

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E
SISTEMAS

ALAN ROBERT DA SILVA RIBEIRO

**ABORDAGEM MULTIAGENTES EMBARCADA PARA ALARME EM AMBIENTES
INDUSTRIAIS DE SALA DE CUBAS ELETROLÍTICAS**

São Luís
2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E
SISTEMAS

ALAN ROBERT DA SILVA RIBEIRO

**ABORDAGEM MULTIAGENTES EMBARCADA PARA ALARME EM AMBIENTES
INDUSTRIAIS DE SALA DE CUBAS ELETROLÍTICAS**

Dissertação de Mestrado em Engenharia de Computação e Sistemas, na área de concentração: Tecnologia da Informação, apresentada à Coordenadoria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Computação e Sistemas da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia da Computação e Sistema.

Orientador: Prof. Dr. Luís Carlos Costa Fonseca

São Luís
2017

ALAN ROBERT DA SILVA RIBEIRO

**ABORDAGEM MULTIAGENTES EMBARCADA PARA ALARME EM AMBIENTES
INDUSTRIAIS DE SALA DE CUBAS ELETROLÍTICAS**

Dissertação de Mestrado em Engenharia de Computação e Sistemas, na área de concentração: Tecnologia da Informação, apresentada à Coordenadoria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Computação e Sistemas da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia da Computação e Sistema.

Aprovado em 21/07/ 2017

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luís Carlos Costa Fonseca
Orientador

Prof. Dr. Antônio Fernando Lavareda Jacob Júnior
Examinador Interno

Prof. Dr. Fernando Jorge Cutrim Demétrio
Examinador Interno

SÃO LUÍS (MA), 19 DE JUNHO DE 2017

Ribeiro, Alan Robert da Silva.

Abordagem multiagentes embarcada para alarme em ambientes industriais de sala de cubas eletrolíticas./ Alan Robert da Silva Ribeiro.– São Luís, 2017.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Computação e Sistemas, Universidade Estadual do Maranhão, 2017.

Orientador: Prof.Dr. Luís Carlos Costa Fonseca.

1.Alumínio – indústria. 2. Sistemas multiagentes. 3. Sistemas embarcados. I. Título.

CDU 004:669.71

Dedico este trabalho à todas as
mulheres que fazem a minha vida ser feliz,
em especial, minha avó, Francisca Vieira,
minha Mãe, Maria Vieira,
minha Tia (mãe grande), Irene Vieira e
minha esposa, Diana Pereira.

AGRADECIMENTOS

À minha família e amigos, pelo apoio e compreensão durante este enriquecedor período.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luís Carlos Costa Fonseca, por ter se tornado mais que um orientador, um amigo.

Aos professores Henrique Mariano, Reinaldo Silva, Omar, João Carlos, Eveline de Jesus, com quem tive a oportunidade de vivenciar disciplinas envolvendo as dificuldades e conceitos em nível de mestrado, muito úteis para o desenvolver desta pesquisa.

Aos amigos e colaboradores de trabalho pelas críticas, sugestões e ensinamentos.

Aos funcionários do PECS, em especial Srta. Sara, e aos alunos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Computação e Sistemas 2015, especialmente aos amigos, Sr. Thiago Nunes e Sr. John Selmo, pela colaboração e presteza.

*A maior parte do que sabemos, é a
menor do que ignoramos.
(Padre Antônio Vieira)*

RESUMO

Ambientes industriais de chão de fábrica necessitam de uma intervenção rápida dos computadores controladores e dos operadores para garantir maior eficiência na produção industrial. Este trabalho foca a eficiência no controle de processo de salas de cubas eletrolíticas. O objetivo inicial deste trabalho é construir uma solução embarcada para detecção e alarme, usando tecnologia de sistemas multiagentes de modo que os controladores possam alarmar aos operadores de área aquelas cubas eletrolíticas que apresentam problemas, em caso da intervenção sem sucesso desses controladores. Se as atuações dos controladores não forem bem-sucedidas, em função de um problema nos alimentadores e barramentos das cubas eletrolíticas, um alarme de áudio é gerado e emitido imediatamente para a sala de cubas de modo que o operador possa perceber a existência de um problema específico, independentemente da sua localização dentro da sala de cubas.

Palavras-chave: Alarme. Sala de Cubas. Agentes. Sistemas Embarcados. Cuba. Sistemas Multiagentes.

ABSTRACT

Industrial Shop Floor environments require fast intervention of the controller's computers and operators to ensure high industrial production efficiency. This work focuses the electrolytic potrooms process control efficiency. The main goal of this work is to design an embedded solution for detection and alarm, using multi-agents system technologies so that controllers can alert plant operators about the problems in the electrolytic cells still malfunctioning after controller intervention. If the controller action was unsuccessful due to a feeder and cell bus problem, an audio alarm is immediately issued to the potrooms so that the operator can be notified about the specific problem, independently of the potrooms location.

Keywords: Alarm. Potrooms. Agents. Embedded Systems. Pot. Multi-agent system.

LISTA DE PUBLICAÇÕES

1. Ribeiro, A. R., Fonseca, L. C., Nascimento, J. S. “Approach Multi-Agents Embedded Alarm in Potrooms” Fifth International Conference on Advanced Information Technologies and Applications (ICAITA 2016), Dubai, UAE, November 12~13, 2016 Volume Editors: David C. Wyld et al. (Eds): ICAITA, CDKP, CMC, SOFT, SAI – 2016 pp. 83–95, 2016. © CS & IT-CSCP 2016 DOI: 10.5121/csit.2016.61308. ISBN: 978-1-921987-58-8. Aceito. Science and Information Conferences - SAI Computing Conference - London 2017. Aceito.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Redução Alumar. Fonte: www.alumar.com.br (2016).....	14
Figura 2 - Diagrama de bloco para distribuição de alumina na cuba. Fonte: (Braga, 2008)....	19
Figura 3 - Linha de cubas prebaked, lado a lado. Fonte: (Kvande, 2014).....	21
Figura 4 - Modelo de Referência FIPA de uma plataforma de agente. Fonte: (Fipa, 2001).....	25
Figura 5 - Modelo de Referência FIPA de transporte de mensagem. Fonte: (Fipa, 2001a).....	27
Figura 6 - Modelo de referência FIPA de serviço de ontologia. Fonte: (Fipa, 2001d).....	28
Figura 7 - Arquitetura do Agente Genérico JADE. Fonte: (Jade, 2016).....	35
Figura 8 - AUML – Diagrama de Sequência. Fonte: (Gatti, 2007).....	37
Figura 9 - AUML – Diagrama de Estado. Fonte: (Gatti, 2007).....	37
Figura 10 - Raspberry Modelo B+. Fonte: (Raspberry, 2016).....	38
Figura 11 - Diagrama de Casos de Uso do sistema proposto. Fonte: do autor.....	46
Figura 12 - Diagrama de Projeto da Solução Proposta. Fonte: do Autor.....	47
Figura 13 - Diagrama de transição de estado do sistema proposto. Fonte: do Autor.....	48
Figura 14 - Diagrama de bloco da solução proposta. Fonte: do Autor.....	49
Figura 15 - Diagrama de Agentes. Fonte: do autor.....	51
Figura 16 - A ontologia organizacional de detecção e alarme. Fonte: do autor.....	51
Figura 17 - Protótipo do Sistema Proposto. Fonte: do autor.....	52
Figura 18 - Protótipo do gerenciamento de alarmes. Fonte: do autor.....	53

