

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E  
AUTOMAÇÃO

Correlação de Alarmes Industriais

Tiago Fernandes de Miranda

Natal-RN

2015

TIAGO FERNANDES DE MIRANDA

CORRELAÇÃO DE ALARMES INDUSTRIAIS

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Engenharia de Computação e Automação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial para obtenção do Grau de Engenheiro de Computação.

Orientador: Prof. Dr. LUIZ AFFONSO H. GUEDES

Natal-RN

2015

TIAGO FERNANDES DE MIRANDA

CORRELAÇÃO DE ALARMES INDUSTRIAIS

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Engenharia de Computação e Automação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial para obtenção do Grau de Engenheiro de Computação.

Aprovada em Junho de 2015.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. LUIZ AFFONSO H. GUEDES - Orientador  
UFRN

---

Prof. Dr. LUIZ FELIPE DE QUEIROZ SILVEIRA  
UFRN

---

Me. GUSTAVO BEZERRA PAZ LEITÃO  
LOGIQUE SISTEMAS

Natal-RN  
2015

*À minha família.*

# Agradecimentos

Aos meus pais e irmão, por todo apoio incondicional dedicado.

À Jacqueline Ferreira, por estar sempre ao meu lado me motivando a fazer o meu melhor.

Ao meu orientador, Prof. Luiz Affonso, por todo o tempo dedicado a minha orientação e formação profissional.

Aos meus colegas de curso Delano Augusto, Fábio Fonseca, Felipe Gama, José Kleiton, Júlio César, Layon Luciano, Mário Sérgio e Willy Moser por todas as contribuições que somaram para a minha formação.

À Gustavo Leitão, por todas as orientações e indicações sugeridas durante o meu período na Logique Sistemas.

À equipe da Logique, por todos os momentos em que dedicaram tempo para sanar minhas dúvidas.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

# Lista de Figuras

1.1	Modelo de um sistema de automação . . . . .	1
1.2	Possíveis estados de uma planta industrial automatizada . . . . .	2
1.3	Boa e má configuração de alarmes industriais . . . . .	3
1.4	Número de alarmes monitora por operador possui crescimento exponencial . . . . .	4
1.5	Ocorrências dos alarmes monitorados por operador diariamente comparados aos valores ideais . . . . .	4
2.1	Exemplo de alarme industrial associado a variável analógica . . . . .	6
2.2	Modelo do ciclo de vida do sistema de alarmes . . . . .	11
2.3	Exemplo de diagrama de dispersão entre duas variáveis . . . . .	13
2.4	Exemplos de distribuição de pares ordenados no diagrama de dispersão . . . . .	13
2.5	Exemplo de correlação cruzada entre variáveis identificando atraso médio . . . . .	14
2.6	Exemplo de autocorrelação identificando o período da variável . . . . .	14
3.1	Resultado esperado da correlação de 4 alarmes . . . . .	15
3.2	Exemplo de filtragem de alarme, precisão do filtro de 4 segundos . . . . .	16
3.3	Exemplo de geração do sinal analógico e contínuo de similaridade . . . . .	17
3.4	Exemplo de geração do sinal analógico e contínuo de causalidade . . . . .	17
3.5	Diagrama de fluxo do sistema em desenvolvimento . . . . .	18
4.1	Exemplo de tuplas na entidade de ocorrência de alarmes . . . . .	20
4.2	Deslocamento de alarmes para geração de sinal de correlação . . . . .	23
4.3	Informações fornecidas pelo módulo de exibição dos resultados . . . . .	24
5.1	Matrizes de confusão de similaridade e causalidade resultantes . . . . .	26
5.2	Matrizes de confusão de similaridade e causalidade resultantes . . . . .	27
5.3	Sinais de autocorrelação dos alarmes <i>periodico_causalidade</i> e <i>periodico_similaridade</i> . . . . .	27
5.4	Sinais de correlação dos alarmes causais . . . . .	28
5.5	Matriz de similaridade resultante com 12 alarmes reais em análise . . . . .	29
5.6	Identificação de possível alarme redundante . . . . .	29
5.7	Identificação de possíveis alarmes causais . . . . .	29

# Lista de Tabelas

1.1	O papel do operador em diferentes estados da planta . . . . .	2
5.1	Dados dos alarmes gerados para testes do sistema de correlação . . . . .	25

# Sumário

<b>Agradecimentos</b>	<b>v</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>vi</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>vii</b>
<b>Resumo</b>	<b>x</b>
<b>Abstract</b>	<b>xi</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo . . . . .	3
1.2 Divisão do trabalho . . . . .	4
<b>2 Fundamentação Teórica</b>	<b>6</b>
2.1 Alarmes e Eventos . . . . .	6
2.1.1 Alarmes . . . . .	6
2.1.2 Eventos . . . . .	7
2.2 Normas . . . . .	7
2.2.1 EEMUA 191 . . . . .	8
2.2.2 ISA-SP18 . . . . .	10
2.3 Correlação . . . . .	12
2.3.1 Coeficiente de correlação de Pearson . . . . .	12
2.3.2 <i>Cross-correlation</i> . . . . .	14
<b>3 Proposta</b>	<b>15</b>
<b>4 Aspectos de Implementação</b>	<b>19</b>
4.1 Módulo de Simulação de Alarmes . . . . .	19
4.2 Módulo de Importação de Alarmes . . . . .	19
4.3 Módulo de Filtragem . . . . .	20
4.4 Módulo de Suavização . . . . .	21
4.5 Módulo de Correlação . . . . .	22



	ix
4.6 Módulo de Exibição dos Resultados . . . . .	23
<b>5 Resultados e Discussão</b>	<b>25</b>
5.1 Teste com Alarmes Simulados . . . . .	25
5.2 Teste com Alarmes Reais . . . . .	28
<b>6 Conclusão</b>	<b>30</b>
<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>31</b>

# Resumo

Monitorar um processo industrial automático é uma tarefa complexa, entretanto pode se tornar pior nos momentos em que anormalidades ocorrem e a intervenção manual faz-se necessária. Para tornar este processo o mais simples possível a indústria busca rotineiramente atingir a configuração de alarmes ideal que ofereça mais segurança a saúde geral da industria. Na prática, as indústrias configuram seus alarmes sem uma metodologia adequada resultando em configurações com alarmes problemáticos que reduzem a eficiência do processo e aumentam os riscos a segurança pessoal, financeira e ambiental. Diante da relevância do problema, este trabalho tem por objetivo desenvolver e aplicar o método de correlação de variáveis de alarmes possibilitando a identificação de perfis problemáticos de tal forma que a configuração de alarmes possa ser efetivamente simplificada.

Palavras-chave: Automação industrial. Correlação de alarmes industriais.

# Abstract

Monitoring an automatic industrial process is a complex task, however it can become worse in moments when abnormalities occur and manual intervention becomes necessary. To make this process simpler as possible the industry search routinely reach optimal alarms setting that offers more security to overall health of the industry. In practice, the industries configure their alarms without a appropriate methodology resulting in settings with problematic alarms that reduce the process efficiency and increase the risks to personnel, financial and environmental safety. Considering the relevance of the problem, this work aims to develop and apply the correlation in industrial alarms variable alarms enabling the identification of problematic profiles such that the alarm configurations can be effectively simplified.

Keywords: Industrial automation. Industrials alarms correlation.

# Capítulo 1

## Introdução

“Automação (do inglês *Automation*) é um sistema automático de controle pelo qual os mecanismos verificam seu próprio funcionamento, efetuando medições e introduzindo correções, sem a interferência do homem” [HOLANDA, 1975]. Uma melhor abordagem pode ser observada na Figura 1.1



Figura 1.1: Modelo de um sistema de automação

Como base da pirâmide, o nível de sensores e atuadores são responsáveis pela interação direta com a planta industrial, fazendo a leitura das variáveis relevantes através dos sensores e agindo no processo através dos atuadores. No nível imediatamente acima, encontram-se os controladores lógico programáveis (CLP) responsáveis pelo controle regulatório local e os *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) que possuem a finalidade de supervisionar o processo. O terceiro nível, *Enterprise Production Systems* (EPS), é o responsável pela gerência de informação. Neste nível, são armazenados dados dos processos que podem ser utilizados como informação útil. No topo da pirâmide temos os sistemas responsáveis pela transformação desses dados em informação de negócio, *Enterprise Resource Planning* (ERP) [LEITÃO, 2008].

Com o advento da automação na indústria o rendimento da produção em alta escala cresceu, pois o mesmo proporcionou um amplo controle sobre todo o processo industrial. Entretanto, embora o sistema seja automatizado faz-se necessário existir alguns operadores para auxiliar no monitoramento do

processo. O operador possui várias funções que variam de acordo com o estado atual da planta industrial, essas funções incluem ajustes de operação, otimização da produção, identificação de falha e coordenação de manutenção [EEMUA, 1999]. Na Tabela 1.1 é possível resumir o procedimento do operador de acordo com os estados da planta.

Tabela 1.1: O papel do operador em diferentes estados da planta

Estado da planta	Papel principal do operador
Normal	monitorar e otimizar
Anormal (Upset)	gerenciar a situação
Desligamento (Shut-down)	garantir desligamento seguro

O controle automático interfere no processo com o objetivo de manter a planta industrial em um estado desejado, entretanto recorrentemente algum componente do sistema pode falhar e então o processo automatizado perde o controle sobre a planta. Nestes casos, o operador deve ser notificado através de alarmes para atuar manualmente na planta a fim de reverter o quadro problemático e tentar manter o processo ainda no estado desejado. Nos casos em que o descontrole prossegue novos alarmes são emitidos e a planta é posta em modo de desligamento seguro. A Figura 1.2 descreve os estágios que uma planta industrial pode estar bem como os responsáveis pelo seu controle em cada momento.



Figura 1.2: Possíveis estados de uma planta industrial automatizada

A planta passa a maior parte do tempo de operação sobre o estado normal, sendo manuseada pelo sistema de controle. Quando a planta está na fronteira entre o estado normal e anormal, significa que provavelmente o sistema de controle falhou em algum momento e o operador deve tomar o controle sobre o processo com o objetivo de posicionar a planta de volta ao estado normal. Nos casos em que o controle manual não é o bastante para reverter o problema, a planta tende a continuar se distanciando do estágio normal. Quando atingida a fronteira entre o estado anormal e de desligamento, o esforço para tentar reverter a planta a normalidade deve ser abortado e então iniciado o processo de desligamento seguro do sistema.

Tendo em vista a função crucial do operador sobre o processo automático, deve-se priorizar um bom ambiente de trabalho ao mesmo de forma que o estresse e o cansaço mental sejam reduzidos ao máximo. Para isto, é necessária uma boa configuração de alarmes que notifiquem anormalidades ao operador o mínimo necessário. Na Figura 1.3, demonstra-se boas e más configurações de alarmes industriais.

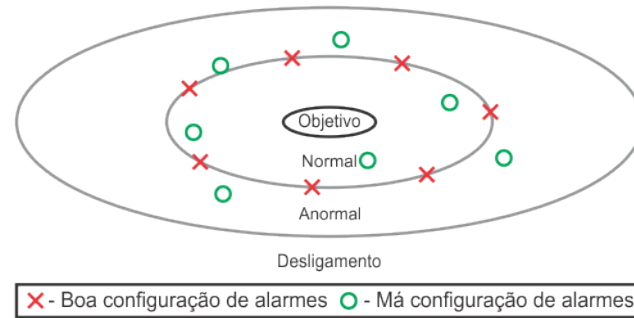


Figura 1.3: Boa e má configuração de alarmes industriais

É notável que uma boa configuração de alarmes notifica o operador somente nas mudanças de estado da planta, desta forma a atenção é requisitada somente quando necessária. Por outro lado, a má configuração notifica o operador de forma inútil, por vezes requisita a atenção antes do momento ideal e noutras após a ocorrência do problema.

