
5                                                         .AddHours(-(varModelo.QuantidadeHoras * 2)))
6                                                         .FirstOrDefault()?.Nivel) ?? 0;
7 }
8 foreach (var varModelo in ListaEstacoesVariavel)
9 {
10    if (varModelo.QuantidadeHoras == 1)
11    {
12        prev4Calc += (varModelo.QuantidadeRuido * prev2Calc) ?? 0;
13    }
14    else
15    {
16        prev4Calc += (varModelo.QuantidadeRuido *
17                    varModelo.ListaDadosRegistrados.Where(a => a.DataLeitura == item.DataLeitura
18                                                            .AddHours(-(varModelo.QuantidadeHoras * 2)))
19                                                            .FirstOrDefault()?.Nivel) ?? 0;
20    }
21 }
22 }
23 foreach (var varModelo in ListaEstacoesVariavel)
24 {
25    if (varModelo.QuantidadeHoras == 1)
26    {
27        prev6Calc += (varModelo.QuantidadeRuido * prev4Calc) ?? 0;
28    }
29    else if (varModelo.QuantidadeHoras == 2)
30    {
31        prev6Calc += (varModelo.QuantidadeRuido * prev2Calc) ?? 0;
32    }
33    else
34    {
35        prev6Calc += (varModelo.QuantidadeRuido * varModelo.ListaDadosRegistrados.Where(a => a.DataLeitura == item.DataLeitura
36                                                            .AddHours(-(varModelo.QuantidadeHoras * 2)))
37                                                            .FirstOrDefault()?.Nivel) ?? 0;
38    }
39 }
40 }
41 foreach (var varModelo in ListaEstacoesVariavel)
42 {
43    if (varModelo.QuantidadeHoras == 1)
44    {
45        prev8Calc += (varModelo.QuantidadeRuido * prev6Calc) ?? 0;
46    }
47    else if (varModelo.QuantidadeHoras == 2)
48    {
49        prev8Calc += (varModelo.QuantidadeRuido * prev4Calc) ?? 0;
50    }
51    else
52    {
53        prev8Calc += (varModelo.QuantidadeRuido * varModelo.ListaDadosRegistrados.Where(a => a.DataLeitura == item.DataLeitura
54                                                            .AddHours(-(varModelo.QuantidadeHoras * 2)))
55                                                            .FirstOrDefault()?.Nivel) ?? 0;
56    }
57 }
58 }

```

Fonte: elaborado pelo autor.

3.3.5 Leitura de dados inconsistentes

Ao realizar consultas na base de dados do CEOPS, foi notado a existência de leituras incorretas. Foram encontrados valores negativos e alternâncias discrepantes em um curto período de tempo, como mudanças de nível do rio em mais de um metro, em apenas alguns

minutos. Esses valores inconsistentes se não fossem tratados, poderiam gerar uma previsão distorcida. No Quadro 7 é mostrado o trecho de código onde trata-se essa situação. Na variável `horasErro` é armazenado a hora que está incorreta. Inicia-se uma interação que busca um valor correto mais próximo do horário inconsistente, quando encontrado é atualizado na propriedade `Nivel` do objeto `varModeloDados`.

Quadro 7 - Tratamento de leituras inconsistentes

```
foreach (var varModelo in ListaEstacoesVariavel)
{
    foreach (var varModeloDados in varModelo.ListaDadosRegistrados.Where(p => p.Nivel < 0))
    {
        int horasErro = varModeloDados.DataLeitura.Hour;
        for (int minutos = 1; varModeloDados.Nivel < 0; minutos++)
        {
            var nivelRegistrado = contexto.LeituraNivelRepositorio.Where(a => a.IdEstacao == varModeloDados.IdEstacao
                && a.DataLeitura.Year == varModeloDados.DataLeitura.Year
                && a.DataLeitura.Month == varModeloDados.DataLeitura.Month
                && a.DataLeitura.Day == varModeloDados.DataLeitura.Day
                && a.DataLeitura.Hour == horasErro
                && a.DataLeitura.Minute == minutos * 15).FirstOrDefault()?.Nivel;

            if (nivelRegistrado != null && nivelRegistrado > 0)
            {
                varModeloDados.Nivel = nivelRegistrado.Value;
            }
            if (minutos > 2)
            {
                minutos = 0;
                horasErro++;
            }
        }
    }
}
```

Fonte: elaborado pelo autor.

Para auxiliar os operadores do CEOPS a identificar registros inconsistentes, foi criada uma consulta de valores incorretos. O Quadro 8 mostra como são identificadas as leituras inconsistentes, As variáveis `dataInicio`, `dataFim` e `idEstacao` são informadas na tela e servem como filtro na base de dados do CEOPS. Os dados coletados de acordo com o filtro informado, são armazenados na lista `dadosTelemetriaCEOPS`. A variável `qtdMetrosAlternancia` também é informada na tela e recebe a quantidade de metros que será considera como uma alteração suspeita. Os dados listado em `dadosTelemetriaCEOPS` passam por 3 verificações. A primeira verifica se existe um aumento maior que a quantidade de metros informada na tela. A segunda verificação valida se há uma diminuição maior que a quantidade informada inicialmente. Por fim é adicionado à lista de leituras suspeitas caso o nível seja negativo. Na lista `dadosSuspeitos` serão armazenadas as leituras suspeitas e carregadas para a tela.