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1 - Mensagens de Alarme audível geradas de acordo com os cenários mapeados.....	43
Tabela 2 - Levantamento de requisitos: identificação de atores e ações.....	45
Tabela 3 - Tabela de responsabilidade do projeto de detecção e alarme em sala de cubas.....	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	17
1.2 Motivação	18
1.3 Organização da Dissertação	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 Controle de Cubas Eletrolíticas	19
2.2 Controle de Processo Eletrolítico por Computador	20
2.3 A importância dos Alarmes em Ambientes Industriais	20
2.4 Parâmetros e Estratégia de Controle para Produção de Alumínio	22
2.5 Paradigma de desenvolvimento baseado em agentes	23
2.5.1 Foundation for Intelligent Physical Agents – FIPA.....	24
2.5.2 Protocolo de negociação e interação entre agentes.....	27
2.5.3 Teoria Axiomática de Barganha.....	28
2.5.4 Teoria de Negociação Estratégica.....	28
2.5.5 Computação em Negociação.....	29
2.6 Modelagem baseada em agentes	30
2.7 Sistemas Multiagentes	31
2.7.1 A ferramenta Jade.....	33
2.7.2 Auml – Linguagem de especificação para Sistemas Multiagentes.....	35
2.8 Sistemas Embarcados	36
2.8.1 Raspberry PI.....	37
3 TRABALHOS RELACIONADOS	39
3.1 Ferramenta para detecção e alerta com sensores de temperatura para veículos	39
3.2 Sistema inteligente para detecção e alerta de intrusão	39
3.3 Detecção e alerta de gases tóxicos através de microcontroladores	39
3.4 Abordagem para gestão de alarmes baseadas em ocorrências	39
3.5 Sistema de monitoramento e alarme áudio-link	40
4 MATERIAL E MÉTODO	41
4.1 Etapas da pesquisa	41
4.2 Classificação de alarmes para sala de cubas	42
4.3 Levantamento de requisitos	44
4.4 Proposta de um Modelo de Arquitetura	46
4.4.1 Diagramas do Projeto.....	47
4.4.2 Protótipo da implementação.....	51
5 TRABALHOS FUTUROS	54
5.1 Sistemas de tempo real	54
5.1.1 Jamaica VM.....	55
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
REFERÊNCIAS	59
APÊNDICE	63

1 INTRODUÇÃO

No processo de produção de alumínio, o custo e a qualidade do referido produto é fortemente afetado pela quantidade de alumina adicionada na célula de produção. A resistência e suas variações de primeira e segunda ordens são utilizadas para avaliar o percentual da concentração de alumina no banho (FIONA, 2001). A variação da resistência é a variável primária utilizada como métrica de avaliação do comportamento da cuba.

Em termos práticos, o monitoramento e o controle das variações de alumina no banho são implementados em termos da avaliação da variação resistiva. Há situações, entretanto, em que os computadores de controle de processo eletrolítico, mesmo enviando sinais para que os atuadores de alimentação de alumina e para movimentação dos barramentos que regulam a resistência das cubas eletrolíticas que possibilitam melhor controle da quantidade de alumina na cuba, podem interromper essa garantia de controle em função de eventuais falhas em componentes mecânicos dos atuadores e barramentos voltaicos.

Portanto, a rápida atuação do operador de cuba para reestabelecimento da operação normal dos equipamentos e continuidade do processo de produção de alumínio com maior ganho de produção, torna-se uma preocupação diária da gerência de produção. Isso ocorre na medida em que uma sala de produção de alumínio dispõe de centenas de equipamentos, distribuídos ao longo de grandes corredores de produção. A Figura 1 mostra a sala de cubas do grupo Alcoa, no Brasil, que possui três linhas de produção com 204, 250 e 256 cubas eletrolíticas, cada, perfazendo um total de 710 cubas eletrolíticas.

FIGURA 1-REDUÇÃO ALUMAR.



FONTE: WWW.ALUMAR.COM.BR (2016)

Nota-se que as salas de cubas, do referido grupo, são dispostas em grandes corredores nas quais as cubas eletrolíticas estão dispostas em série, lado a lado. Essas cubas são controladas pelos computadores de controle de processo, os quais enviam sinais para acionamento dos alimentadores possibilitando, com isso, a adição de alumina na cuba. Além disso, o computador de controle é responsável pelo envio de sinais para acionamento mecânico de movimentação dos barramentos, que consiste em uma ferramenta responsável pela regulação da variação de resistência da cuba eletrolítica.

Quando, porventura, uma falha mecânica ocorre em um desses dispositivos, temos como consequência uma demora na correção e reestabelecimento do funcionamento da cuba eletrolítica. Esta falha ocasiona o excesso na movimentação de barramento e alimentação de alumina na cuba em função de acionamentos não autorizados pelo computador de controle, gerando o acúmulo de alumina ou a falta deste, causando maior resistência à passagem da corrente elétrica e afetando negativamente a eficiência na produção de alumínio, de forma a comprometer todo processo de produção de alumínio.

Torna-se necessária, então, a adoção de uma técnica que melhor se encaixe na aplicação de controle de processo eletrolítico por computador, de forma a prover as informações e alertas necessários. Desta forma, pode-se superar e minimizar os problemas que poderão surgir, como por exemplo, efeito anódico, que potencializa o desligamento não programado da cuba, ou seja, requisitos temporais de comprometimento da qualidade e da vida útil das mesmas.

Dessa forma, uma solução embarcada com tecnologias de comunicação é construída-baseada em sistemas multiagentes e direcionada pelo modelo estímulo resposta, com o propósito de mapear e detectar todas as anormalidades que impeçam o correto funcionamento da cuba eletrolítica, mesmo com o envio de sinais de atuação dos controladores. Caso ocorra situação em que os sinais de atuação não estejam suficientes para estabelecer o nível aceitável de variação resistiva, e conseqüentemente, de alumina na cuba eletrolítica, será necessário o envio imediato de alarmes específicos e parametrizados de áudio, a fim de possibilitar que os operadores e técnicos das salas de cubas (chão de fábrica) percebam a situação e realizem a devida intervenção para solução do problema físico dos equipamentos que está ocasionando a instabilidade.

Além disso, o sistema é acessível, podendo ser facilmente implementado em outras indústrias de automação que possuem controladores, como PLC (programming logic controller) e

controle de processos por computador através de outras linguagens para controladores.