O processo de encontrar a melhor configuração de alarmes para uma planta industrial é uma tarefa rotineira de observação, análise de desempenho e ajustes. Na prática, as indústrias possuem bastante dificuldade em encontrar tal configuração de forma que o operador fica sobrecarregado de alarmes e conseqüentemente reduz sua eficiência de trabalho aumentando os riscos de incidentes. As Figuras 1.4 e 1.5 demonstram dados comprobatórios da ineficácia dos sistemas de alarme utilizados na indústria.

Analisando a Figura 1.4 é possível notar que a tarefa de encontrar a melhor configuração de alarmes é, de fato, importante para a indústria, pois o número de alarmes monitorados por operador vem crescendo exponencialmente com o tempo. Desta forma, a responsabilidade do operador sobre a segurança do processo industrial também aumenta.

Na Figura 1.5, é notável a discrepância entre o número de ocorrências de alarmes diários com os valores desejados. Isto indica, claramente, que há problemas na forma como a indústria configura seus alarmes.

Tendo em vista a função crucial do operador no processo automatizado e a atual ineficácia das configurações de alarmes aplicadas na indústria é indispensável o desenvolvimento e aplicação de sistemas de análise de desempenho que indiquem, com seus resultados, formas de simplificar e conseqüentemente otimizar as configurações de alarmes industriais.

## 1.1 Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver o algoritmo de relação cruzada (*cross-correlation*) e analisar a utilidade dos seus resultados aplicados em alarmes industriais.

Atualmente a maioria das indústrias configuram seus alarmes sem um padrão adequado. Assim, é comum a criação em demasiado de alarmes redundantes, periódicos e etc. Com tantos alarmes mal configurados a vida do operador de processo se torna cansativa, pois a tela do sistema de supervisão fica inundada de notificações de alarmes para correção. Claramente, a eficiência do operador é reduzida e a insegurança do processo aumenta gerando riscos para a segurança pessoal, meio ambiente e produção.

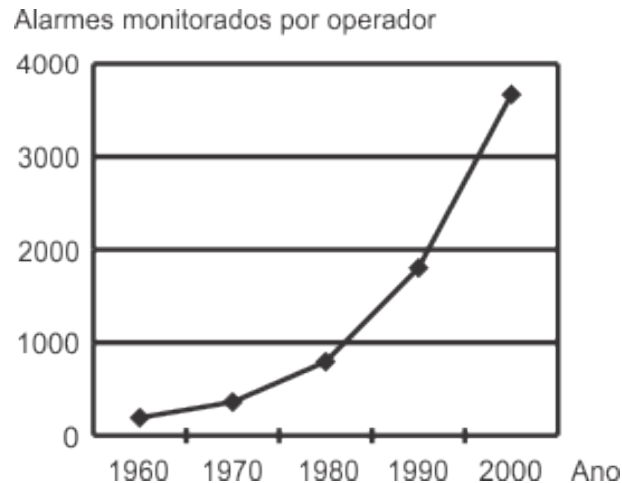


Figura 1.4: Número de alarmes monitorados por operador possui crescimento exponencial

Fonte: HOLLIFIELD, 2010, p. 13.

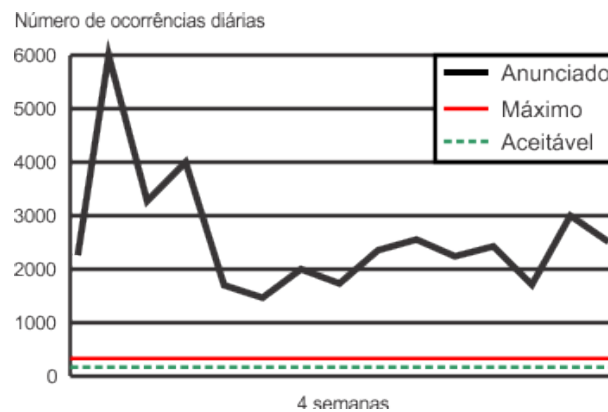


Figura 1.5: Ocorrências dos alarmes monitorados por operador diariamente comparados aos valores ideais

Fonte: HOLLIFIELD, 2010, p. 14.

Sendo assim, este trabalho tem a finalidade de desenvolver o algoritmo de relação cruzada e aplicá-lo em alarmes industriais para que a partir dos seus resultados, seja possível localizar os alarmes mal configurados. Isto abre espaço para uma simplificação na configuração de alarmes, tornando o processo automático mais confiável e seguro.

## 1.2 Divisão do trabalho

O restante do trabalho está dividido nos seguintes capítulos:

- No Capítulo 2 são discutidas informações sobre alarmes e eventos industriais, normas regulatórias e correlação estatística.
- No Capítulo 3 é detalhado o sistema a ser desenvolvido, especificando suas funções e modos de uso.
- No Capítulo 4 são demonstrados aspectos de implementação para o sistema desenvolvido, desafios e as soluções aplicadas.

- No Capítulo 5 são expostos os resultados do sistema para diversos cenários, com subsequente análise de desempenho.
- No Capítulo 6 são expostas as considerações finais do trabalho.



## Capítulo 2

# Fundamentação Teórica

## 2.1 Alarmes e Eventos

### 2.1.1 Alarmes

Na teoria, a indústria define o alarme como um meio sonoro e/ou visível de indicação para o operador de mau funcionamento de um equipamento, desvio de processo ou condição anormal que requer uma resposta, mesmo esta sendo mental. Parâmetros como *setpoint*, grau de prioridade, causa da ocorrência, procedimentos de normalização e *deadband* são alguns dos possíveis atributos de um alarme [ANSI/ISA-18.2, 2009, EEMUA, 1999].

Normalmente os alarmes estão associados a variáveis de processo analógica ou componentes da planta industrial. Para as variáveis de processo, os alarmes são utilizados para identificar algum comportamento anormal dos mesmos, sendo ativados quando os seus valores ultrapassam determinado valor máximo ou mínimo predeterminado. A Figura 2.1 exemplifica a ativação dos alarmes provenientes de variáveis de processo analógica. Alarmes associados a equipamentos são utilizados para notificar defeitos em componentes da planta, sendo assim os alarmes associados a estes são ativados quando identificam alguma falha de operação de algum equipamento.

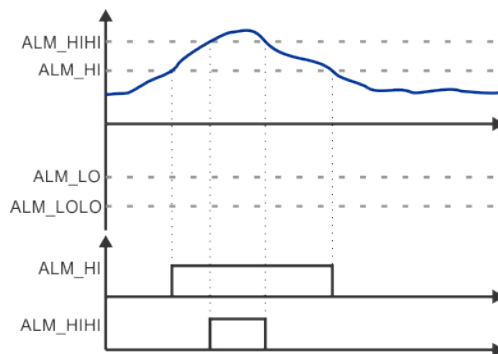


Figura 2.1: Exemplo de alarme industrial associado a variável analógica

Um alarme pode possuir dois valores: ativo e normalizado. Quando ativo, significa que a condição de ativação foi atingida e que, possivelmente, alguma anormalidade está ocorrendo; quando normalizado,

significa que não há ocorrências de anormalidade no processo, portanto não faz-se necessário a notificação ao operador. Entretanto, na indústria, o operador pode definir um alarme como silenciado ou fora de operação. Quando silenciado, o alarme, mesmo com seu valor ativo, não notifica ao operador a sua anormalidade; quando fora de operação, o alarme ignora qualquer valor resultante do mesmo. Normalmente esta configuração é utilizada para efetuar manutenções na planta. Desta forma, o alarme pode possuir quatro valores distintos.

1. Ativo,
2. Normalizado,
3. Silenciado,
4. Fora de operação.

Em resumo, o alarme é um dos meios por onde o operador é capaz de monitorar o processo industrial de forma simples e efetiva. Entretanto, para isto ocorrer faz-se necessário que o alarme execute eficientemente a sua função de notificar anormalidades.

### **2.1.2 Eventos**

É considerado como evento, toda mudança na planta industrial ou no estado de equipamentos [EEMUA, 1999]. Na prática, um evento é qualquer informação do processo industrial que não requer uma resposta do operador e que seja útil para eventuais análises de causa de incidentes ou ocorrências de alarmes.

Os eventos são utilizados para manutenção do sistema de alarmes, pois com os eventos registrados é possível analisar o cenário do processo industrial momentos antes de um alarme ou incidente ocorrer, possibilitando a identificação de relações de causa e efeito na planta.

## **2.2 Normas**

Com a indubitável vantagem do uso de sistemas de alarmes nas indústrias, o mesmo se disseminou por várias áreas como estação de energia, refinarias, plantas químicas, centros de controle de transporte e etc [EEMUA, 1999]. Porém, cada indústria possui a sua metodologia de controle de alarmes que em alguns casos tiveram sucesso e em outros fracassaram. Um exemplo de ineficácia, é o caso da refinaria Milford Haven que explodiu durante uma avalanche de alarmes em ativação causando um prejuízo na planta de £48M, mais a perda de produção, felizmente sem fatalidades [EEMUA, 1999].

Devido a essas derivações de gerenciamento de alarmes e a estes acidentes, algumas organizações se reuniram e compartilharam suas experiências na área com o objetivo de desenvolver um guia de boas práticas em gerenciamento de alarmes e eventos industriais. Entre as normas existentes, as mais populares são as EEMUA 191 e a ANSI/ISA-18.2.

### 2.2.1 EEMUA 191

A *Engineering Equipment and Materials Users Association* (EEMUA) é uma organização de usuários e compradores de produtos de engenharia. Seus membros incluem líderes representantes de indústrias da área de energia, processos e petróleo. A EEMUA preocupa-se com o design, instalação, operação e manutenção de plantas industriais [EEMUA, 1999].

O guia *Alarm systems, a guide to design, management and procurement* desenvolvido pela EEMUA define termos e métodos que tornam a gerência e a manutenção de um sistema de alarmes mais eficiente. Inicialmente a norma define os seus quatro princípios básicos:

1. **Manuseabilidade:** Um sistema de alarmes deve ser capaz de satisfazer as necessidades do usuário. Isto significa que as informações do sistema de alarmes devem:
  - Ser relevantes ao usuário no momento da exibição;
  - Apresentar com clareza qual resposta é exigida;
  - Ser apresentadas em uma taxa que o usuário possa trabalhar;
  - Ser de fácil compreensão.
2. **Segurança:** A contribuição do sistema de alarmes em proteger a segurança das pessoas, do ambiente e dos equipamentos da planta deve ser imediatamente identificada.
3. **Monitoramento de Desempenho:** O desempenho do sistema de alarmes deve ser avaliado durante o desenvolvimento e implementação do mesmo para garantir que a eficiência não irá cair sob qualquer condição de operação.
4. **Investimentos:** Todo novo alarme adicionado ou alterado no sistema deve ter por princípio um alto grau de qualidade nos mecanismos de escolha, gerenciamento e manutenção [EEMUA 191, 1999].

A norma EEMUA 191 com seus princípios básicos de um sistema de alarmes define que a função primária do sistema é:

*Direcionar a atenção do operador em direção às condições da planta que requerem oportuna avaliação ou ação.*

Para garantir isto, a EEMUA afirma que todo sistema de alarmes necessita obrigatoriamente:

1. Alerta, informar e guiar o operador para cada alarme;
2. Apresentar alarmes úteis e relevantes ao operador;
3. Ter uma ação de resposta definida para cada alarme, mesmo este sendo puramente mental;
4. Oferecer um tempo adequado para que o operador trabalhe na resposta definida do alarme;
5. Ser moldado para funcionar sob as limitações humanas.