Quadro 8 - Trecho do código onde é analisado as leituras suspeitas

```

var dadosTelemetriaCEOPS = contexto.LeituraNivelRepositorio.Where(f => f.DataLeitura >= dataInicio
                                                                    && f.DataLeitura <= dataFim
                                                                    && f.IdEstacao == idEstacao);

var dadosSuspeitos = new List<LeituraNivel>();

int contador = -1;
foreach (var item in dadosTelemetriaCEOPS)
{
    if (contador >= 0)
    {
        if (item.Nivel - dadosTelemetriaCEOPS[contador].Nivel >= qtdMetrosAlternancia)
        {
            dadosSuspeitos.Add(dadosTelemetriaCEOPS[contador]);
            dadosSuspeitos.Add(item);
        }
        else if (item.Nivel - dadosTelemetriaCEOPS[contador].Nivel <= qtdMetrosAlternancia * -1)
        {
            dadosSuspeitos.Add(dadosTelemetriaCEOPS[contador]);
            dadosSuspeitos.Add(item);
        }
        else if (item.Nivel < 0)
        {
            dadosSuspeitos.Add(item);
        }
    }
    contador++;
}

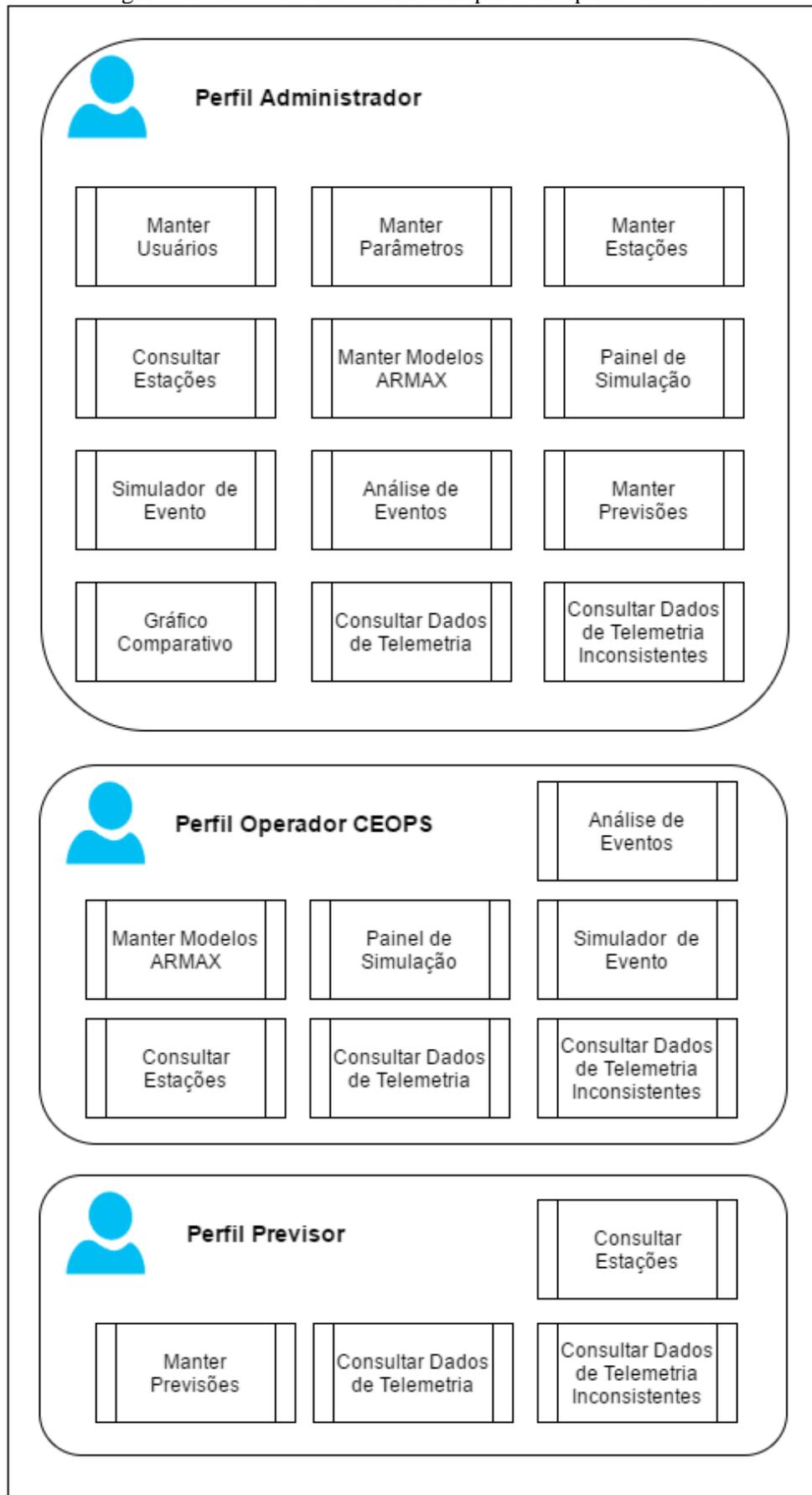
```

Fonte: elaborado pelo autor.

3.3.6 Operacionalidade da implementação

Nesta seção são apresentadas as funcionalidades do portal SAME. Existem 3 perfis de acesso, Administrador, Operador CEOPS e Previsor como visto na Figura 19. O usuário do tipo Previsor tem acesso as funcionalidades de previsão, o Operador CEOPS tem acesso a parte que compreende os modelos matemáticos do tipo ARMAX, já o tipo de usuário Administrador tem acesso a todas as funcionalidades do portal SAME.

Figura 19 - Lista das funcionalidades para cada perfil de acesso



Fonte: elaborado pelo autor.

3.3.6.1 Tela de login

A tela de login do portal é apresentada na Figura 20, exige que seja informado um usuário e senha. Ao clicar em **Entrar**, o sistema valida se o usuário está cadastrado e se a senha está correta.

Figura 20 - Tela de login SAME



A tela de login do sistema SAME apresenta o seguinte layout:

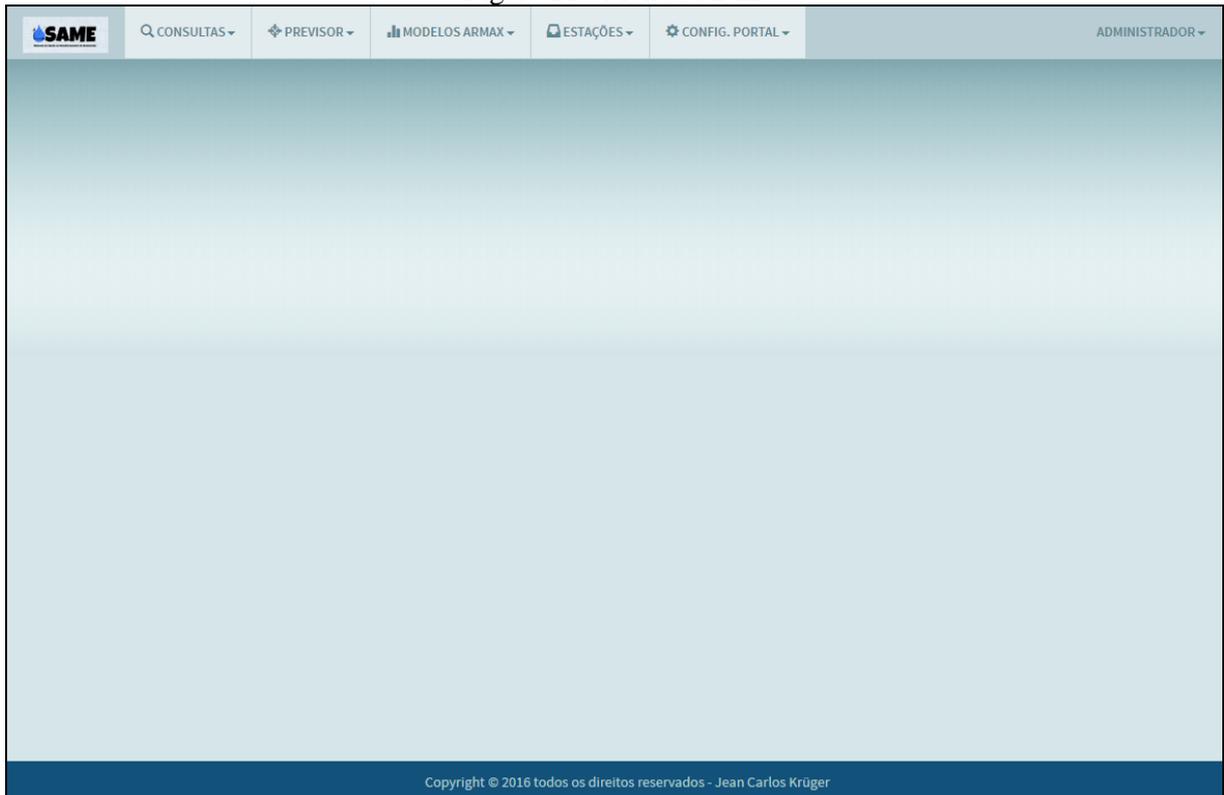
- Logo do sistema: uma gota azul com um gráfico de linha e setas, seguida pela palavra **SAME** em letras maiúsculas e negritadas.