As tecnologias investigadas nesta pesquisa são: Sistema de Controle de Processos (Potrooms Control System), Sistemas Multiagentes e Softwares Embarcados (Embedded Systems). Estas tecnologias são todas utilizadas na construção de uma solução de monitoramento e alarme em tempo real. Para realizar tal análise é utilizado, como estudo de caso, um sistema de gerenciamento de alarmes para salas de cubas – espaços em que ocorre a produção de alumínio – que foi construído utilizando as tecnologias acima epigrafadas.

Aborda-se, portanto, a necessidade de detecção e alarmes em ambientes de automação e controle, na qual os controladores não conseguem atuar da forma correta e precisa em função de problemas mecânicos (físicos) nos equipamentos que recebem os sinais de comando para atuação – conforme os pulsos gerados e emitidos pelos controladores. Em se tratando de grandes ambientes de chão de fábrica, onde cada cuba eletrolítica necessita que seus respectivos atuadores trabalhem em tempo real à medida que os atuadores são acionados, a demora na identificação de problemas dessa natureza pode levar à perda de produtividade e até a própria cuba eletrolítica de produção de alumínio. Esta situação gera, conseqüentemente, prejuízos financeiros para o processo de produção.

Como contribuição, esta dissertação visa apresentar uma solução embarcada para gerenciamento e alarme, baseado no padrão observar e reagir, utilizando sistemas multiagentes para monitoramento e conversão das mensagens de texto geradas pelos controladores, de forma a permitir a emissão em tempo real do estado e comportamento do ambiente, a fim de possibilitar a adoção de ações operacionais preventivas e no menor intervalo de tempo, por parte dos operadores de cubas que ali atuam.

Consiste, portanto, na construção de uma solução de software embarcada em uma placa de hardware para ambiente de automação e controle, baseado no modelo estímulo resposta, capaz de se comunicar com controladores de cubas eletrolíticas através do uso de sistemas multiagentes, permitindo a comunicação entre um agente centralizador e agentes controladores para a transmissão/recebimento de mensagens textuais parametrizadas encaminhadas alertando sobre cada um dos potenciais problemas identificados em uma determinada cuba eletrolítica. Essas mensagens textuais são recebidas pelo agente centralizador que converte em mensagens de áudio transmitidas aos canais de alto-falantes, distribuídos ao longo do chão de fábrica, possibilitando que o técnico e o encarregado do processo na sala de cubas possa identificar uma cuba com problema, mesmo estando em um local distante da cuba problemática.

1.1 Objetivos

Esta contribuição está baseada na proposta de um modelo de arquitetura para construção de uma solução multiagente embarcada para detecção e alarme audível para ambientes industriais de sala de cubas, baseado no padrão observar e reagir, utilizando sistemas multiagentes para monitoramento e conversão das mensagens geradas pelos controladores, possibilitando a emissão em tempo real, do estado e comportamento do ambiente, permitindo a adoção de ações operacionais preventivas e no menor intervalo de tempo, por parte dos operadores de cubas que ali trabalham.

O objetivo específico consiste na construção de uma solução de software embarcada em hardware para ambiente de automação e controle, baseado no modelo estímulo resposta, capaz de se comunicar com controladores de cubas eletrolíticas através do uso de sistemas multiagentes. Esta proposta permite a comunicação do agente centralizador e agentes controladores para a transmissão/recebimento de mensagens textuais encaminhadas, geradas pelos computadores de controle de processo, alertando sobre cada um dos potenciais problemas identificados nas diversas cubas eletrolíticas.

Para tanto, serão construídos artefatos para a arquitetura proposta, usando a linguagem de modelagem para sistemas multiagentes, abrangendo:

- Diagrama de Casos de Uso para o cenário proposto;
- Diagrama de Transição de Estado;
- Diagrama de Implantação;
- Diagrama de Blocos;
- Diagrama de Agentes;
- Modelo ontológico de parametrização das mensagens; e,
- Desenvolvimento de uma proposta de software multiagente para detecção e alarme,

baseado no padrão de arquitetura embarcada em hardware de baixo custo.

1.2 Motivação

A motivação para este trabalho reside nos benefícios potenciais, que poderão ser gerados nesta pesquisa, quais sejam: A melhoria do controle de processo eletrolítico de produção de alumínio; consolidação de novas tecnologias e consequentes ganhos ambientais, a saber:

1. Rapidez na identificação e consequente atuação na resolução de problemas mecânicos, possibilitando melhoria no reestabelecimento no controle de alumina na cuba;
2. Ajuste adequado na quantidade de alumina que entra na cuba eletrolítica por ciclo de

alimentação;

3. Utilização de agentes de software na indústria de alumínio;

1.3 Organização da Dissertação

Nesta dissertação, intitulada como a abordagem multiagentes embarcada para alarme em ambientes industriais de sala de cubas eletrolíticas, será apresentada uma conversa estruturada em cinco capítulos. Encontra-se, através deste meio, a descrição do ambiente de chão de fábrica de sala de cubas a importância dos alarmes para esse tipo de ambiente, tecnologias necessárias para o projeto, como também a metodologia e o modelo de projeto utilizado na proposta desenvolvida. Aborda-se, além disso, as estratégias para garantir a rápida e precisa identificação do problema por parte dos operadores e técnicos dentro do ambiente de chão de fábrica. A seguir, há um detalhamento da estrutura dos capítulos apresentados:

No capítulo inicial, apresenta-se a introdução do trabalho mencionando as justificativas, objetivos, motivação e a própria organização da dissertação. O capítulo dois, apresenta uma visão geral do mundo do alumínio especificamente em relação ao controle de processo de produção de alumínio pelas cubas eletrolíticas, incluindo a importância dos alarmes para esse e demais ambientes industriais. O capítulo aborda ainda as tecnologias utilizadas na implementação e apresentação da modelagem proposta, o que inclui sistemas multiagentes, o framework e a ferramenta para a criação dos modelos, projeto de software embarcado, e detalhes do hardware utilizado.

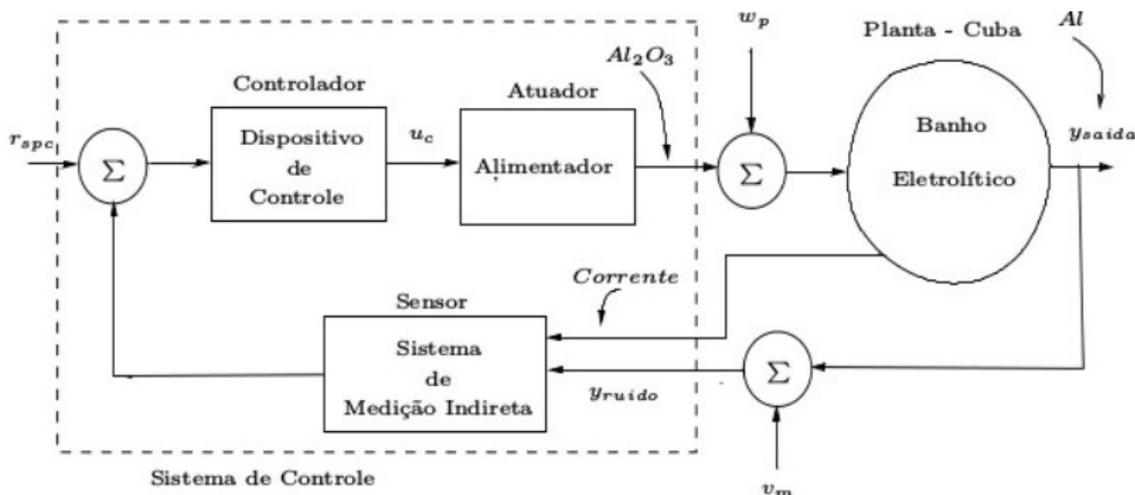
O Capítulo três apresenta uma ferramenta para detecção e alerta com sensores de temperatura para veículos, sistema inteligente para detecção e alerta de intrusão, detecção e alerta de gases tóxicos através de microcontroladores, e abordagem para gestão de alarmes baseadas em ocorrências, tudo catalogado como trabalhos relacionados. O capítulo quatro detalha o material aplicado e a sua metodologia, com a apresentação do produto gerado com a pesquisa, diagramas e protótipos de implementação. Trabalhos futuros e considerações finais do trabalho serão apresentados nos capítulos cinco e seis, respectivamente, tendo também a revisão bibliográfica, anexos e apêndices.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Controle de Cubas Eletrolíticas