Desta forma, temos um sistema de alarmes totalmente projetado com todos os requisitos mínimos e funcionalidades especificadas. Entretanto, o funcionamento ideal do sistema só ocorrerá com a definição de alarmes bem definida. A norma especifica como características de um bom alarme para o sistema de alarmes:

- **Relevância** - Um alarme não deve possuir informações de baixa relevância ao operador;
- **Singularidade** - Não deve existir alarmes duplicados;
- **Precisão** - Não devem ser apresentados muito antes da resposta ou muito depois da correção;
- **Prioridade** - Todo alarme deve ter um grau de importância associado;
- **Clareza** - Todo alarme deve ter uma mensagem clara e fácil de entender;
- **Diagnóstico** - Todo alarme deve ser capaz de identificar o problema ocorrido;
- **Consultivo** - Todo alarme deve indicar a ação corretora a ser tomada;
- **Focado** - Todo alarme deve apresentar as informações mais importantes.

Com as definições de um bom sistema de alarmes, a norma EEMUA 191 ainda sugere alguns métodos que possibilitam identificar a eficiência de um sistema de alarmes em operação. Os métodos são os que se seguem:

- **Questionário preenchido pelo operador** - O operador informa suas observações sobre o desempenho do sistema de alarmes;
- **Levantamento de alarmes inúteis** - São identificados os alarmes que não possuem nenhuma função no sistema de alarmes;
- **Registro de incidentes** - Através dos registros é possível identificar o que falhou para a ocorrência do incidente;
- **Número de alarmes** - Verifica se o número de alarmes configurados está adequado ao tamanho do processo industrial;
- **Média de ocorrência de alarmes** - Indica de forma simples, possível sobrecarga de tarefa para o operador;
- **Medição de alarmes frequentes** - Identifica possíveis alarmes que necessitam de correções em suas configurações;
- **Medição do número de alarmes seguidos de uma anormalidade** - Identifica a performance do sistema de alarmes em condições de anormalidade;
- **Medição do tempo de resposta do operador** - Verifica se o tempo de resposta do operador está adequado as configurações de alarmes;

- **Medição do número de alarmes ativos** - Identifica possíveis alarmes mal configurados com relação as suas condições de ativação;
- **Análise de distribuição de prioridade dos alarmes** - Verifica se o sistema de alarmes está fazendo bom uso do parâmetro prioridade de um alarme;
- **Técnicas de correlação de alarmes** - Identifica alarmes com perfis problemáticos: Periódicos, redundantes e causais.

A norma EEMUA 191 ainda especifica mais detalhes em torno dos sistemas de alarmes ideais, entretanto, em resumo é possível afirmar que a norma EEMUA 191 foi a primeira a tentar padronizar boas práticas para gerenciamento de alarmes e eventos industriais, sendo bastante utilizada atualmente pelas maiores indústrias do mundo.

### 2.2.2 ISA-SP18

Em outubro de 2003 durante a ISA Expo realizada em Houston, o comitê de Práticas e Padronização 18 (*Standards & Practices Committee 18*, SP18) iniciou os trabalhos para criação de um guia que auxiliasse a indústria de processos a otimizar a gerência de alarmes. O comitê desde então foi expandindo e atualmente estão agregados ao projeto vendedores, consultores e usuários de diversas indústrias [DUNN & SANDS, 2005].

O guia tem por função definir terminologias, modelos e processos para a efetiva implementação e gerenciamento de sistemas de alarmes, desenvolvidos exclusivamente, em sistema computacionais. Ficando excluído do escopo os dados de processos e eventos, dispositivos de controle e processo de sensores e instrumentação de segurança [LEITÃO, 2008].

O comitê SP-18 determinou que as práticas de gerenciamento de alarmes podem ser organizadas dentro de um sistema global representado por um modelo de ciclo de vida do sistema de alarmes que auxilia na identificação dos requisitos e regras necessárias para a implementação do mesmo. Este modelo cobre desde projeto e manutenção da criação (definição da filosofia) do sistema até o gerenciamento do mesmo em execução. Desta forma, todos os estágios desde a criação à análise de desempenho do sistema de alarmes são especificados. O modelo pode ser visualizado na Figura 2.2.

A seguir é explicado a funcionalidade de cada estágio do ciclo de vida:

- **Filosofia:** Neste estágio são documentadas as informações básicas do sistema de alarmes a ser montado. Estão inclusas definições e princípios para um sistema de alarmes e detalhamento e práticas dos procedimentos necessários para os outros estágios do ciclo de vida.
- **Identificação:** Possibilita a identificação de possíveis alarmes através de diversos métodos como análise de risco ou investigação de incidentes. Este estágio é o ponto de partida para remoção de alarmes existentes que não satisfazem os requisitos do estágio de racionalização.
- **Racionalização:** É feita análise para cada alarme identificado no estágio anterior com base nos princípios definidos na filosofia do sistema. Desta forma é realizada uma documentação, por alarme,

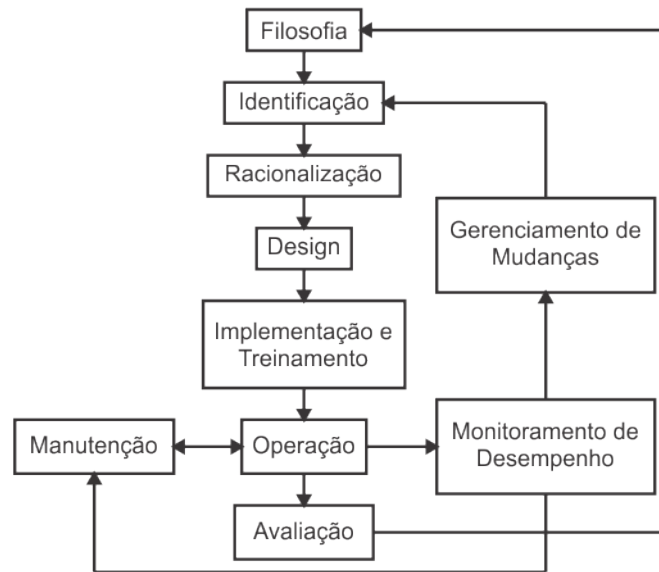


Figura 2.2: Modelo do ciclo de vida do sistema de alarmes

de informações como ação do operador, tempo de resposta e consequência dos incidentes que são críticas para o operador no momento da ocorrência do alarme.

- **Design:** São definidas as configurações básicas de cada alarme, o modelo da interface de visualização e acesso aos alarmes e os métodos avançados de gerenciamento dos alarmes. Neste estágio muitos alarmes inconvenientes podem ser eliminados quando bem configurados.
- **Implementação e Treinamento:** O modelo do estágio anterior é colocado em serviço. São executados treinamentos para o operador e testes iniciais do sistema de alarme.
- **Operação:** É o estágio onde o alarme está em serviço e reportando condições anormais ao operador.
- **Monitoramento de Desempenho:** Periodicamente são feitas análises dos dados gerados pelo sistema de alarmes quando em estágio de operação, possibilitando a identificação de problemas na configuração adotada para o sistema. A remoção deste estágio torna a manutenção do sistema de alarmes quase impossível.
- **Manutenção:** Componentes do processo industrial necessitam de reparos ou ajustes de calibragem periódicos, de forma que o estágio de manutenção torna-se importante no ciclo de vida de qualquer sistema de alarmes. Durante esta etapa, todos os alarmes relacionados não devem estar em operação.
- **Avaliação:** São realizadas periódicas auditorias do sistema de alarmes e dos processos detalhados na etapa de filosofia. A avaliação determina a necessidade de modificação nos procedimentos, filosofia ou design.
- **Gerenciamento de Mudanças:** Aprova e autoriza o processo de adição, modificação e remoção de alarmes do sistema. As mudanças podem ser identificadas de várias formas, incluindo sugestões do operador e monitoramento.

Desta forma, todos os estágios em que o sistema de gerenciamento de alarmes pode se enquadrar são bem definidos bem como as suas funções. Por fim, a norma ainda detalha outras informações e definições em torno do tema gerenciamento de alarmes industriais.

## 2.3 Correlação

De acordo com a norma EEMUA 191, a técnica de correlação permite identificar alarmes com perfis problemáticos. Para isto, é aplicada correlação entre pares de alarmes industriais com o objetivo de identificar tais perfis indesejáveis.

No estudo estatístico, a relação entre duas ou mais variáveis aleatórias denomina-se correlação [CORREA, 2003]. Com este procedimento é possível identificar se alterações em uma das variáveis produz alterações nas outras. Por exemplo, podemos identificar a relação direta entre peso e idade, consumo e renda e etc. Desta forma, quando aplicado em alarmes industriais torna-se possível identificar certos padrões existentes entre os mesmos.

Embora correlação identifique o grau de relação entre variáveis, não deve-se implicar a identificação de causalidade, pois a relação de causa pode não ser justificada apenas pelas variáveis em análise. Entretanto, todas as variáveis que possuem algum relação de causalidade possuem, obrigatoriamente, alto grau de correlação.

Sendo assim, dado que estamos utilizando alarmes industriais como variáveis da correlação podemos inferir que os resultados encontrados indicam possíveis perfis de causalidade, pois os alarmes industriais, em sua maioria, estão vinculados a variáveis de processo que possuem dependência uma das outras através de alguma relação. Por exemplo, se dois alarmes estão associados a variáveis de processo da mesma planta industrial, muito provavelmente, a variação em uma das variáveis irá gerar alguma consequência na outra, de forma que os alarmes associados também herdarão este perfil de causa e consequência. Logo, a aplicação de correlação nestes alarmes, obrigatoriamente, irá resultar em indícios de causalidade.

A correlação entre variáveis pode ser analisada através do diagrama de dispersão. Este é um gráfico cartesiano em que cada eixo corresponde a uma variável. Normalmente, variáveis ditas dependentes são posicionadas no eixo das ordenadas e as variáveis independentes no eixo das abscissas. Os pares ordenados formam uma nuvem de pontos no gráfico (ver Figura 2.3).

O formato da nuvem determina o grau de correlação das variáveis. Na Figura 2.4 é possível observar exemplos de diagramas de dispersão com perfis diferentes. Para padronizar a análise do diagrama de dispersão surgiram diversos coeficientes que quantificam a correlação entre variáveis, cada um com um propósito diferente para análise. Por exemplo, podemos calcular a correlação entre variáveis através dos coeficientes de Pearson, Spearman, Kendall tau e etc.