- Subtítulo: **Sistema de Apoio ao Monitoramento de Enchentes**.
- Formulário de login com dois campos de entrada: **Usuário** e **Senha**.
- Botão de login: **Entrar**.
- Rodapé: Copyright © 2016 todos os direitos reservados - Jean Carlos Krüger.

Fonte: elaborador pelo autor.

3.3.6.2 Menu do sistema

Após logar na aplicação, é gerado um token de acesso com as funcionalidades que estão liberadas para o perfil de usuário logado. Na Figura 21 é mostrado o menu principal com um usuário do tipo Administrador, perfil esse que permite acesso a todas as funcionalidades do sistema.

Figura 21 - Menu SAME



Fonte: elaborado pelo autor.

3.3.6.3 Manter usuários

Na Figura 22 é apresentada a tela de consulta dos usuários. A tela informa todos os usuários cadastrados no SAME e suas respectivas informações, como o nome, login, status, entre outros. Ao clicar sobre um registro, é direcionado à tela de Edição vista na Figura 23. Nesta tela é possível atualizar os dados do usuário, alterar o perfil de acesso ou inativar seu acesso ao SAME.

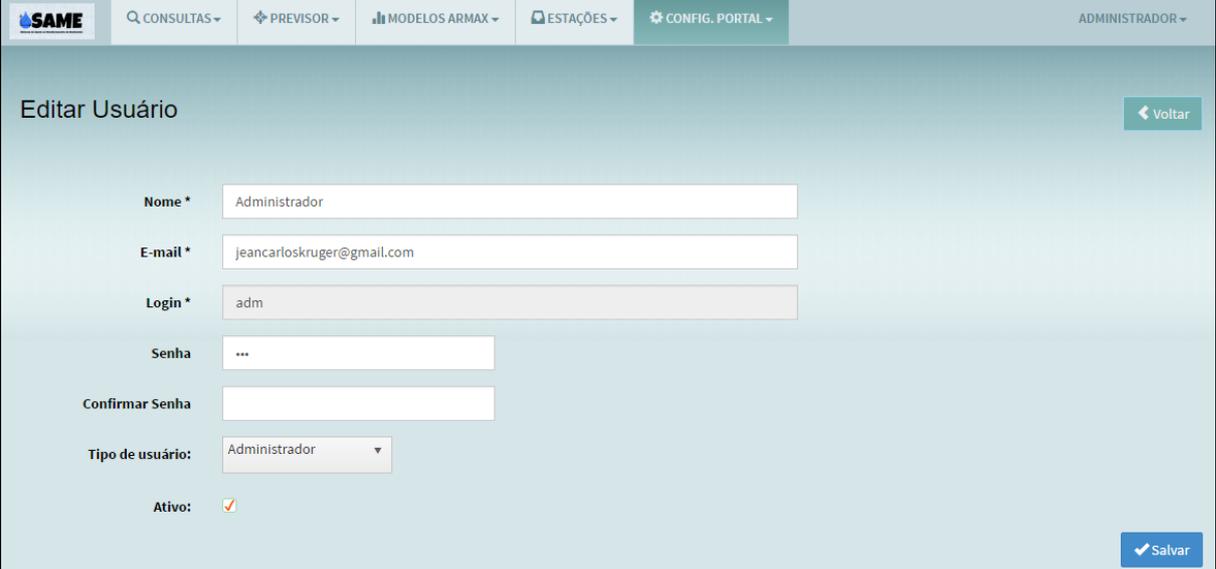
Figura 22 - Manter usuários



Nome	Login	Perfil	Ativo
Usuário teste 2	usr2	Previsor	Não
aaaaaaaa	qqq	Previsor	Não
Administrador	adm	Administrador	Sim

Fonte: elaborador pelo autor.

Figura 23 - Tela com os detalhes do usuário



Nome * Administrador

E-mail * jeancarloskruger@gmail.com

Login * adm

Senha *

Confirmar Senha *

Tipo de usuário: Administrador

Ativo:

Fonte: elaborador pelo autor.

3.3.6.4 Manter parâmetros

Na tela de edição dos parâmetros visto na Figura 24, é possível alterar configurações dentro do SAME. Desse modo o sistema se torna dinâmico, pois permite que o usuário ajuste os parâmetros de acordo com suas necessidades. Todos os parâmetros do portal SAME estão listados nessa tela.

Figura 24 - Tela de manter parâmetros

Chave	Valor
Tempo (segundos) de refresh do simulador	30

Fonte: elaborador pelo autor.

3.3.6.5 Manter estações

As estações usadas nas consultas, modelos ARMAX e previsões, são cadastradas nessa tela, como visto na Figura 25. No campo Código Estação Legado é armazenado o código de identificação da estação na base do CEOPS. Esse código é utilizado para buscar os dados de telemetria na base legado do CEOPS. O cadastro dinâmico dessa informação permite que seja possível cadastrar novas estações e ainda alterar o identificador atual, como já foi visto que ocorre na base legado.