De maneira geral, o processo da produção de alumínio é baseado na quantidade de alumina (Al_2O_3), matéria-prima, adicionado ao banho eletrolítico. Em uma cuba, a eletricidade circula entre um pólo positivo (cátodo) e um pólo negativo (ânodo). Desse processo de mistura da alumina, banho eletrolítico existente na cuba, e a passagem de corrente elétrica cátodo-ânodo, é que resulta o alumínio líquido, que é retirado da cuba para produção dos lingotes. Na figura 2 abaixo, apresenta-se a arquitetura funcional genérica do processo de produção de alumínio, sob a ótica de sistemas de controle. Esta arquitetura é aplicada na modelagem de um sistema de cubas, mais precisamente para fins de monitoramento dos seus estados e implementação de seus controles.

FIGURA 2- DIAGRAMA DE BLOCO PARA DISTRIBUIÇÃO DE ALUMINA NA CUBA



FONTE: (BRAGA, 2008)

O Sistema de Controle é constituído por sensor, controlador e atuador. O primeiro, trata-se de um sistema de medição indireta, pois a partir de sinais de corrente e tensão e outras informações como status de operação da cuba, estimam-se grandezas ou taxas que são utilizadas pelo dispositivo de controle. O sistema de controle processa os sinais e estes são utilizados para tomada de decisões que interferem no comportamento do processo de produção. Por exemplo, o controle pode promover ações para modificar a frequência de atuação do alimentador de Al_2O_3 .

Esse sistema de controle é executado em computador denominado de computador de controle de processo, e tem como principal objetivo controlar a alimentação de alumina para as

cubas eletrolíticas, seja ela do tipo *pre-baked* ou *Soderberg point-feeder* (Braga et al., 2007b). A intenção é manter uma quantidade de alumina dissolvida no banho, de modo a garantir a máxima produção de alumínio. Em cubas do tipo *pre-baked*, a concentração ótima de alumina no banho fica em torno de 3% no banho eletrolítico. Entretanto, existem grandes variações desta concentração, dependendo das operações efetuadas nas cubas e variações de outros parâmetros de controle (Silva, 1995). Na prática, não existe um método para medir diretamente esta quantidade ou concentração de alumina no banho eletrolítico na velocidade que o controle de processo requer (Silva et al., 2002).

Sendo assim, o computador de processos controla a quantidade de alumina devendo atender à demanda de alumina que é adicionada na cuba dentro do intervalo nominal de alimentação. O intervalo de alimentação, definido em segundos, é a janela de tempo em que o computador vai enviar um pulso para acionamento dos alimentadores de alumina, sendo que o referido intervalo varia de cuba para cuba. Significa, portanto, que cada célula de produção (cuba eletrolítica) tem seu intervalo-alvo de alimentação.

2.2 Controle de Processo Eletrolítico por Computador

O Controle de processo eletrolítico por computador garante a produção de alumínio nas cubas de acordo com os parâmetros alvo de resistência, voltagem, intervalo de alimentação, etc, selecionados por parte da operação e do próprio controlador. Fisicamente, o computador de controle de processo ou controlador fica em uma arquitetura de rede única, chamada de rede de processo, de preferência, separado da rede corporativa. Isso garante a segurança e a eficiência no tráfego de sinais de leitura e atuação da rede de processos, otimizando o ambiente de produção de alumínio. A energia elétrica necessária para que a sala de cubas produza o alumínio é fornecida por uma subestação própria, com transformadores específicos para cada linha de produção.

A partir de então, interfaces de hardware recebem sinais analógicos de tensão individual, dos transformadores de cada linha e individual de cada cuba eletrolítica, convertendo-os para sinais digitais que são enviados para o computador de controle de processo de cada linha de produção. A partir da leitura desses sinais digitais, o computador controlador executa as rotinas de controle e toma as decisões necessárias, que vão desde a correção da tensão da cuba através da movimentação de barramento, até a atuação (entrada e/ou retirada) de modificadores e alimentação de alumina da cuba. Ao final do processamento, o controlador transfere a informação relativa ao somatório das tensões alvo de todas as cubas da linha de produção, para o respectivo controlador de carga e

demanda da linha. Toda essa arquitetura garante um ambiente de automação eficiente e seguro.

2.3 A importância dos Alarmes em Ambientes Industriais

Em ambientes industriais de automação, o que inclui o ambiente de sala de cubas eletrolíticas, o processo de produção raramente é efetivo e sem problemas. Diversas são as situações problemáticas que são enfrentadas e que, na maioria das vezes, se não tratadas e solucionadas em um tempo exíguo, traz consequências e prejuízos incalculáveis. A figura 3, mostra uma linha de cubas eletrolíticas para produção de alumínio.

FIGURA 3 -LINHA DE CUBAS *PRE BAKED*



FONTE: (KVANDE, 2014)

Como é possível observar, há necessidade de que a gestão e operação desses ambientes evoluam e adaptem-se, com novos conceitos, abordagens e tecnologias, já que são ambientes com uma grande quantidade de equipamentos mecânicos e atuadores que são controlados por computador, mas que justamente os componentes mecânicos necessitam de supervisão necessárias para gerir tais níveis elevados de automação e tecnologia, gerando uma necessidade de tomada de decisão rápida em situações anormais.

Adotar, portanto, uma consistente gestão de alarmes é um ponto chave para a eficácia dos equipamentos que recorrem aos mais modernos sistemas de automação e supervisão. Uma estratégia ineficiente de gestão de alarmes, além de gerar um volume excessivo de alarmes, compromete o equilíbrio homem-máquina, prejudicando a já reduzida equipe (*staff*) responsável

pelo bom andamento do processo de produção. Ao falar de ambientes de tempo real, onde o *deadline* deve ser o menor possível, temos um cenário ideal para aplicação de uma boa gestão de alarmes, que devem fornecer informações cruciais e intuitivas para que operadores e técnicos possam identificar a causa raiz de uma anomalia, recolocando os equipamentos no seu estado de operação normal, no mais breve espaço de tempo possível.