### 2.3.1 Coeficiente de correlação de Pearson

O coeficiente de correlação de Pearson ( $\rho_{xy}$ ) é caracterizado por identificar a intensidade e o sentido da relação entre variáveis, também conhecido como coeficiente de correlação produto-momento o  $\rho_{xy}$  é

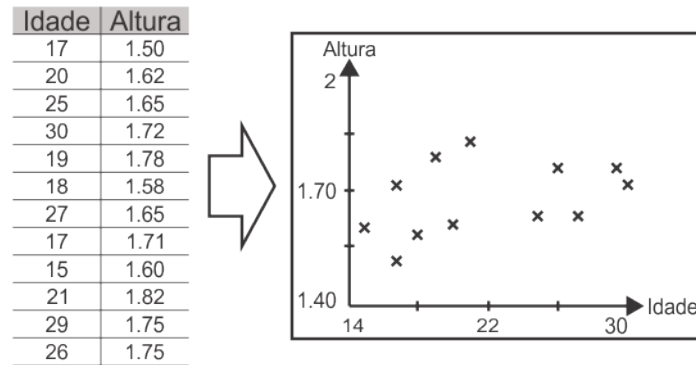


Figura 2.3: Exemplo de diagrama de dispersão entre duas variáveis

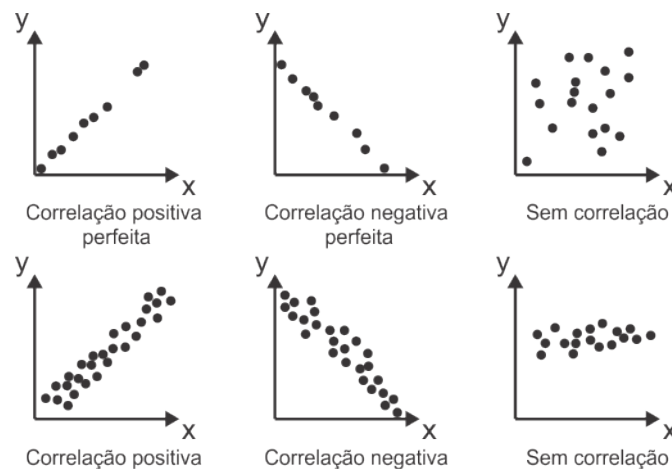


Figura 2.4: Exemplos de distribuição de pares ordenados no diagrama de dispersão

definido como:

$$\rho_{x,y} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sqrt{\sigma_X \cdot \sigma_Y}}$$

Onde  $X, Y$  são as variáveis aleatórias,  $\text{cov}(X, Y)$  é a covariância entre  $X$  e  $Y$  e  $\sigma_X$  é o desvio padrão da variável  $X$ . Pela definição temos que  $-1 \leq \rho_{x,y} \leq +1$  de forma que sua interpretação pode ser procedida da seguinte forma:

- $\rho = 1$  → Correlação positiva perfeita, as variáveis tendem a variar no mesmo sentido.
- $0 < \rho < 1$  → Correlação positiva, as variáveis tendem a variar no mesmo sentido porém não em sua totalidade.
- $\rho = 0$  → Não há correlação entre as variáveis.
- $-1 < \rho < 0$  → Correlação negativa, as variáveis tendem a variar em sentidos opostos porém não em sua totalidade.
- $\rho = -1$  → Correlação negativa perfeita, as variáveis tendem a variar em sentidos opostos.



### 2.3.2 Cross-correlation

*Cross-correlation* ou correlação cruzada é o método padrão para estimação do grau de correlação entre duas variáveis com a aplicação de um atraso em uma delas. O resultado é uma série de correlação de tamanho  $2N$  onde  $N+L$  é o tamanho das variáveis de entrada [BOURKE, 1996]. Desta forma a correlação cruzada pode ser definida como:

$$\rho_{x,y}(k) = \rho_{x,y[-k]} = \frac{\text{cov}(X, Y_{[i-k]})}{\sqrt{\sigma_X \cdot \sigma_{Y_{[i-k]}}}}, -N \leq k \leq N$$

Onde  $Y_{[i-k]}$  representa a variável  $Y$  com um atraso aplicado de magnitude  $k$ .

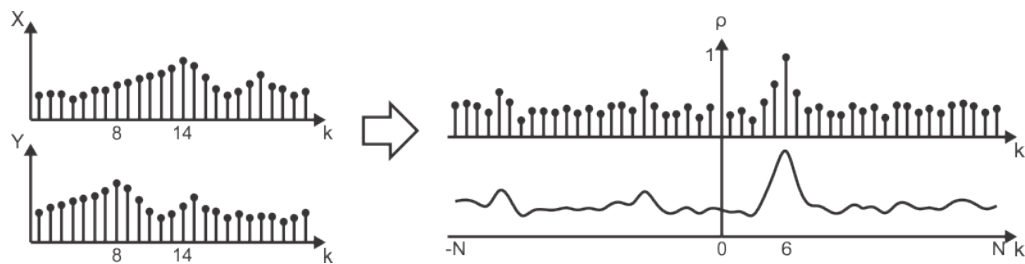


Figura 2.5: Exemplo de correlação cruzada entre variáveis identificando atraso médio

Com a série  $\rho_{x,y}(k)$  é possível encontrar o valor de correlação máxima e para este momento, definimos o  $k$  associado como o atraso médio entre as variáveis em análise. Ao executar a correlação cruzada com a mesma variável, isto é  $\rho_{x,x}(k)$ , temos um caso especial chamado de autocorrelação e com seu resultado podemos determinar o período, caso seja periódico, da variável  $X$ .

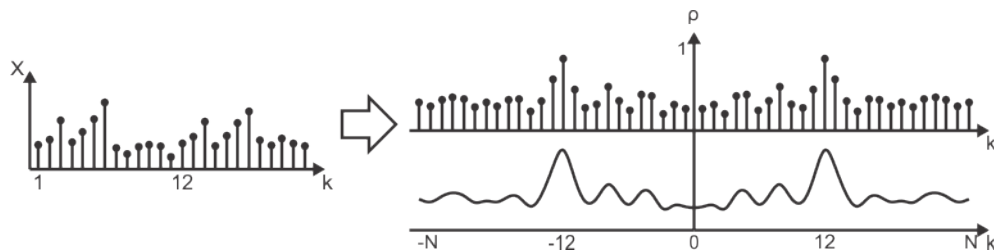


Figura 2.6: Exemplo de autocorrelação identificando o período da variável

## Capítulo 3

# Proposta

Este trabalho tem por objetivo desenvolver um sistema que aplica a técnica de correlação em alarmes industriais e exibe seus resultados de forma simples e intuitiva, ajudando no reconhecimento de relações de causalidade, redundância e periodicidade entre os alarmes. O algoritmo desenvolvido está previsto na norma EEMUA 191 como uma das possíveis técnicas para medição de desempenho de um sistema de alarmes.

O algoritmo de correlação de alarmes consiste em executar a correlação de um alarme com todos os outros inclusive consigo mesmo, o resultado da correlação com os outros possibilita a identificação de padrões de causalidade nos alarmes enquanto que o resultado da autocorrelação identifica padrões de alarmes periódicos. Desta forma é possível gerar uma matriz de confusão preenchida com tais resultados da correlação. A Figura 3.1 resume a função principal do sistema em desenvolvimento.

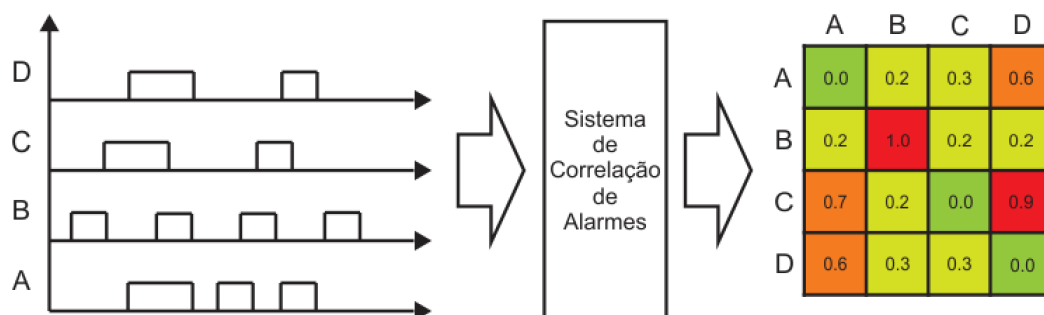


Figura 3.1: Resultado esperado da correlação de 4 alarmes

Para obter as ocorrências de alarmes, o sistema possibilita que o usuário escolha entre simulação e base de dados como fonte de informação.

Através da simulação o sistema se responsabiliza pela geração das ocorrências. Para isto, o usuário deve informar alguns parâmetros de simulação como quantidade de alarmes que devem ser gerados, prefixo para o nome dos alarmes (Ex.: ALRM 1, ALRM 2 e etc) e período de simulação.

Por outro lado, optando por banco de dados, o usuário deve informar ao sistema parâmetros de conexão ao banco como IP, porta, nome da base de dados e etc. Nesta condição é necessário que

o banco seja vinculado ao software BR-AlarmExpert, pois todo o sistema foi desenvolvido visando a funcionalidade com o banco de dados do mesmo. O BR-AlarmExpert é um software desenvolvido pela Logique Sistemas que tem por funções tornar o monitoramento de uma planta industrial mais simples e sinalizar ao operador, através de alarmes, as ocorrências de anormalidade na planta. Com o banco conectado o sistema lista todos os alarmes registrados e então permite que o usuário selecione os alarmes de interesse para análise e o período de verificação.

Em alguns casos os registros de ocorrências de alarmes abrangem períodos grandes que se processados por completo levariam muito tempo de processamento e que não seriam úteis, pois a precisão temporal seria muito maior que o necessário. Visando estes cenários, o sistema filtra as ocorrências de alarmes aplicando janelas temporais predeterminadas com o objetivo de diminuir a precisão e consequentemente a massa de dados a ser processada. A Figura 3.2 exemplifica como o filtro temporal é aplicado.

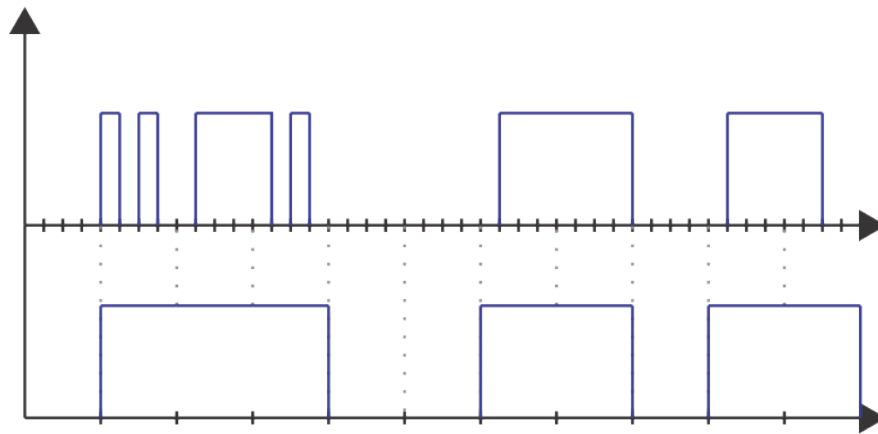


Figura 3.2: Exemplo de filtragem de alarme, precisão do filtro de 4 segundos

A filtragem permite que alarmes ruidosos sejam eliminados e que a precisão temporal da análise seja definida. Tais características são intrínsecas de cada processo industrial, sendo assim o sistema permite que usuário defina o parâmetro de janela de filtragem.

A aplicação do filtro temporal remove as ocorrências de alarmes ruidosos, pois com a definição da precisão de subamostragem, possíveis ocorrências com duração menor que a precisão serão removidas do alarme resultante filtrado. Conforme a Figura 3.2, é notável que as primeiras ocorrências do alarme (ruídos) foram removidas no resultado, tornando o alarme filtrado mais "limpo".

A norma EEMUA especifica que para aplicar uma análise de correlação em ocorrências de alarmes é necessário gerar um sinal digital e contínuo sendo de valor 1.0 no período em que o alarme está ativo e 0.0 para o período em que o alarmes está desativo [EEMUA 191, 1999]. Entretanto, o sinal gerado possui pontos de descontinuidade que ocasionalmente interferem na computação da correlação. Para evitar a interferência é aplicada uma função Gaussiana para os momentos em que o alarme está ativo, tornando o sinal gerado analógico e contínuo. Este sinal é denominado sinal de similaridade. Na Figura 3.3, ilustra-se um sinal de similaridade gerado.