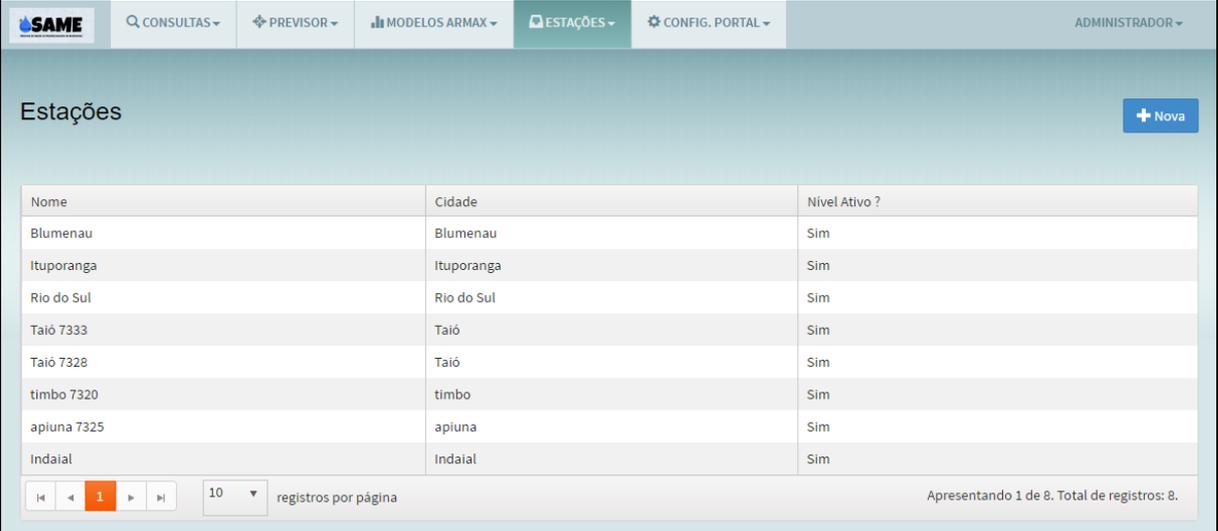
Figura 25 - Tela de manter estação

Fonte: elaborador pelo autor.

3.3.6.6 Consultar estações

Na Figura 26 apresenta-se a tela de consulta das estações, nesta tela é possível verificar todas as estações cadastradas e suas respectivas informações.

Figura 26 - Tela consulta de estações



Nome	Cidade	Nível Ativo ?
Blumenau	Blumenau	Sim
Ituporanga	Ituporanga	Sim
Rio do Sul	Rio do Sul	Sim
Taió 7333	Taió	Sim
Taió 7328	Taió	Sim
timbo 7320	timbo	Sim
apiuna 7325	apiuna	Sim
Indaial	Indaial	Sim

10 registros por página

Apresentando 1 de 8. Total de registros: 8.

Fonte: elaborador pelo autor.

3.3.6.7 Manter modelos ARMAX

A tela de cadastro de um modelo ARMAX é mostrada na Figura 27. Nessa tela é cadastrado o modelo matemático ARMAX e suas variáveis. Para visualizar os detalhes da variável é necessário clicar sobre a linha da grid variáveis ou clicar no botão *Nova Variável* para ser direcionado a tela de variável do modelo, como visto na Figura 28.

Figura 27 - Tela de cadastro do modelo ARMAX

Editar Modelo ← Voltar para listagem

Nome: *

Valor Erro: *

Estação Alvo:

Variáveis do Modelo + Nova Variável

Nome da Variável	Estação da Variável	Defasagem (Horas)	Coeficiente
t-1	Blumenau	2	1.98063
t-2	Blumenau	4	-0.98506
t-4	apiuna 7325	8	-0.092
t-5	apiuna 7325	10	0.08732
T-4	timbo 7320	8	0.01806
T-5	timbo 7320	10	-0.01411

10 registros por página Apresentando 1 de 6. Total de registros: 6.

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 28 - Tela de cadastro da variável do modelo ARMAX

Edição de Variável do Modelo ← Voltar para Modelo

Nome: *

Estação Var: *

Defasagem (Horas): *

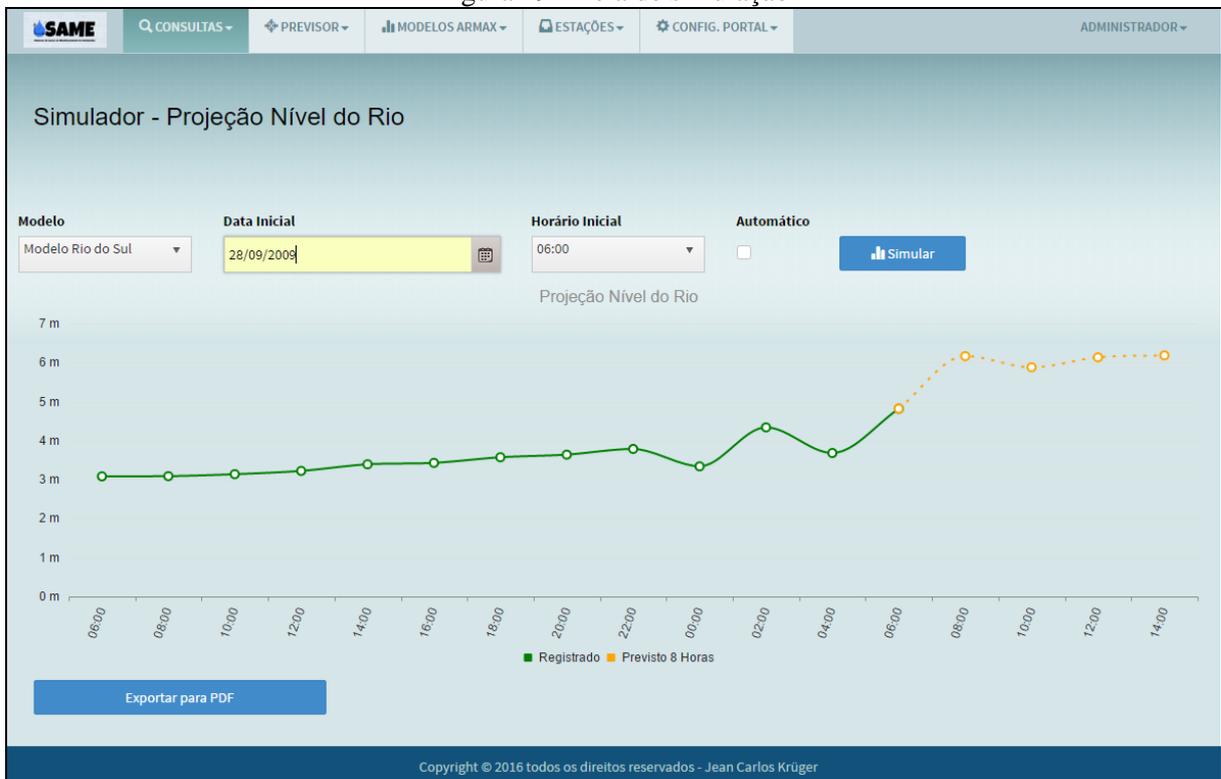
Coeficiente: *

Fonte: elaborado pelo autor.