Por esses motivos, o propósito do alarme está em permitir ao operador a resposta adequada e rápida, evitando ou alertando a passagem do processo do estado normal para um estado inseguro, instável e indesejado. Ciente dos dados históricos e tendências, os alarmes e eventos gerados num processo são indicadores chave para a otimização e análise dos processos. Quando os parâmetros do processo ultrapassam limites normais de controle por computador, a capacidade de resposta adequada pode significar a diferença entre operações normais e paradas não programadas ou falhas irreversíveis.

A definição de políticas de gestão de alarmes é fundamental para alcançar todos esses objetivos. A falta de um sistema e de políticas eficazes de gestão de alarmes tem um impacto negativo e direto nas operações, no desempenho, na rentabilidade e na segurança das indústrias.

2.4 Parâmetros e Estratégia de Controle para Produção de Alumínio

Existem, basicamente, dois parâmetros que são de grande importância dentro do processo de controle e produção de alumínio, a saber: Intervalo nominal de alimentação; e, quantidade de alumina consumida. Braga (2003), também descreve que o consumo de alumina da cuba depende da corrente elétrica e eficiência da cuba, e que essa relação é dada pela Lei de Faraday.

Uma quantidade hipotética de alumina é adicionada em uma cuba eletrolítica toda vez que o computador controlador envia o sinal (pulso) de alimentação para os alimentadores dessa cuba. Portanto, o que determina a adição de maior ou menor quantidade de alumina na cuba é justamente o intervalo de tempo entre esses pulsos que são enviados aos alimentadores. Segundo Silva et al. (2002), a determinação desse intervalo de alimentação é obtido em função da eficiência de corrente e da intensidade de corrente. Também, segundo Silva et al. (2002), para que a concentração de alumina mantenha-se constante no banho, faz-se necessário que a quantidade de alumina adicionada seja igual à quantidade que está sendo consumida pelo processo de eletrólise.

Conforme Braga (2007), o propósito do controle de alimentação é manter a concentração de alumina da cuba dentro de uma faixa desejada, para evitar situações críticas extremas de perda de eficiência em duas situações, quando a cuba apresenta menos concentração de alumina (efeito

anódico), ou quando apresenta alta concentração de alumina (formação de lama).

Como não existe um mecanismo de medição direta da quantidade de alumina em uma cuba eletrolítica, conceitos, conhecimentos empíricos e medições indiretas são adotados para se estimar essa concentração de alumina. Tudo isso, de modo que se possa aproveitar ao máximo os componentes-chaves da produção de alumínio, que incluem a energia elétrica e a própria alumina.

A alta concentração de alumina na cuba provoca uma precipitação dessa alumina não dissolvida no cátodo da cuba, processo este denominado de lama. De acordo com Tarcy et al. (2002), uma vez que o banho atinge essa condição a alumina adicionada não consegue mais ser dissolvida, formando depósitos de lama no cátodo. Normalmente, os depósitos de lama no cátodo causam elevação repentina da temperatura da cuba, podendo atingir valores superiores a 1000°C, (Tarcy et al., 2002).

Já a baixa concentração de alumina, causa o evento denominado de efeito anódico. Significa que o banho eletrolítico não consegue molhar a superfície do ânodo, visto que bolhas de gás são formadas nessa região, gerando um isolante entre o ânodo e o banho. Justamente essa barreira isolante aumenta consideravelmente a tensão elétrica da cuba. Braga et al. (2007b) afirma que essa barreira de gás isolante é quebrada abaixando os ânodos até que eles atinjam o lastro de metal, através da lógica de supressão e recuperação de efeito anódico existente no computador controlador.

2.5 Paradigma de desenvolvimento baseado em agentes

Agentes podem ser vistos como entidades de software que realizam ações autônomas em um determinado ambiente, através de sua própria experiência e conhecimento adquiridos sobre o ambiente ou os ambientes aos quais atuam, com vistas ao alcance dos objetivos de um dado projeto. Podem ser úteis como entidades isoladas, com tarefas e ações particulares, podendo também existir em ambientes que contenham outros agentes, negociando, cooperando e coordenando ações.

Conforme Juchem (2002), algumas características podem ser observadas para a aplicação da tecnologia envolvendo agentes de software, a saber: O domínio envolve uma inerente distribuição de dados, capacidades para resolução de problemas e responsabilidades; Há a necessidade de se manter a autonomia das partes envolvidas, bem como a estrutura organizacional; As interações são razoavelmente sofisticadas, incluindo negociação, compartilhamento de informações e coordenação; e, a solução para o problema não pode ser inteiramente descrita do princípio ao fim, devido às diversas mudanças ambientais que podem ocorrer, além da imprevisibilidade e dinamicidade dos processos de negócio.

O domínio, ambiente industrial de sala de cubas, está claramente enquadrado nas características acima, permitindo a aplicabilidade da tecnologia baseada em agentes de software. Assim, sob a ótica conceitual, considera-se que a tecnologia de agentes apresenta um nível de abstração útil para a modelagem em classes de sistemas, sem depender da tecnologia utilizada na construção dos agentes de software.

Entretanto, as abstrações dos componentes e objetos devem ser levados em consideração nos níveis mais baixos da abstração, já que engloba a fase de projeto e também de implementação desses agentes. Logo, aplicações orientadas aos agentes são um paradigma da engenharia de software que requerem adequadas metodologias, e, dependendo do nível de abstração, devem estar em sintonia com outros paradigmas, como por exemplo, o paradigma orientado a objetos.

Neste aspecto, pesquisas em Engenharia de Software Orientada a Agentes tem como ponto inicial a modelagem de um sistema de software usando abstrações do nível de agentes. Nesse nível de abstração, a metáfora de organização é bastante empregada e inclui: Agentes, ambiente, organização, papéis, objetivos ou metas, responsabilidades e interações (Zambonelli, 2003).

Sendo assim, partindo da linha de interação entre agentes, temos o conceito de sistemas multiagentes (SMA), que podem ser vistos como um conjunto de agentes autônomos, que interagem entre si e com o ambiente, estando imerso e atuando no referido ambiente. Cada agente pode desempenhar um ou mais papéis, possuindo um conjunto bem delineado de responsabilidades objetivando alcançar objetivos e metas específicos. Agentes podem interagir uns com os outros para atingir seus objetivos. A comunicação entre os diversos agentes de software é suportada por uma linguagem de comunicação entre agentes, e por uma ontologia usada para associar significado ao conteúdo das mensagens.

2.5.1 Foundation for Intelligent Physical Agents – FIPA

FIPA- Foundation for Intelligent Physical Agents é uma organização internacional formada por universidades e empresas especializadas no desenvolvimento de soluções baseadas em agentes. Propõe o estabelecimento de um padrão a ser seguido para o desenvolvimento de agentes de software. Fundada em 1996, dedica-se ao desenvolvimento de especificações que suportam interoperabilidade entre agentes e aplicações baseadas em agentes, como por exemplo, arquitetura abstrata, gerenciamento de agentes e transporte de mensagens.