A forma como a norma sugere a geração do sinal analógico e contínuo evidência que a duração

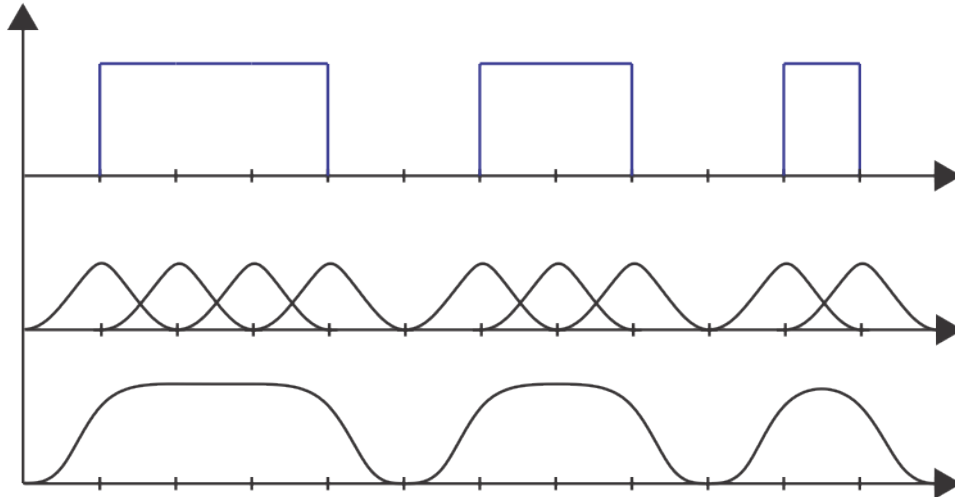


Figura 3.3: Exemplo de geração do sinal analógico e contínuo de similaridade

dos momentos de ativação dos alarmes é relevante para o cálculo de correlação, porém em alguns casos, os alarmes são vinculados a variáveis de processo de dinâmicas distintas de forma que durante a correlação a duração dos alarmes não possuem relação direta, por consequência o cálculo de correlação é afetado. Como correção para estes casos, o sistema gera outro sinal analógico e contínuo que tem por função levar informação do alarme somente na ativação, isto é, ignorando o tempo até a sua normalização. Este sinal é denominado sinal de causalidade. Na Figura 3.4, ilustra-se um sinal de causalidade gerado.

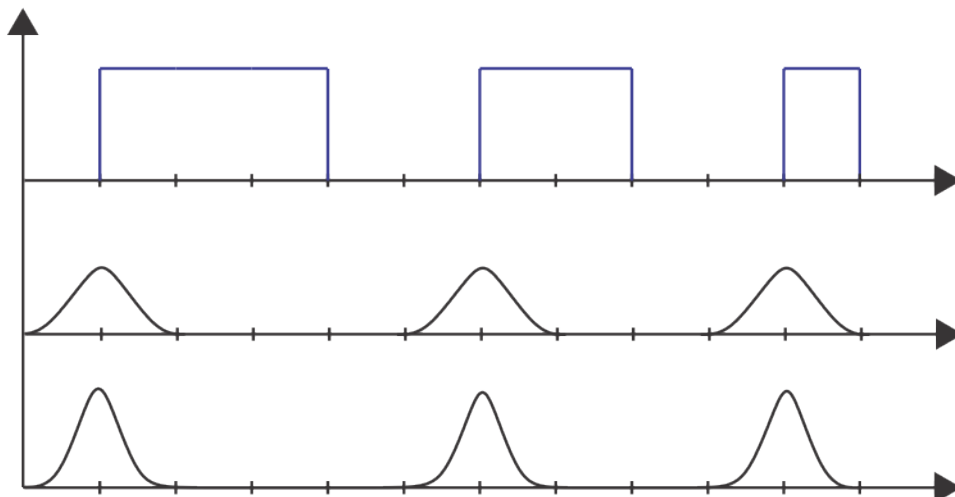


Figura 3.4: Exemplo de geração do sinal analógico e contínuo de causalidade

Os sinais de similaridade e causalidade gerados são funções gaussianas e possuem um desvio padrão associado, este parâmetro determina a suavidade do sinal e, de forma similar ao parâmetro janela de filtragem, é intrínseco a cada processo industrial, pois com sua alteração o usuário pode determinar até que ponto um momento de ativação do alarme interfere nas amostras vizinhas. Por ser um parâmetro único para cada planta industrial, o desvio padrão ou grau de interferência deve ser definido pelo usuário com base na dinâmica da planta industrial ao qual o sistema de alarmes em análise está vinculado.

Ao ser executado uma relação cruzada entre dois sinais aplica-se vários deslocamentos em um dos

sinais para obter uma função de correlação por deslocamento, entretanto na análise de alarmes há casos em que não há necessidade de aplicar grandes deslocamentos, pois em termos práticos não faz sentido verificar, por exemplo, que um alarme ocorreu 6 meses depois que outro tenha ocorrido. Sendo assim, para tornar a análise mais realista o sistema permite que o usuário defina o limite de deslocamento (*lag, delay*) aplicado na *cross-correlation*.

A Figura 3.5 representa o diagrama de fluxo de utilização normal do sistema de análise de correlação de alarmes.

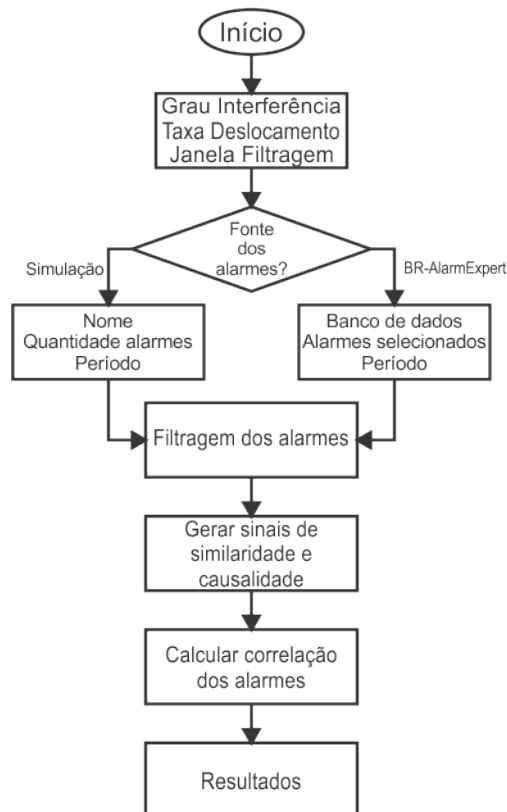


Figura 3.5: Diagrama de fluxo do sistema em desenvolvimento

Com todos os parâmetros configurados e os alarmes selecionados é iniciado o processo de cálculo de correlação dos alarmes. Ao fim do processamento, o resultado é exposto. Nele o usuário pode ver cada alarme e seu respectivo sinal de similaridade e causalidade e acessar as matrizes de confusão geradas.

Por termos dois sinais analógicos e contínuos, para cada alarme são gerados duas matrizes de confusão. Uma das matrizes possui os resultados de correlação entre os sinais de similaridade, denominada matriz de similaridade. Ela é responsável por identificar alarmes cíclicos e alarmes causais de mesma dinâmica. A segunda matriz possui os resultados de correlação entre os sinais de causalidade, denominada matriz de causalidade. Ela é responsável por identificar alarmes causais de dinâmicas diferentes.

## Capítulo 4

# Aspectos de Implementação

O sistema principal deste trabalho foi desenvolvido na IDE Netbeans utilizando-se a linguagem de programação Java, sendo a interface gráfica (GUI) gerada com o kit de desenvolvimento *Swing*. O sistema como um todo pode ser dividido em vários módulos, com funções bem determinadas. As seções que se seguem explicam as suas funcionalidades e aspectos de implementação.

### 4.1 Módulo de Simulação de Alarmes

Este módulo foi desenvolvido a fim de tornar o sistema final útil para os usuários que não possuem uma base de dados com registros de ocorrências de alarmes no momento da utilização. Neste módulo o usuário deve informar ao sistema a quantidade de alarmes a ser simulado, o período e o prefixo dos nomes dos alarmes.

Embora a simulação tenha caráter de geração randômica, o módulo possui uma lógica com base probabilística que tenta aproximar os perfis dos alarmes gerados o mais próximo possível dos reais. Resumidamente o módulo possui dois parâmetros que determinam o perfil dos alarmes simulados. O primeiro parâmetro é a taxa de repetição enquanto ativo, este atributo define a probabilidade de uma amostra do alarme ativar dado que a amostra anterior também foi ativada. Em outras palavras, este parâmetro determina o perfil de duração da ocorrência do alarme quando ativo. O segundo parâmetro é a taxa de ocorrência, que define a probabilidade de ser iniciada uma nova ocorrência de ativação do alarme. O algoritmo 1 descreve como a simulação foi desenvolvida.

### 4.2 Módulo de Importação de Alarmes

Este módulo tem por função tornar o sistema funcional com a base de dados gerenciada pelo BR-AlarmExpert, possibilitando a aplicação da técnica de correlação em alarmes industriais reais. Devido a necessidade de executar conexões com uma base de dados, o módulo foi desenvolvido utilizando JDBC e PostgreSQL de tal forma que tornou este componente eficiente.

As requisições executadas no banco solicitam listas de ocorrências de alarmes, datas de ativação e normalização máximas e mínimas e outras informações. Para satisfazer as requisições, a entidade de

**Algoritmo 1** Simulação de alarmes

---

```

1: procedure SIMULAR ALARMES
2:   Entrada: período de simulação
3:    $ALARME\_ATIVO\_REPETIR \leftarrow 99,95\%$ 
4:    $ALARME\_OCORRENCIA \leftarrow 0,01\%$ 
5:    $amostraAnterior \leftarrow \text{RANDOM}$  ▷ valor: ATIVO ou DESATIVO
6:   for cada amostra do período do
7:      $probabilidade \leftarrow \text{RANDOM}$  ▷ valor entre [0,1]
8:     if amostra anterior é ATIVO then
9:       if probabilidade de ALARME ATIVO REPETIR aconteceu then
10:         $amostraAtual \leftarrow ATIVO$ 
11:         $amostraAnterior \leftarrow ATIVO$ 
12:       else
13:         $amostraAtual \leftarrow DESATIVO$ 
14:         $amostraAnterior \leftarrow DESATIVO$ 
15:       else if probabilidade de ALARME OCORRENCIA aconteceu then
16:         $amostraAtual \leftarrow ATIVO$ 
17:         $amostraAnterior \leftarrow ATIVO$ 
18:       else
19:         $amostraAtual \leftarrow DESATIVO$ 
20:         $amostraAnterior \leftarrow DESATIVO$ 

```

---

ocorrências de alarmes na base de dados deve possuir atributos de forma similar como a Figura 4.1 descreve, sendo cada tupla a representação de um ciclo de ocorrência de algum alarme com informações sobre a identificação do alarme ativado, as datas de ativação e normalização da ocorrência e o tempo de duração da ocorrência em segundos.

Nome do alarme	Data Ativação	Data normalização	Tempo de duração
NV_HI	10-04-2015 13:46:30.010	10-04-2015 13:56:30.074	600
NV_HIHI	10-04-2015 13:50:04.025	10-04-2015 13:53:30.098	206
NV_HI	10-04-2015 16:11:56.003	10-04-2015 16:12:26.050	30
NV_HI	10-04-2015 18:45:34.030	10-04-2015 19:00:40.019	906
NV_HIHI	10-04-2015 18:57:04.001	10-04-2015 13:58:37.025	93

Figura 4.1: Exemplo de tuplas na entidade de ocorrência de alarmes

### 4.3 Módulo de Filtragem

O módulo de filtragem permite que o processamento se torne mais rápido ignorando precisões altas que o usuário considerar desnecessárias. Para definir a intensidade da filtragem, o sistema permite que o

usuário informe com qual janela de tempo os alarmes devem ser filtrados.