3.3.6.8 Painel de simulação

Na tela de simulação, vista na Figura 29, apresenta-se o simulador de projeção do nível do rio para as próximas 8 horas. Ao escolher um modelo, data, horário e clicar no botão Simular, é calculado o nível do rio de acordo com o modelo selecionado. Essa aplicação conta com a opção atualizar automático. Com o modo atualizar automático, o gráfico irá atualizar a cada N segundos (tempo é definido na tela de parâmetros). O objetivo dessa atualização automática é projetar o gráfico em um telão para que seja de fácil visualização na sala de operações do CEOPS em um evento de cheia.

Figura 29 - Tela de simulação



Fonte: elaborador pelo autor.

3.3.6.9 Simulador de evento

A tela de simulação de um evento de cheia é vista na Figura 30, serve para realizar a simulação de um período completo de cheia, os dados são processados e armazenados para análises futuras. O objetivo dessa funcionalidade é servir de base para estudos futuros e realizar testes e calibrações no modelo, de modo que seja possível aferir o modelo e utilizá-lo em eventos de cheia.

Figura 30 - Tela simulador de evento

Fonte: elaborador pelo autor.

3.3.6.10 Análise de eventos

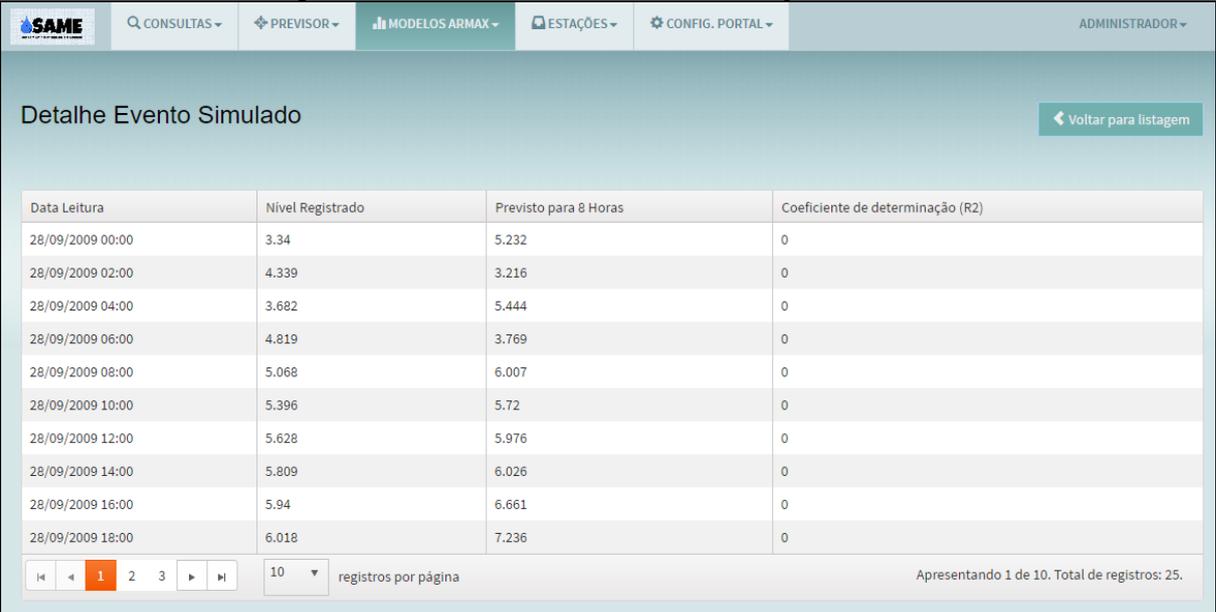
Na tela de consulta de análises de eventos, apresentada na Figura 31, é possível realizar a análise do processamento dos modelos ARMAX, operação feita na tela de simulador de evento. A tela conta com as informações agrupadas por execução, bem como informações detalhas de todos os registros processados. Para visualizar os detalhes do processamento, basta clicar sobre um registro de execução. A tela de detalhes da simulação é apresentada na Figura 32. Os detalhes do processamento trazem informações de cada previsão feita pelo modelo.

Figura 31 - Tela de análise de eventos

Nome Modelo	Data Inicio	Data Fim	Coeficiente de determinação (R2)
Modelo Blumenau	28/09/2009 00:00	29/09/2009 00:00	89
Modelo Rio do Sul	28/09/2009 00:00	30/09/2009 00:00	95
Modelo Rio do Sul	08/09/2009 00:00	15/09/2009 00:00	88
Modelo Blumenau	18/09/2009 00:00	29/09/2009 00:00	79
Modelo Rio do Sul	28/09/2009 00:00	30/09/2009 00:00	93

Fonte: elaborador pelo autor.

Figura 32 - Tela de detalhes de uma simulação de evento



Data Leitura	Nivel Registrado	Previsto para 8 Horas	Coeficiente de determinação (R2)
28/09/2009 00:00	3.34	5.232	0
28/09/2009 02:00	4.339	3.216	0
28/09/2009 04:00	3.682	5.444	0
28/09/2009 06:00	4.819	3.769	0
28/09/2009 08:00	5.068	6.007	0
28/09/2009 10:00	5.396	5.72	0
28/09/2009 12:00	5.628	5.976	0
28/09/2009 14:00	5.809	6.026	0
28/09/2009 16:00	5.94	6.661	0
28/09/2009 18:00	6.018	7.236	0

10 registros por página

Apresentando 1 de 10. Total de registros: 25.

Fonte: elaborador pelo autor.

3.3.6.11 Manter previsões

Na Figura 33 é apresentada a tela que será utilizada pelos previsores do CEOPS. O objetivo dessa funcionalidade é armazenar a estimativa do previsor para análises e comparações futuras.

Figura 33 - Tela registro de previsão

The screenshot shows a web interface for recording a forecast. At the top, there is a navigation bar with the SAME logo and several menu items: CONSULTAS, PREVISOR, MODELOS ARMAX, ESTAÇÕES, and CONFIG. PORTAL. The user is logged in as ADMINISTRADOR.

The main section is titled 'Lançar Previsão' and contains the following form fields:

- Estação:** A dropdown menu with 'Rio do Sul' selected.
- Nível: *** A text input field containing '7.5'.
- Data Previsão: *** A date and time input field containing '29/09/2009 22:00:00'.
- Observação: *** An empty text input field.