Dentre as especificações propostas encontram-se: A arquitetura abstrata FIPA (Fipa, 2001b); a linguagem de comunicação de agentes (ACL – Agent Communication Language) (Fipa, 2001c); e, o gerenciamento de agentes (Fipa, 2001). A especificação de arquitetura abstrata FIPA

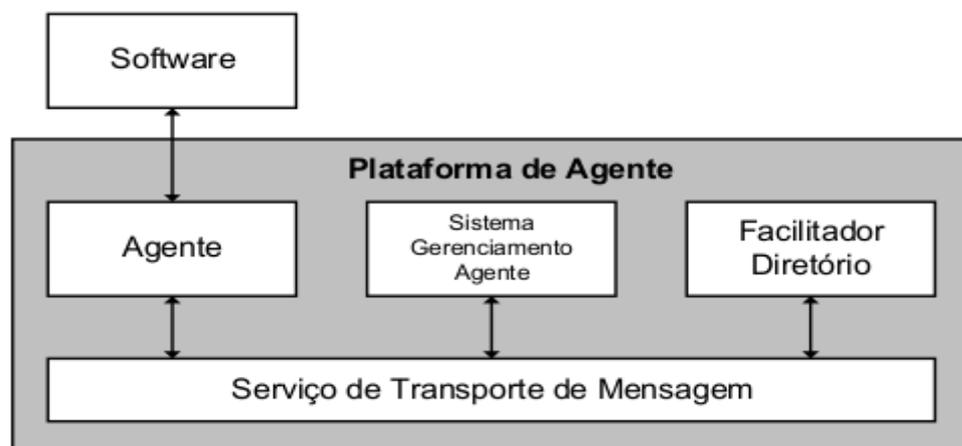
(Fipa, 2001b) tem o propósito de promover a interoperabilidade e a reusabilidade através da identificação de elementos da arquitetura que devem ser codificados.

Define-se entidades abstratas, como serviços de diretório e transporte de mensagens, que podem ser instanciadas em outras especificações. A especificação, linguagem de comunicação de agentes (Fipa, 2001c), detalha a sintaxe e a semântica de uma linguagem de comunicação em alto nível de agente que é baseada em atos de fala (Bordini, 2001). A especificação gerenciamento de agente (Fipa, 2001) trata o que é necessário para gerenciar agentes em uma plataforma de agente (PA), sendo que o protocolo de transporte básico definido por esta especificação é o IIOP (*Internet Inter-ORB Protocol*).

A OMG (*Object Management Group*), através do *Agent Working Group*, publicou o documento “*Agent Technology – Green Paper*” (OMG, 2000), onde ressalta que está sendo estabelecida uma ligação formal entre a FIPA e o OMG’s Agent WG para utilização das especificações já desenvolvidas pela FIPA, como *background* para futuros esforços de padronização pela OMG. Segundo a especificação gerenciamento de agente (Fipa, 2001), uma PA deve prover a infraestrutura física na qual os agentes podem ser disponibilizados.

Um agente deve ser registrado em uma PA para interagir com outros agentes naquela ou em outras plataformas e, neste caso, a comunicação entre as plataformas é feita através do serviço de transporte de mensagem. A FIPA considera a PA um elemento-chave na arquitetura de um agente para permitir que uma sociedade de agentes interoperem e sejam gerenciadas. Uma PA consiste, no mínimo, um sistema de gerenciamento de agentes (SGA), um facilitador de diretório (FD) e um sistema de transporte de mensagem (STM) (OMG, 2000). A figura 4 mostra o modelo de referência de uma PA (Fipa, 2001).

FIGURA 4- MODELO DE REFERÊNCIA FIPA DE UMA PLATAFORMA DE AGENTE.



FONTE: (FIPA,2001).

A seguir, descreve-se os elementos que constituem o modelo de referência de uma PA:

- **Software:** Descreve toda coleção de instruções executáveis (não agentes) que são acessadas através de um agente. Agentes podem acessar software, por exemplo, para adicionar novas tarefas, adquirir novos protocolos de comunicação, novos protocolos/algoritmos de segurança, novos protocolos de negociação, acessar ferramentas que suportam migração, etc.
- **Agente:** É um ator fundamental em uma PA que combina uma ou mais tarefas em um modelo de execução unificado e integrado que pode incluir acesso a software externo, usuários humanos e facilidades de comunicação.
- **Sistema de Gerenciamento de Agente (SGA):** É um agente que supervisiona o acesso e o uso da PA e, também, mantém um diretório de identificadores de agentes que contém, por exemplo, endereços de transporte para agentes registrados na PA. O SGA é responsável por gerenciar o ciclo de vida dos agentes na plataforma.
- **Facilitador de Diretório (FD):** É um agente que provê serviços de páginas amarelas para outros agentes. O FD armazena descrições dos agentes e os serviços que eles oferecem. Assim, os agentes podem registrar seus serviços com o FD ou podem consultá-lo para descobrir quais serviços são oferecidos por outros agentes.
- **Serviço de Transporte de Mensagem (STM):** O STM distribui mensagens entre agentes residentes em uma PA e para agentes em outras PAs. Todos os agentes têm acesso a, pelo menos, um STM e somente mensagens endereçadas para um agente podem ser enviadas para o STM.

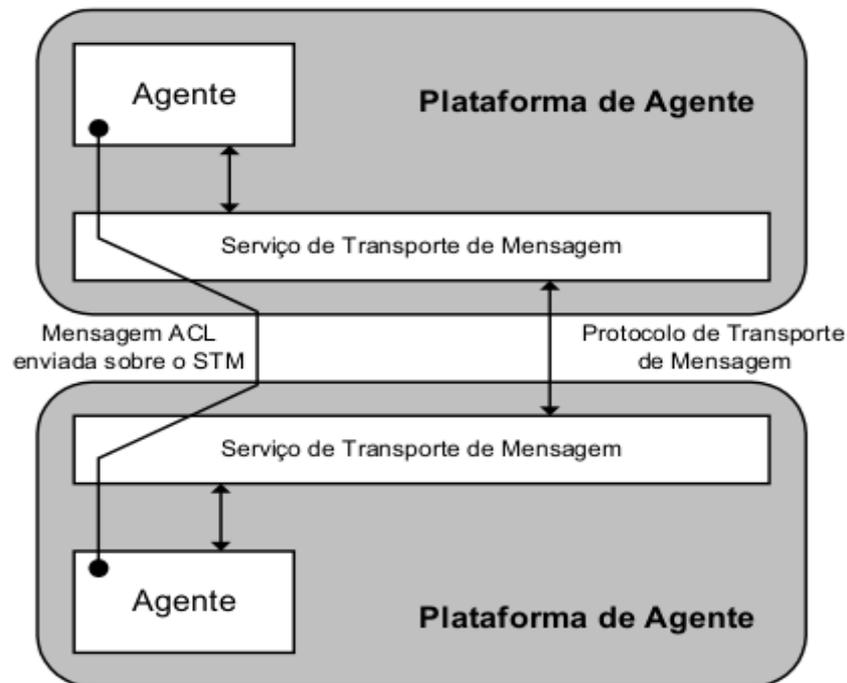
A FIPA estabelece um modelo de referência para o transporte de mensagens de agentes. Este modelo inclui três níveis, conforme mostra a figura 5 (Fipa, 2001a).