A filtragem consiste em discretizar um determinado alarme em janelas de tempo fornecidas pelo usuário e em cada amostra do alarme filtrado, o sistema checka se há alguma ocorrência de ativação na janela de tempo a frente. Em caso de ocorrência, a amostra filtrada é definida como ativa. O algoritmo 2 descreve como foi implementado a filtragem de alarmes.

---

**Algoritmo 2** Filtro de alarmes

---

```

1: procedure FILTRAR ALARMES
2:   Entrada: alarme, janela de tempo
3:    $tamanhoAlarmeFiltrado \leftarrow \frac{duracaoDoAlarme}{janelaDeTempo}$  ▷ Número de amostras filtradas
4:    $i \leftarrow 0$ 
5:   for cada amostra do alarme filtrado do
6:      $encontrado \leftarrow false$ 
7:      $indiceInicioJanela \leftarrow i * janelaDeTempo$  ▷ Determina o índice de início da janela atual
8:      $indiceFinalJanela \leftarrow (i + 1) * janelaDeTempo$  ▷ Determina o índice de fim da janela atual
9:     for cada amostra do alarme entre [indiceInicioJanela, indiceFinalJanela] do
10:      if amostra é ativa then
11:         $encontrado \leftarrow true$ 
12:        break
13:      if encontrou amostra ativa then
14:         $amostraFiltrada \leftarrow ATIVO$ 
15:      else
16:         $amostraFiltrada \leftarrow DESATIVO$ 
17:       $i \leftarrow i + 1$ 

```

---

## 4.4 Módulo de Suavização

Os alarmes, até então gerados, são caracterizados por serem discretizados no tempo pela filtragem e digitais em magnitude com valores binários. Logo surgem momentos de descontinuidade no alarme. Esta característica não é adequada para o cálculo de correlação entre alarmes industriais, pois possibilita que alarmes perdidos, falsos e ruidosos influenciem no resultado [YANG et al., 2012], sendo assim este módulo aplica funções Gaussianas (ver Equação 4.1) sobre determinadas amostras do alarme com o objetivo de torná-lo um sinal discreto e analógico, com uma suavidade associada.

$$G(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} \quad (4.1)$$

A metodologia de para qual amostra deve-se aplicar a função Gaussiana determina o objetivo do sinal gerado. Desta forma, dado que a função do sinal de similaridade é ser útil para o cálculo de correlação considerando a duração das ocorrências de ativação, é adequado a aplicação das gaussianas em todas as amostras ativas do alarme. Para o sinal de causalidade, a aplicação das gaussianas somente



sobre as amostras que iniciam uma ocorrência de ativação do alarme é adequada, pois a função deste sinal é ser útil para o cálculo de correlação considerando apenas os momentos de início das ocorrências de ativação.

O módulo permite que o usuário defina o grau de suavidade aplicado aos alarmes alterando o desvio padrão das funções Gaussianas aplicadas, esta opção é necessária pois este parâmetro está vinculado diretamente com a dinâmica do processo industrial em análise. O algoritmo 3 descreve como os sinais de similaridade e causalidade são gerados.

---

**Algoritmo 3** Suavização de alarmes

---

```

1: procedure SUAVIZAR ALARMES
2:   Entrada: alarme, grau de suavidade
3:   inicializar sinal de similaridade                                ▷ Valores iniciais nulos
4:   inicializar sinal de causalidade                                ▷ Valores iniciais nulos
5:   amostra.Anterior ← DESATIVO
6:   for cada amostra do alarme do
7:     if amostra atual é ATIVO then
8:       APLICARGAUSSIANA(similaridade,suavidade)
9:     if amostra anterior é DESATIVO then
10:      APLICARGAUSSIANA(causalidade,suavidade)
11:   amostra.Anterior ← amostra.Atual

```

---

## 4.5 Módulo de Correlação

Neste módulo, são executadas todas as combinações de correlação possíveis preenchendo as matrizes de confusão resultantes do sistema. Para cada par de alarmes em análise, são aplicados deslocamentos no tempo em um dos alarmes e então calculado o coeficiente de correlação de Pearson. O resultado é a geração de uma função de correlação por deslocamento dos alarmes em análise.

A Figura 4.2 descreve como o processo de correlação é executado. O valor de deslocamento aplicado é definido pelo usuário conforme for útil para a análise final. Por fim, o módulo também armazena o melhor valor de correlação e seu deslocamento associado para o par de alarmes em questão.

O maior valor de correlação encontrado é definido como a correlação ideal, e seu deslocamento associado é dito como o atraso médio entre os alarmes analisados. O sinal de correlação por deslocamento tem por função determinar a veracidade do valor de correlação ideal e atraso médio. Um sinal de correlação que possui picos indica que em determinados valores de deslocamento a correlação entre os alarmes aumentou muito de forma instantânea, garantindo que os valores encontrados são importantes, porém se o sinal for pouco variante e sem picos significa que para várias configurações de deslocamento a correlação foi mantida constante, indicando que os valores encontrado não são confiáveis, pois os alarmes não possuem correlação.

Os cálculos dos coeficientes de correlação de Pearson foram feitos com o auxílio da API Apache

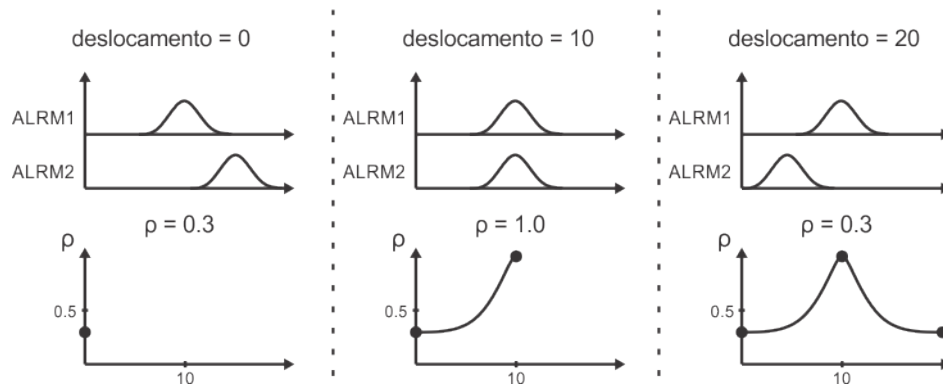


Figura 4.2: Deslocamento de alarmes para geração de sinal de correlação

Commons Math 3.6, que deu todo o suporte necessário para obter os resultados. O algoritmo 4 descreve como são encontrados os valores de correlação ideal, atraso médio e sinal de correlação por deslocamento.

---

#### Algoritmo 4 Correlação de alarmes

---

```

1: procedure CORRELACIONAR ALARMES
2:   inicializar sinal de correlação           ▷ número de amostras igual ao deslocamento
3:    $correlacaoIdeal \leftarrow -1$ ;           ▷ menor valor possível
4:    $atrasoMedio \leftarrow 0$ 
5:   for cada valor de deslocamento do
6:      $alarme2 \leftarrow$  DESLOCAR ALARME(alarme 2,deslocamento atual)
7:      $correlacao \leftarrow$  CORRELAÇÃO(alarme 1,alarme 2)
8:     if  $correlacao > correlacaoIdeal$  then
9:        $correlacaoIdeal \leftarrow correlacao$ 
10:     $atrasoMedio \leftarrow deslocamentoAtual$ 

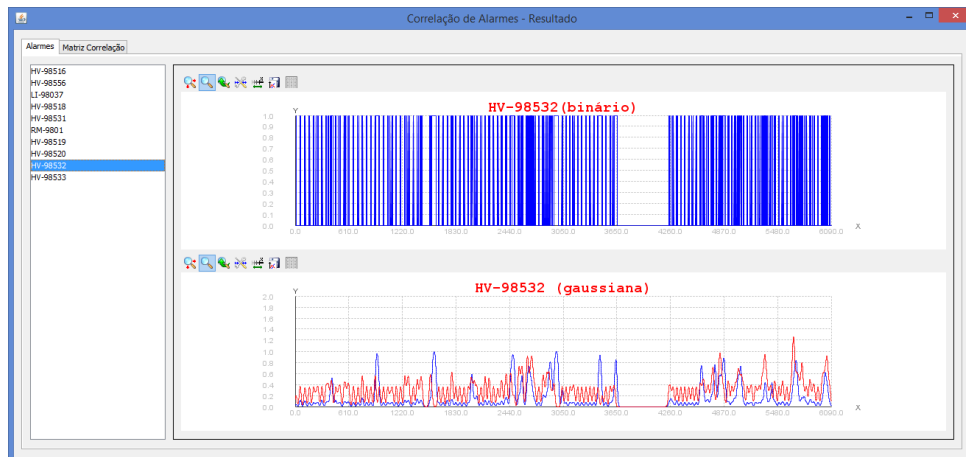
```

---

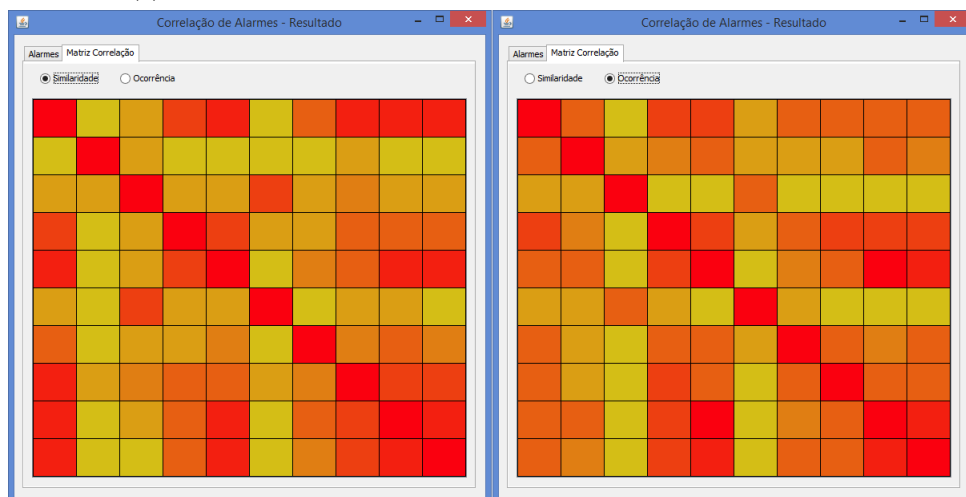
## 4.6 Módulo de Exibição dos Resultados

Neste módulo, o sistema exibe os alarmes analisados bem como seus sinais de similaridade e causalidade com intuito de possibilitar que o usuário faça a análise visual em conjunto com a análise das matrizes de confusão. Todos os gráficos utilizados para exibição no sistema foram implementados com o auxílio da API JMathPlot.