A blue 'Salvar' button is located to the right of the form. Below the form, there is a section titled 'Ultimas previsões para a estação Rio do Sul.' followed by a table of recent forecasts.

Data Previsão	Estação	Nível	Observações
29/09/2009 20:00	Rio do Sul	7,5	
29/09/2009 18:00	Rio do Sul	8	tetese
29/09/2009 16:00	Rio do Sul	6	tetese
29/09/2009 14:00	Rio do Sul	7,25	tetese
29/09/2009 12:00	Rio do Sul	7,4	teste grafico
29/09/2009 10:00	Rio do Sul	7	teste grafico

Fonte: elaborador pelo autor.

3.3.6.12 Gráfico comparativo

A tela de gráfico comparativo tem como objetivo cruzar as previsões feitas pelo modelo ARMAX, previsores e o nível registrado. Como mostrado na Figura 34, essa visão permite aos pesquisadores do CEOPS compararem a eficiência de cada um dos modos de registro de previsão existentes no SAME.

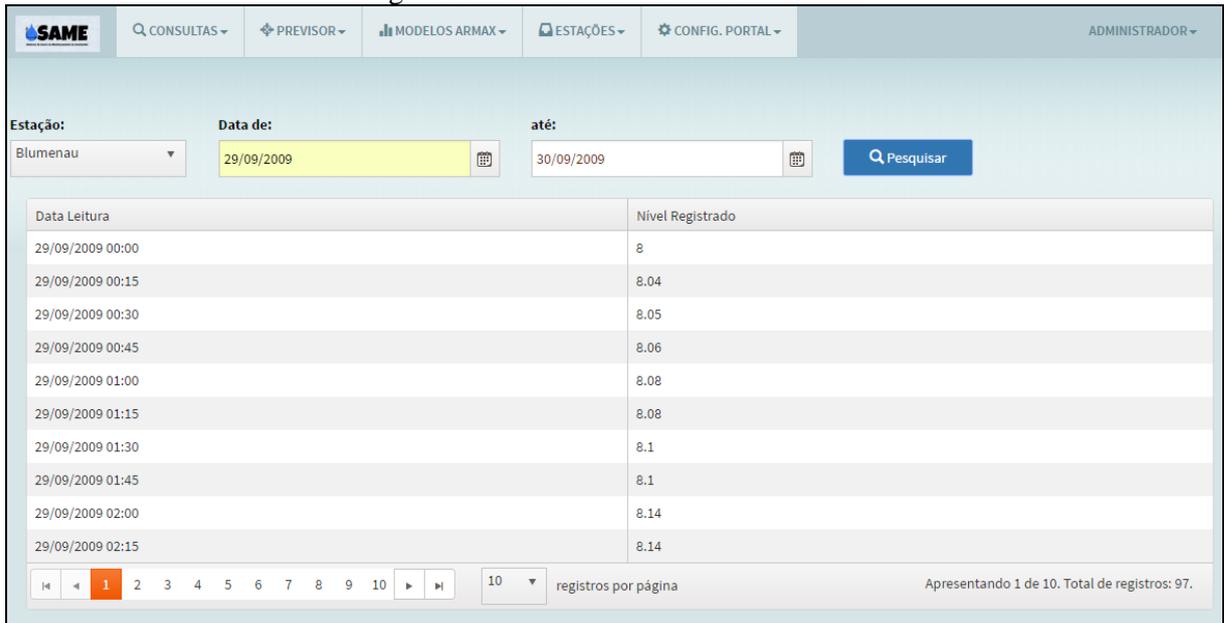


Fonte: elaborador pelo autor.

3.3.6.13 Consultar dados de telemetria

Na Figura 35 é apresentada a tela de consulta dos dados de telemetria. Nesse local é possível realizar consultas de todas as 17 estações do CEOPS.

Figura 35 - Tela consulta dados telemetria



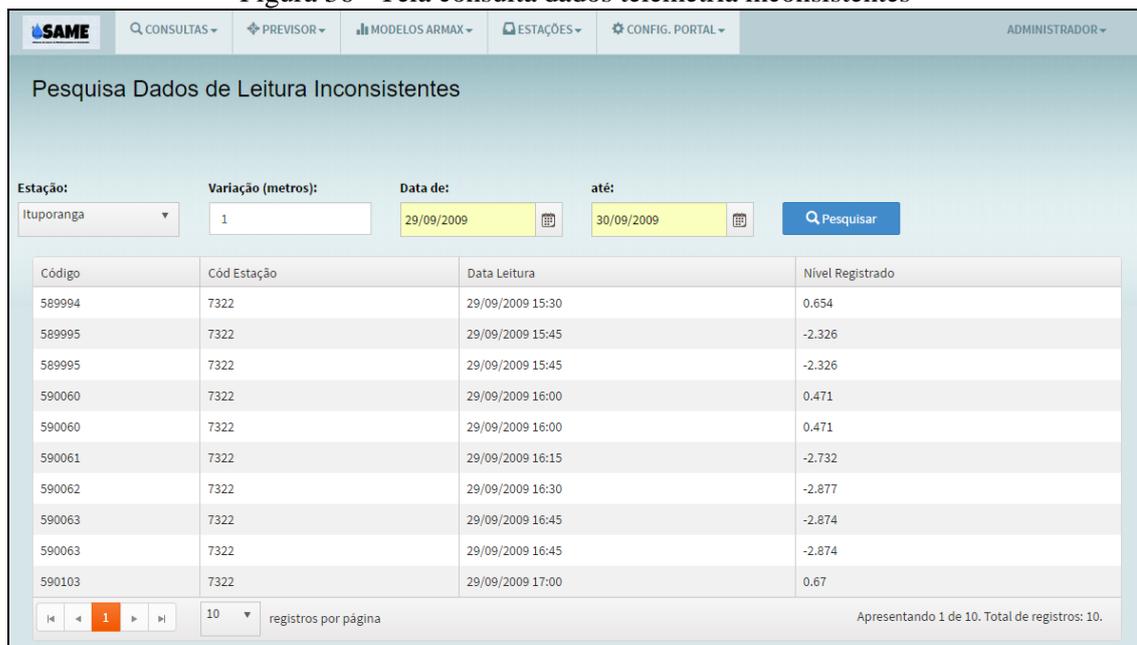
Data Leitura	Nível Registrado
29/09/2009 00:00	8
29/09/2009 00:15	8.04
29/09/2009 00:30	8.05
29/09/2009 00:45	8.06
29/09/2009 01:00	8.08
29/09/2009 01:15	8.08
29/09/2009 01:30	8.1
29/09/2009 01:45	8.1
29/09/2009 02:00	8.14
29/09/2009 02:15	8.14

Fonte: elaborador pelo autor.