1. O Protocolo de Transporte de Mensagem (PTM) é usado para efetuar a transferência física de mensagens entre dois canais de comunicação de agentes. O canal de comunicação de agente é um agente que usa a informação provida pelo SGA para estabelecer a rota das mensagens entre agentes da mesma PA e agentes que residem em outras PAs. Deve suportar IIOP para interoperabilidade entre diferentes Pas.

2. O Serviço de Transporte de Mensagem (STM) é um serviço fornecido pela PA na qual um agente está ligado. O STM auxilia o transporte de mensagens FIPA ACL entre agentes em uma determinada PA e entre agentes em diferentes Pas.

3. A ACL representa o conteúdo das mensagens transportadas pelos PTM e STM.

FIGURA 5- MODELO DE REFERÊNCIA FIPA DE TRANSPORTE DE MENSAGEM



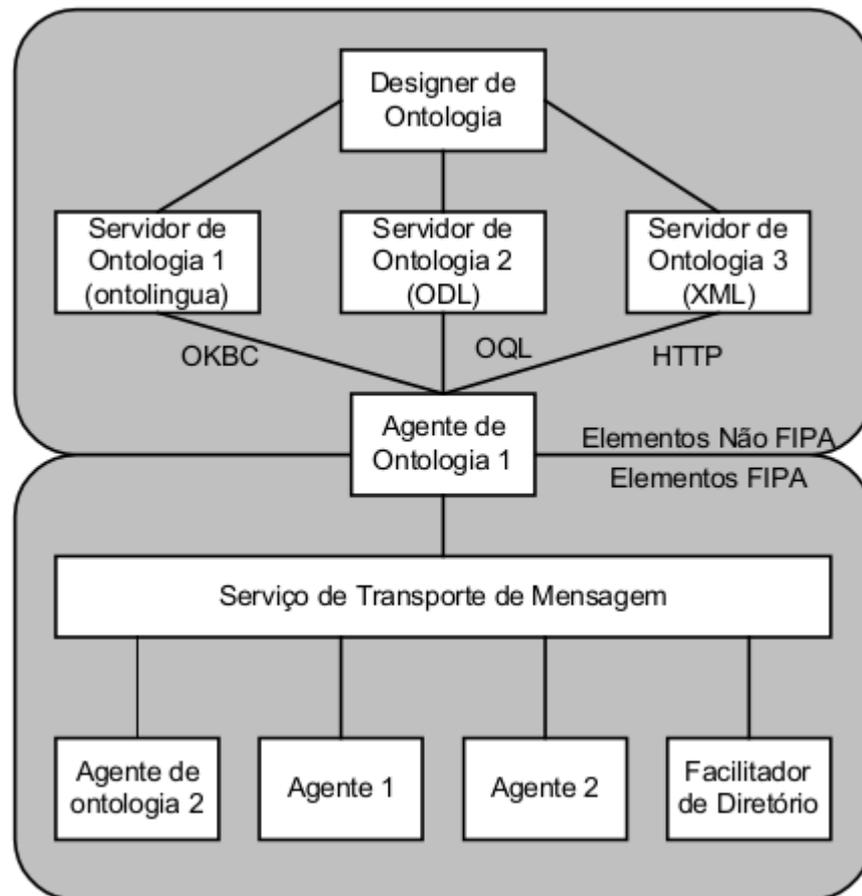
Fonte: (Fipa, 2001a).

O servidor de ontologia é responsável pelo armazenamento das ontologias. Pode existir mais de um servidor de ontologia, sendo que um agente de ontologia será responsável por prover o acesso a este(s) servidor(es). O agente de ontologia deve ser capaz de participar na comunicação das tarefas abaixo relacionadas, possivelmente respondendo quando não for capaz de executar qualquer uma delas:

- Ajudar um agente na seleção de uma ontologia compartilhada para comunicação;
- Criar e atualizar uma ontologia, ou somente alguns termos de uma ontologia;
- Traduzir expressões entre diferentes ontologias (diferentes nomes com o mesmo significado);
- Responder consultas de relacionamentos entre termos ou entre ontologias, e,
- Descobrir ontologias públicas e acessá-las.

Além disso, o agente de ontologia permite que o servidor de ontologia torne suas ontologias publicamente disponíveis no domínio dos agentes (Fipa, 2001d). A figura 6 mostra o modelo de referência FIPA de serviço de ontologia. Esse modelo não impede que, em algumas implementações, o agente de ontologia possa envolver diretamente um servidor de ontologia. No caso do DiSEN, o servidor de ontologia estará embutido no repositório.

FIGURA 6- MODELO DE REFERÊNCIA FIPA DE SERVIÇO DE ONTOLOGIA



Fonte: (Fipa, 2001d).

2.5.2 Protocolo de negociação e interação entre agentes

O protocolo de negociação e interação entre agentes, e a tomada de decisão racional distribuída, são linhas de pesquisa que detalham como a tecnologia multiagente pode facilitar a negociação em operações de nível de tomada de decisão, gerando economia de tempo de trabalho se comparado às negociações humanas, além de outras vantagens, já que agentes computacionais são mais efetivos na busca de benefícios em contratos curtos do que as ações humanas.

As negociações entre sistemas multiagentes são discutidas em situações onde cada agente apresenta metas diferentes, e cada agente tenta maximizar a si próprio sem a preocupação com o todo. A questão primordial é que os resultados sociais sigam um determinado protocolo que garanta que a estratégia local de cada um dos agentes seja a melhor para se utilizá-la (Sandholm, 1999).

Os protocolos de negociação entre agentes podem ser avaliados de acordo com vários critérios, a saber: Eficiência de Pareto, Bem Estar Social, Estabilidade, Racionalidade Individual, Eficiência Computacional e Distribuição e Comunicação Eficiente. A escolha do protocolo depende

das propriedades que o projetista quer incluir no sistema como um todo. Existe ainda outra escolha social de nome votação, onde todos os agentes entram com o mecanismo, e o resultado dos mecanismos escolhidos servem como solução para todos os agentes. Na maioria das configurações, o resultado é imposto a todos os agentes que observam a solução proposta pelo mecanismo. A regra de escolha social toma como entrada a relação de preferência dos agentes, produzindo como saída a preferência social definida pela relação γ^* .

Em uma configuração de negociação, os agentes podem fazer um acordo de benefício mútuo, porém com a ocorrência de conflito de interesse sobre qual acordo fazer. Caso semelhante ocorre na microeconomia clássica e premissas de monopólio. Um monopolista obtém todos os ganhos a partir da interação, enquanto um agente que enfrenta a concorrência perfeita pode não obter lucro (Sandholm, 1999).