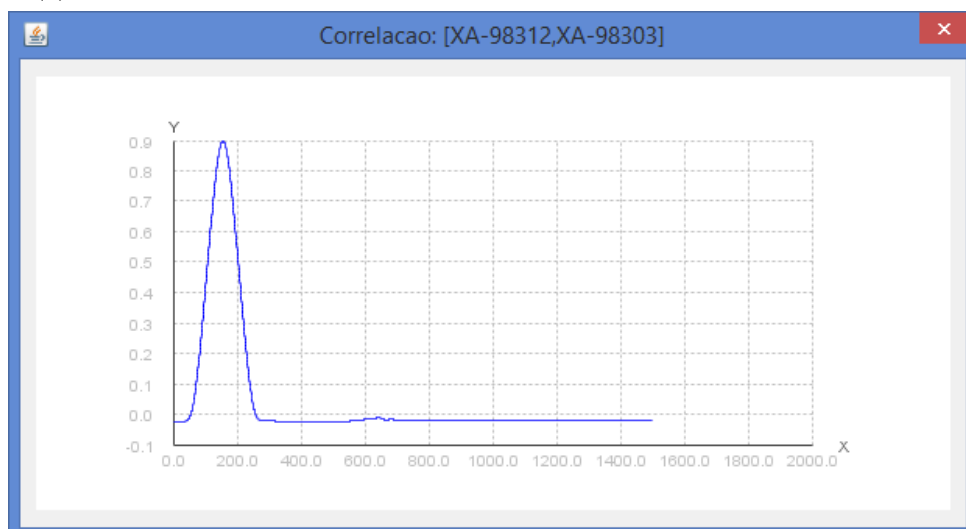
Para tornar a utilização da matriz de confusão mais dinâmica com o usuário foram implementadas respostas a ação do mouse sobre as células das matrizes. O usuário ao passar o mouse sobre as células poderá ver: o par de alarmes analisados em questão e o respectivo valor de correlação ideal. Tal valor está associada a cor de fundo da célula da matriz. Ao clicar duas vezes em uma célula o sistema exibe a função de correlação por deslocamento respectiva. Isto possibilita que o usuário tenha mais praticidade com o software, facilitando a análise dos alarmes. As Figuras 4.3a, 4.3b e 4.3c exibem as informações oferecidas pelo módulo.



(a) Exibição dos alarmes e seus sinais de similaridade e causalidade



(b) Exibição das matrizes de confusão de similaridade e causalidade, respectivamente



(c) Exibição da função de correlação por deslocamento

Figura 4.3: Informações fornecidas pelo módulo de exibição dos resultados

## Capítulo 5

# Resultados e Discussão

Com todo o sistema desenvolvido foram realizados testes para verificar a sua eficiência. Inicialmente, o sistema foi testado com alarmes predeterminados que possuem alguma correlação conhecida entre si e depois com os alarmes industriais reais.

### 5.1 Teste com Alarmes Simulados

Os alarmes predeterminados foram criados manualmente com o objetivo de adicionar relações de periodicidade e causalidade entre si. A tabela 5.1 detalha a função de cada alarme na análise.

Tabela 5.1: Dados dos alarmes gerados para testes do sistema de correlação

Nome do alarme	Período	Duração	Detalhes
<i>periodico_causalidade</i>	$10 \pm 1$ hora	$5 \pm 3$ hora	-
<i>periodico_similaridade</i>	$10 \pm 1$ hora	$2 \pm 0.5$ hora	-
<i>causadorDinIguaiIdeal</i>	$10 \pm 1$ hora	$2 \pm 0.5$ hora	Atraso: $1 \pm 0.3$ hora
<i>consequenciaDinIguaiIdeal</i>	$10 \pm 1$ hora	$2 \pm 0.5$ hora	Probabilidade: 100%
<i>causadorDinIguaiNaoIdeal</i>	$24 \pm 3$ hora	$3 \pm 1.5$ hora	Atraso: $1.5 \pm 0.3$ hora
<i>consequenciaDinIguaiNaoIdeal</i>	$24 \pm 3$ hora	$3 \pm 1.5$ hora	Probabilidade: 80%
<i>causadorDinDifIdeal</i>	$24 \pm 3$ hora	$4 \pm 0.5$ hora	Atraso: $1 \pm 0.3$ hora
<i>consequenciaDinDifIdeal</i>	$24 \pm 3$ hora	$1 \pm 0.5$ hora	Probabilidade: 100%

O alarme *periodico\_causalidade* possui um perfil periódico com durações de ocorrência variantes. Desta forma, o sinal de similaridade não obterá bons resultados com este alarme. É esperado que o sinal de causalidade identifique com exatidão a periodicidade do alarme.

O alarme *periodico\_similaridade* possui um perfil periódico com durações de ocorrência ligeiramente próximas. Desta forma, tanto o sinal de similaridade quanto de causalidade resultarão em boas indicações com este alarme.

Os alarmes *causadorDinIguaiIdeal* e *consequenciaDinIguaiIdeal* possuem relação causal, foram gerados com base em variáveis de processo de dinâmicas similares, portanto a duração média das ocorrências

dos dois alarmes é similar. Por serem ideais, o alarme consequência sempre ativará após um atraso médio da ativação do alarme causador. É esperado que o sinal de similaridade seja capaz de identificar o perfil causal dos alarmes.

Os alarmes *causadorDinIgualNaoIdeal* e *consequenciaDinIgualNaoIdeal* possuem relação causal. Também foram gerados com base em variáveis de processo de dinâmicas similares, logo a duração média das ocorrências dos dois alarmes é similar. Porém, por serem não ideais, o alarme consequência ativará após um atraso médio da ativação do alarme causador com probabilidade de 80%, isto é, nem todas as ocorrências do alarme causador serão seguidas por ocorrências do alarme consequência. É esperado que o sinal de similaridade seja capaz de identificar o perfil causal dos alarmes, porém com um valor moderado de correlação associado.

Os alarmes *causadorDinDifIdeal* e *consequenciaDinDifIdeal* possuem relação de causa e foram gerados com base em variáveis de processo de dinâmicas distintas, portanto a duração média das ocorrências dos dois alarmes são diferentes. Entretanto, por serem ideais, o alarme consequência sempre ativará após um atraso médio da ativação do alarme causador. É esperado que o sinal de causalidade seja capaz de identificar o perfil causal dos alarmes.

Estes alarmes foram aplicados no sistema com os parâmetros de execução exibidos na Figura 5.1.

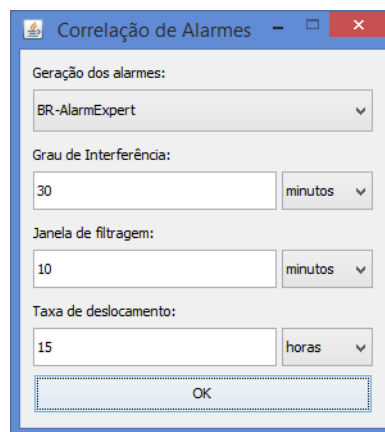


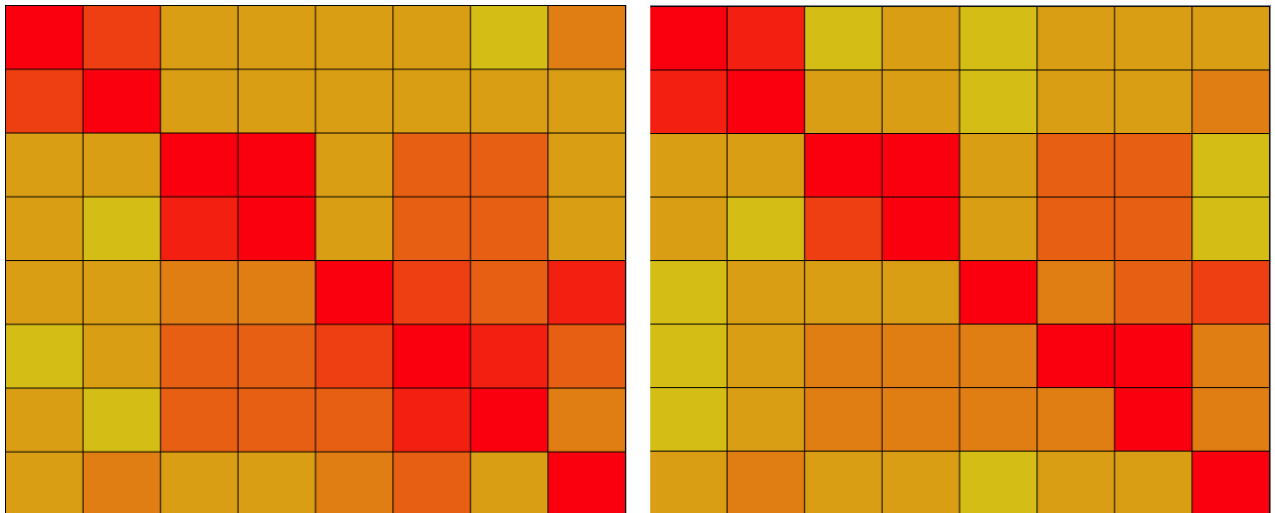
Figura 5.1: Matrizes de confusão de similaridade e causalidade resultantes

A Figura 5.2 demonstra os resultados da correlação por similaridade e causalidade.

De início, a análise visual tem seu escopo reduzido com base no número de células de cor vermelha, que indicam valores de correlação considerados alto ( $\rho_{x,y} \geq 0.7$ ). A matriz de confusão de correlação de alarmes possuirá sua diagonal principal sempre com valor máximo, pois este valor é referente ao cálculo de autocorrelação com deslocamento 0 (zero).

Através da diagonal principal podemos identificar possíveis alarmes periódicos. No teste em execução clicando nas duas primeiras células da diagonal principal são fornecidas os sinais de autocorrelação dos alarmes *periodico\_causalidade* e *periodico\_similaridade*, os quais exibidos na Figura 5.3.

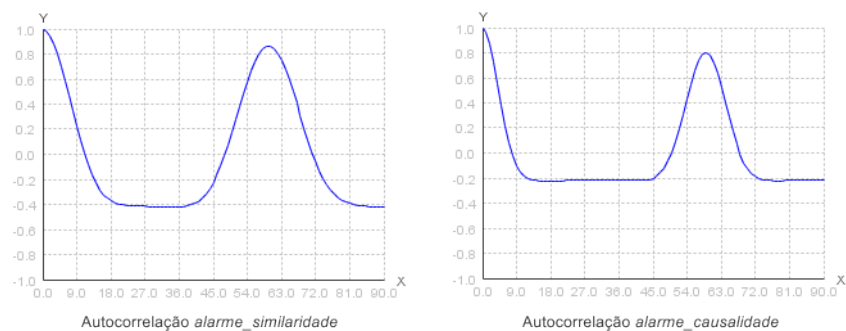
Através da Figura 5.3 é possível identificar que os alarmes em análise possuem um comportamento periódico e que o período é de aproximadamente 59 unidades de tempo com base na janela de tempo definida. Logo o período identificado é de 590 minutos (aproximadamente 10 horas), valor esperado



Matriz de Similaridade

Matriz de Causalidade

Figura 5.2: Matrizes de confusão de similaridade e causalidade resultantes

Figura 5.3: Sinais de autocorrelação dos alarmes *periodico\_causalidade* e *periodico\_similaridade*

conforme definido na Tabela 5.1.

Clicando em outras células que não sejam da diagonal principal é fornecido o sinal de correlação entre alarmes distintos, nestes casos é possível identificar padrões de alarmes redundantes e causais. Na Figura 5.4 são exibidos os sinais de correlação fornecidos pelo sistema que possuem alto valor de correlação ideal.

Nos sinais exibidos na Figura 5.4 é notável a presença de picos com um certo deslocamento relacionado, isto indica que possivelmente os alarmes em análise possuem padrões de causalidade.