3.3.6.14 Consultar dados de telemetria inconsistentes

A tela de consulta de dados de telemetria inconsistente visto na Figura 36 tem como objetivo apresentar níveis incorretos que estão armazenados na base de dados do CEOPS. Com a identificação desses dados, os pesquisadores do CEOPS podem ajustar a base para garantir a integridade das informações.

Figura 36 - Tela consulta dados telemetria inconsistentes



Código	Cód Estação	Data Leitura	Nível Registrado
589994	7322	29/09/2009 15:30	0.654
589995	7322	29/09/2009 15:45	-2.326
589995	7322	29/09/2009 15:45	-2.326
590060	7322	29/09/2009 16:00	0.471
590060	7322	29/09/2009 16:00	0.471
590061	7322	29/09/2009 16:15	-2.732
590062	7322	29/09/2009 16:30	-2.877
590063	7322	29/09/2009 16:45	-2.874
590063	7322	29/09/2009 16:45	-2.874
590103	7322	29/09/2009 17:00	0.67

Fonte: elaborador pelo autor.

3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para que seja possível verificar a eficiência do trabalho desenvolvido, foram utilizados dois cenários. Para o primeiro cenário foi escolhido como local o município de Rio do Sul, onde se espera estimar o nível do rio com 8 horas de antecedência. O dia selecionado foi 30/09/2009 à 00:00 hora. Na Figura 37 mostra o gráfico gerado pelo simulador do nível do rio do SAME. No gráfico observa-se que a previsão se mostrou assertiva, de modo que foi capaz de prever o nível do rio no município de Rio do Sul com 8 horas de antecedência.

Figura 37 - Primeiro cenário de análise do resultado



Fonte: elaborado pelo autor.

O Segundo cenário usado para validar a eficiência do modelo é visto na Figura 38. Para o estudo de caso em questão foi escolhido como local o município de Blumenau e o dia 28/09/2009 às 22:00 horas. Observa-se que os níveis estimados são próximos ao registrado.

Figura 38 - Segundo cenário de análise do resultado



Fonte: elaborado pelo autor.

As principais dificuldades encontradas no desenvolvimento do portal SAME foram os níveis inconsistentes registrados na base de dados do CEOPS e a modelagem do modelo

matemático em entidades. As previsões ficam incorretas ao aplicar o modelo ARMAX sobre registros com valores negativos ou com oscilações muito acentuadas em um curto espaço de tempo. A performance do simulador também é afetada quando são encontrados muitos níveis inconsistentes no horário que se deseja simular, pois ao encontrar um nível suspeito o modelo busca encontrar um nível mais coerente em um horário aproximado. Outra dificuldade que se torna relevante citar é o entendimento do modelo ARMAX, após o entendimento da fórmula, viu-se a necessidade de definir uma modelagem que atendesse a todas as regras do modelo. Foi possível atender a essa demanda utilizando as classes `Modelo` e `ModeloVariavelTempo`. Com essas duas classes é permitindo cadastrar todos os modelos ARMAX já calibrados, bem como cadastrar novos modelos com as mesmas características sem qualquer limitação.

Após o término do desenvolvimento, foi aplicado um questionário para avaliar alguns aspectos do trabalho. No Quadro 9 são apresentadas as respostas de cada uma das oito questões submetidas ao pesquisador do CEOPS.

Quadro 9 - Questionário SAME

Pergunta	Resposta
Sobre a usabilidade, como você classifica as telas do portal SAME?	Fácil
Como você classifica o nível das informações apresentadas nos gráficos?	Muito Boa
A ferramenta de simulação se mostrou capaz de executar os modelos ARMAX corretamente?	Sim
Você acredita que o portal SAME agregará valor as atividades de previsão de cheias realizadas no CEOPS em situações de crise?	Sim
O portal SAME pode oferecer ganho de produtividade na previsão do nível do rio?	Não
Você acredita que seja capaz incluir novos modelos de previsão no portal SAME?	Sim
De modo geral, qual avaliação você atribui ao portal SAME?	Muito Boa
Você acredita que o portal SAME viabilizará a inclusão de novos recursos (ferramentas) aplicados ao monitoramento e alerta de cheias?	Sim

Fonte: elaborado pelo autor.

Com base no questionário respondido pelo pesquisador do CEOPS Marcos Momo, verifica-se que a ferramenta de modo geral obteve excelentes resultados. Esse questionário serve como embasamento para verificar que os objetivos do trabalho foram atingidos, como por exemplo a capacidade de executar os modelos ARMAX desenvolvidos para os municípios de Blumenau e Rio do Sul. Outro ponto relevante validado no questionário é a capacidade de expandir o portal SAME para atender a novos modelos entre outras possibilidades. A questão onde indica que o portal SAME não irá gerar produtividade na previsão, foi uma forma

encontrada pelo pesquisador de alertar que embora a ferramenta traga muitos recursos que agilizam a compilação das informações, ainda assim, será necessário a intervenção de um especialista humano para realizar as previsões em tempo atual, ou seja, o SAME representará uma importante ferramenta para apoiar nas tomadas de decisão do CEOPS em situações de crise, ocasionadas pelas enchentes. No Quadro 10 é mostrado de forma comparativa as principais características em relação aos trabalhos correlatos e o trabalho proposto.

Quadro 10 – Características do desenvolvido e dos trabalhos correlatos

Característica	Manchein (2014)	Momo et al. (2010)	Silva (2009)	Trabalho Desenvolvido
Utilização de Sistemas especialistas	Sim	Não	Sim	Não
Plataforma web	Não	Parcial	Sim	Sim
Utilização de Modelos ARMAX	Não	Sim	Não	Sim
Coleta dos dados de telemetria	Manual	Manual	Automática	Automática
Forma de apresentação de resultados	Texto	Texto	Gráfico e Texto	Gráfico e Texto
Previsão de cheias	Sim	Sim	Não	Sim

Fonte: elaborador pelo autor.

É verificado no Quadro 10 que o trabalho desenvolvido contempla os trabalhos correlatos. Embora os trabalhos correlatos de Manchein (2014) e de Momo (2010) sejam capazes de realizar uma previsão de enchente, os dados precisam ser coletados de forma manual. Já no trabalho de Silva (2009), os dados são coletados de forma automática e apresentados de forma gráfica em um portal web, porém não existe previsão de enchentes, apenas ilustra a situação da bacia em tempo real (normalidade, atenção, alerta e emergência), como é desenvolvido neste trabalho.

Em busca de alternativas para auxiliar a comunidade da região do Vale do Itajaí a combater as cheias e minimizar os estragos ocasionados por inundações, o trabalho desenvolvido apresenta uma ferramenta baseada nos modelos de previsão de cheias, para apoiar o sistema de monitoramento do CEOPS. O trabalho criado, assim como o desenvolvido por Manchein (2014), Silva (2009) e o desenvolvido por Momo et al. (2010), são exemplos de ações que buscam aplicar tecnologia da informação no contexto social, auxiliando a comunidade e visando minimizar os impactos ocorridos pelas intensas chuvas da região.

4 CONCLUSÕES

Sistemas de monitoramento e alerta para cheias, como o criado pela FURB, são essenciais para regiões que sofrem com enchentes ou outros intempéries naturais. Como afirma Pinheiro (2003), a previsão de cheias é importante para uma gestão adequada e eficaz dos recursos hídricos superficiais e para permitir uma ação adequada e rápida em períodos de crise, como no caso de uma ocorrência de inundações.

Para a bacia do Itajaí, vários modelos de previsão foram testados. Encontram-se modelos do tipo empírico, sobretudo estocásticos lineares, modelos conceituais e modelos conjugados (PINHEIRO, 2003). Com base nos documentos publicados, foi escolhido o modelo ARMAX para auxiliar a ferramenta na previsão do nível do rio Itajaí. Foram selecionados os trabalhos de Cordero et al. (1998) e Cordero et al. (2010), onde foi desenvolvido modelos calibrados para os municípios de Blumenau e Rio do Sul, respectivamente.

Todos os objetivos principais do trabalho foram alcançados. Objetivos esses que consistiam em buscar os dados de telemetria, implementar os modelos ARMAX já calibrados para os municípios de Blumenau e Rio do Sul para apresentá-los em gráficos em um portal web. Além destes objetivos, outras funcionalidades foram incluídas ao portal SAME em tempo de desenvolvimento para deixar o mesmo mais robusto. Entre as principais funcionalidades adicionadas estão, o módulo de previsor, consultas para identificar níveis suspeitos e a possibilidade de cadastrar e alterar todos os modelos ARMAX do portal SAME.

O desenvolvimento dessa ferramenta auxiliará a equipe do CEOPS na consolidação e estimativa de informações sobre um evento de cheia, para que então sejam fornecidos boletins de hora em hora à Defesa Civil. Facilitará o acompanhamento visual das estimativas de subida do nível do rio Itajaí para os municípios de Blumenau e Rio do Sul. Possibilitará o monitoramento em tempo real, do nível do rio e da precipitação ocorrida nos 17 pontos da bacia. A ferramenta disponibiliza gráficos obtidos com base nos dados telemétricos (observados) e gráficos com as previsões para 6 e 8 horas de antecedência. Estes são gerados através da execução dos modelos de previsão de cheias. Estas informações disponibilizadas pela ferramenta serão integradas ao Portal do CEOPS. Neste sentido, um ganho de tempo e precisão nas estimativas do rio Itajaí e maior disponibilidade das informações geradas no CEOPS na ocorrência de cheias. Vale salientar que, o módulo do SAME que contempla o acompanhamento visual das estimativas de subida do nível do rio Itajaí para os municípios de

Blumenau e Rio do Sul, poderá posteriormente ser disponibilizado à comunidade em geral através do site do CEOPS.

4.1 EXTENSÕES

Para que seja possível deixar o portal SAME mais completo e robusto, são sugeridas as seguintes extensões.

- a) adicionar novas simulações como por exemplo, a incidência da maré sobre o nível do rio Itajaí;
- b) integrar o portal SAME com o sistema nacional de informações sobre recursos hídricos da agência nacional de águas;
- c) melhorar o controle de acesso, implementando a funcionalidade esqueci minha senha;
- d) adicionar novos gráficos;
- e) criar consultas que serão de acesso público à toda a comunidade do vale do Itajaí.

REFERÊNCIAS

- BLUMENAU, Prefeitura Municipal de Blumenau. **História do Município**. [Blumenau], 2016. Disponível em: <<http://www.blumenau.sc.gov.br/blumenau/historia>>. Acesso em: 25 out. 2016.
- BLUMENAU, Defesa Civil de Blumenau. **Boletim Diário da Defesa Civil**. [Blumenau], 2016. Disponível em: <<http://www.blumenau.sc.gov.br/previsao/wpboletim.aspx>>. Acesso em: 25 set. 2016.
- BRASIL, Ministério das Cidades. **Mapeamento de Riscos em encostas e margens de rios**. Brasília: Ministério das Cidades, 2007.
- CEOPS. **Centro de Operação do Sistema de Alerta da Bacia do Rio Itajaí**. [Blumenau], 2016. Disponível em: <<http://ceops.furb.br>>. Acesso em: 01 mar. 2016.
- CORDERO, A. et al. Real-time flood forecasting with a stochastic model. In: ANAIS DO INTERNATIONAL WORKSHOP ON NONSTRUCTURAL FLOOD CONTROL IN URBAN AREAS, 1., 1998, São Paulo. **Proceedings...** Blumenau: FURB, 1998. p. 1-17.
- CORDERO, A. et al. Previsão de cheia em tempo atual, com um modelo ARMAX, para a cidade de Rio do Sul – SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais...** Blumenau: FURB, 2010. p. 1-13.
- FRANK, B.; PINHEIRO A. **Enchentes na Bacia do Rio Itajaí: 20 anos de experiências /** Beate Frank, Adilson Pinheiro (organizadores). Blumenau, Edifurb, 2003.
- LJUNG, L. **System identification: theory for the user**, 2^oed. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1999.
- MANCHEIN, M Z. **Protótipo de um sistema especialista para controle e alerta de desastres naturais**. 2014. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) - Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.
- MOMO, M R; et al. Tecnologias da informação baseada em serviços, aplicadas em sistemas de monitoramento e alerta de eventos climáticos. In: SEMINÁRIO INTERINSTITUCIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 15., 2010, Cruz Alta. **Anais...** Blumenau: FURB, 2010. p. 1-4;
- PORTAL ACTION. **Processo Estocástico**. [São Carlos], 2016. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/processo-estocastico>>. Acesso em: 01 nov. 2016.
- SIEBERT, C. (Des) controle urbano no vale do Itajaí. In: FRANK, B.; SEVEGNANI L. (Org.). **Desastre de 2008 no vale do Itajaí**. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009. cap. 3.
- SILVA, Gelson S. da. **Sistema de informações para apoiar o sistema de alerta da bacia do Itajaí**. 2009. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Sistemas de Informação) – Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.
- TOOLBOX. **The MathWorks - MatLab and Simulation**. [S.l.], 2016. Disponível em: <<http://www.mathworks.com>>. Acesso em: 30 mar. 2016.