No primeiro sinal da Figura 5.4 (sinal à esquerda) é exibido o resultado da correlação cruzada entre os alarmes *causadorDinIgualIdeal* e *consequenciaDinIgualIdeal*. Neste resultado é possível notar que há um forte indício de atraso em aproximadamente 6 unidades de tempo ou 60 minutos (1 hora) entre os alarmes. No segundo sinal (sinal ao centro) é exibido o resultado da correlação entre os alarmes *causadorDinIgualNaoIdeal* e *consequenciaDinIgualNaoIdeal*. Para este caso, o pico está localizado sobre um atraso próximo a 9 unidades de tempo ou 90 minutos (1.5 horas), indicando a existência de um atraso entre os alarmes, porém com um valor associado moderado, fazendo jus ao fato dos alarmes não serem ideais. No último sinal (sinal à direita) é exibido o resultado da correlação entre os alarmes

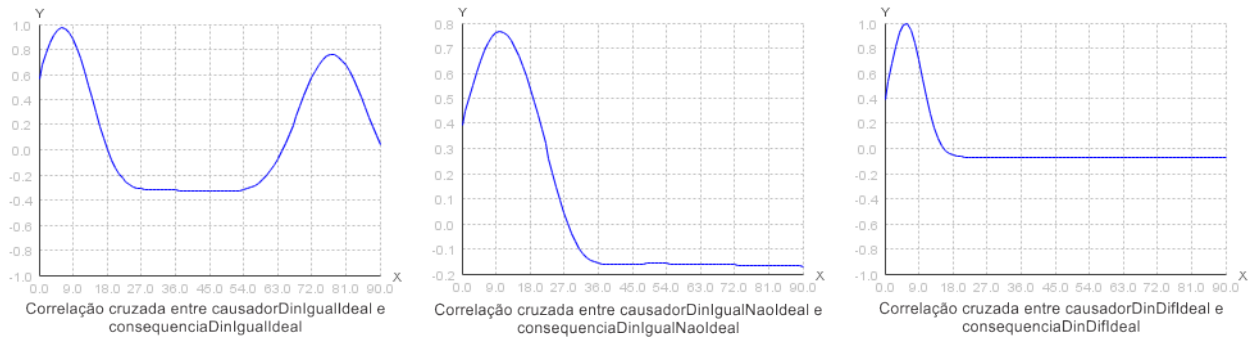


Figura 5.4: Sinais de correlação dos alarmes causais

*causadorDinDifIdeal* e *consequenciaDinDifIdeal*. Neste apenas um pico é identificado indicando o atraso entre os alarmes de aproximadamente 6 unidades de tempo ou 60 minutos (1 hora). Todos os valores analisados se enquadram com as definições da Tabela 5.1.

Com este teste foi possível verificar que o sistema é capaz de identificar padrões de alarmes periódicos, causais e redundantes. Entretanto faz-se necessário definir bons parâmetros de análise que são únicos para cada caso de análise.

## 5.2 Teste com Alarmes Reais

Aplicar o sistema de correlação em alarmes reais torna o processo de análise mais demorado e complexo, pois o número de alarmes na industria gira em torno de milhares, tornando reduzida a eficiência do sistema. Isto ocorre, pois o sistema irá aplicar a correlação cruzada com todos os pares possíveis de alarmes selecionados. Entretanto, os alarmes são divididos em grupos de forma que o número de alarmes úteis para análise pode ser reduzido.

Foram executados testes de alarmes reais com o sistema de correlação utilizando-se a base de dados de sistemas de alarmes industriais. As Figuras 5.5, 5.6 e 5.7 demonstram os resultados obtidos de análises executadas com grupos de alarmes.

Através da matriz de similaridade foi identificado um par de alarmes (FC\_2313069 e PC\_2313085) que possui alto valor de correlação sem aplicação de deslocamento. Desta forma é possível concluir que os alarmes em questão possuem o mesmo comportamento no período analisado. Através da Figura 5.6 é possível notar que os alarmes, de fato, passam a maior parte do tempo de operação de forma similar, indicando possível configuração de alarme redundante.

Executando novos testes, com mais alarmes e outros parâmetros de execução, foi possível identificar uma possível configuração de alarme causal. Embora o fato de ter ocorrido apenas uma ocorrência tendencie o resultado como alarmes causais, a indicação pelo sistema foi bem executada e o atraso médio aceitável, pois está a menos de 100 horas de deslocamento temporal. O resultado pode ser visto na Figura 5.7.

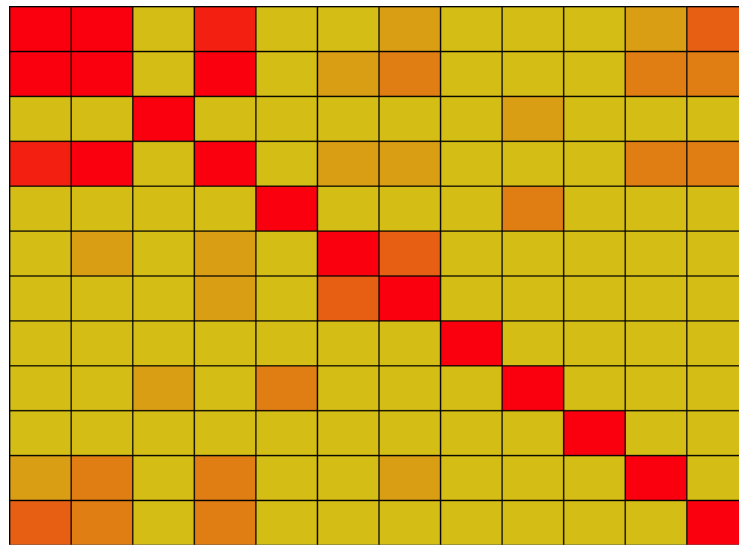


Figura 5.5: Matriz de similaridade resultante com 12 alarmes reais em análise

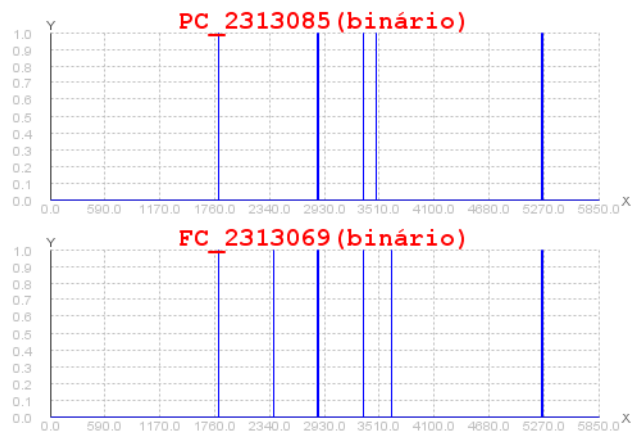
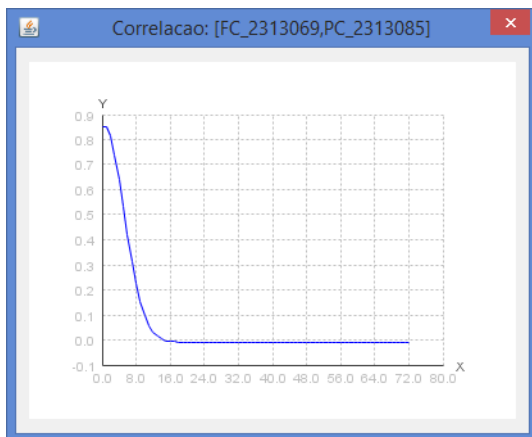


Figura 5.6: Identificação de possível alarme redundante

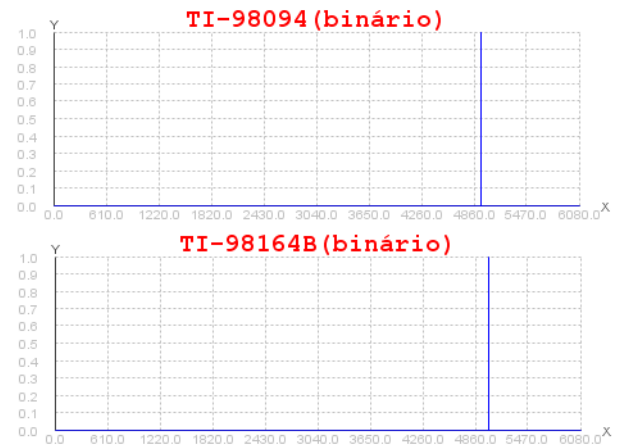
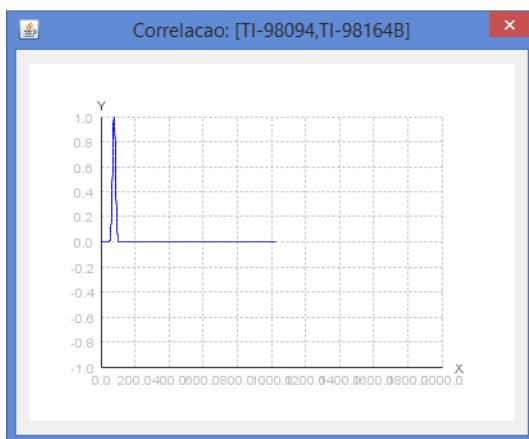


Figura 5.7: Identificação de possíveis alarmes causais



## Capítulo 6

# Conclusão

A configuração de alarmes é uma tarefa complexa, e quando não é bem executada, resulta em um ambiente de trabalho cansativo e ineficiente para o operador. Nestes casos, o prejuízo é alto pois todo o processo é colocado em um risco maior de incidentes como mostrado neste trabalho. O gerenciamento de alarmes vem crescendo na indústria devido à sua importância direta na produtividade e segurança de trabalho, sendo cada vez mais investida no cenário de automação industrial.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de facilitar o processo complexo e árduo de configuração de um bom sistema de alarmes, indicando para a indústria possíveis configurações de alarmes problemáticos devido ao seu perfil redundante, periódico ou causal. Sendo assim, com os testes propostos e resultados obtidos, o sistema mostrou ser bastante eficiente facilitando a identificação dos alarmes problemáticos e indicando possíveis perfis nos mesmos. O sistema aparenta ser de grande utilidade nas etapas de identificação e racionalização de um sistema de alarmes.

Por fim, ainda há muitas possibilidades de aprimoramentos do sistema, desde diversidades de opções para execução até novas implementações de análises, possivelmente, mais eficientes. O sistema tende, num futuro, a permitir que o usuário selecione outros tipos de coeficientes de correlação, possua um leque maior de opções como fontes de alarmes, tenha mais dinâmica no acesso aos resultados e que gere um grafo de causalidade dos alarmes que pode ser montado com base nos dados das matrizes de correlação.

# Referências Bibliográficas

- [1] HOLANDA, Aurélio Buarque de , *Novo dicionário da língua portuguesa*, 12a. impressão, 1975.
- [2] LEITÃO, Gustavo Bezerra Paz, *Algoritmos para Análise de Alarmes em Processos Petroquímicos*, 2008. 90 f. Dissertação (Mestrado), 2008.
- [3] EEMUA, *ALARM SYSTEMS a Guide to Design, Management and Procurement*, Relatório Técnico 191, The Engineering Equipment and Materials Users Association ,1999.
- [4] ANSI/ISA-18.2, *Management of Alarm Systems for the Process Industries*, 2009.
- [5] YANG, F. et al. *Improved correlation analysis and visualization of industrial alarm data*. *Isa Transactions*, [s. L.], v. 51, n. 4, p.499-506, jul. 2012. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.isatra.2012.03.005.
- [6] DUNN, Donald G. & Nicholas P. SANDS (2005), *ISA-SP18 - Alarm Systems Management and Design Guide*, ISA EXPO 2005.
- [7] CORREA, Sonia M. B. Barbosa. *Probabilidade e estatística*, 2a. edição, Belo Horizonte: PUC Minas Virtual, 2003.
- [8] CHAPTER 6 Describing Random Sequences. Em: DIGITAL Signal Processing. Newcastle: University Of Newcastle, 20-. p. 6.5. Disponível em: <<https://www.staff.ncl.ac.uk/oliver.hinton/eee305/Chapter6.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2015.
- [9] BOURKE, Paul. *Cross Correlation*. 1996. Disponível em: <<http://paulbourke.net/miscellaneous/correlate/#2d>>. Acesso em: 27 maio 2015.
- [10] HOLLIFIELD, Bill; HABIBI, Eddie. *Alarm Management: A Comprehensive Guide*. 2. ed. [s. L.]: International Society Of Automation, 2010.