2.5.3 Teoria Axiomática de Barganha

Ao contrário da teoria dos jogos não cooperativos (estratégico), a teoria de negociação axiomática não faz uso da ideia de um conceito de solução em que as estratégias dos agentes formam algum tipo de equilíbrio. Em vez disso, propriedades desejáveis para uma solução, o chamado axioma de solução de negociação, são postuladas, e em seguida o conceito da solução que satisfaz estes axiomas é procurado.

2.5.4 Teoria de Negociação Estratégica

Ao contrário da teoria negociação axiomática, a teoria de negociação estratégica não postula aspirar como axiomas sobre o conceito da solução. Em vez disso, a situação de negociação é modelada como um jogo, e o conceito da solução é baseada em uma análise de qual das estratégias dos jogadores estão em equilíbrio.

Acontece que, para alguns jogos, a solução não é exclusiva. Por outro lado, a teoria de negociação estratégica explica o comportamento de agentes racionais com utilidades maximizadas melhores do que as abordagens axiomáticas. O último não são baseadas no que os agentes podem optar por estratégias, mas em vez disso contam com agentes pertencentes a axiomática, com imposição de noções de justiça (Sandholm, 1999).

2.5.5 Computação em Negociação

Os modelos de negociação da teoria axiomática de barganha e a teoria de negociação

estratégica assumem uma perfeita racionalidade dos agentes. Na computação, é necessário encontrar um contrato mutuamente desejável. O espaço de ofertas é assumido e compreendido pelos agentes, e o valor de cada contrato potencialmente conhecido. Por outro lado, o trabalho futuro deve se concentrar no desenvolvimento de métodos onde o custo de busca (deliberação) para soluções é explícita. Isto torna-se particularmente importante, pois as técnicas de negociação são escaladas até problemas de combinatória com um espaço de negociação multidimensional.

A motivação operacional por trás dos mecanismos de mercado é que os agentes podem ser uma solução eficiente, ou seja, levando em conta os conflitos de escolhas entre os agentes e o fato de que os diferentes bens destinados a um único agente podem ser interdependentes, embora nunca consigam centralizar todas as informações ou todo o controle. O equilíbrio geral dos mecanismos de mercado utilizam os preços globais, pelo menos nas implementações, e também um único mediador central. Entretanto, isso pode vir a criar um ponto de gargalo de comunicação para o sistema como um todo. Além disso, em algumas situações, os agentes querem o controle direto dos receptores de suas informações confidenciais, em vez de repassá-las para um mediador que controlará a sua disseminação. Outro fator é a incapacidade de assumir preços globais, pois pode haver variações de mercado, custos para propagar informações a todos os agentes.

A tarefa para negociação de alocação tem a capacidade de distribuir, ou redistribuir as tarefas entre os agentes sendo uma característica fundamental em sistemas de negociações automatizados. Em muitos domínios, economias significativas podem ser conquistadas através da realocação de tarefas entre os agentes. Como exemplo, tem-se que algumas tarefas que são inerentemente sinérgicas, devendo serem manuseadas por um mesmo agente. Por outro lado, outras tarefas possuem interações negativas, sendo melhor alocá-las a uma quantidade variada de agentes. Além disso, os agentes diversos podem ter recursos variados que podem levar a diferentes capacidades e custos para lidarem com tarefas específicas.

Contratos de contingência e contratos de compromisso nivelados existem em protocolos de negociação multiagentes tradicionais, entre agentes com interesses próprios. Uma vez que é celebrado um contrato, nenhuma das partes pode voltar para fora. Uma vez que um agente compromete-se a um contrato, o mesmo deve seguir com ele, não importando quais eventos futuros ocorram. Apesar de um contrato poder ser rentável a um agente quando visto, ele não precisa ser rentável quando visto depois que algum evento futuro ocorra.

Em muitos domínios, as partes do mundo real que se auto-interessam, como por exemplo, empresas ou indivíduos, podem economizar custos através da coordenação de suas atividades com outras partes. Como exemplo, tem-se as atividades de planejamento automatizadas, que podem ser úteis para automatizar também as atividades de coordenação. Isto pode ser feito por meio de um

software de negociação, com agentes representando cada uma das partes. Deste modo, sistemas multiagentes constituídos por agentes que possuem interesses próprios estão se tornando onipresentes. Tais agentes não podem ser coordenados através de estratégias de imposição externas ao agente. Para que isso ocorra, protocolos de interação devem ser concebidos de modo a que cada agente realmente seja motivado a seguir as estratégias que o projetista quer que ele siga.

2.6 Modelagem baseada em agentes

Nas pesquisas realizadas, percebeu-se a dificuldade de extrair, das contribuições e literaturas existentes, as características dos agentes, dada suas diferenças de aplicabilidade. De acordo com Bonabeau, 2002, o conceito de agentes representa mais uma mentalidade do que uma tecnologia propriamente dita, na qual um sistema é descrito a partir da perspectiva de suas partes constituintes. O conceito de agente pretende ser uma ferramenta para analisar um sistema, não uma classificação absoluta onde as entidades podem ser definidas como agentes ou não-agentes (Russell e Norvig, 2003). Por exemplo, algumas ferramentas de modelagem consideram qualquer tipo de componente independente para ser um agente, como por exemplo: Software, modelo, indivíduo, etc.

Outras insistem que o comportamento de um componente deve ser adaptativo para que possa ser considerado um agente, onde o termo agente é reservado para componentes que podem, de algum sentido, aprender com seus ambientes e mudar seus comportamentos. No entanto, de um ponto de vista de modelagem pragmática, existem várias características que são comuns à maioria dos agentes, a saber: Autonomia; Heterogeneidade; Ativo; Pró-Ativo ou direcionado; Reativo ou perceptivo; Interativo/comunicativo; Racionalidade limitada; Mobilidade; Adaptativo/aprendizado.

A modelagem baseada em agentes são compostos por múltiplos agentes interagindo dentro de um modelo ou dentro de um ambiente de simulação. Uma relação entre agentes é especificada, ligando agentes a outros ou a outras entidades dentro de um sistema. Os comportamentos dos agentes podem ser agendados para atuarem de maneira síncrona, onde os agentes só executam ações quando ativados por algum estímulo externo ou ação de um outro agente, ou de maneira assíncrona, onde as ações dos agentes são agendados a partir de ações de outros agentes ou referenciados por um relógio.

Dentro do conceito de modelagem para agentes de software, existe ainda o espaço na qual o agente está atuando. Esse espaço é chamado de ambiente e serve de suporte para as interações dos agentes com esse ambiente e com outros agentes. Os agentes podem estar espacialmente explícitos, significando que possuem localização de espaço no ambiente, ou implícitos, onde sua localização dentro do ambiente é irrelevante.

Na modelagem contextual, modelos baseados em agentes podem ser usados como modelos experimentais para execução e observação de agentes baseados em simulação. Neste contexto, eles podem ser considerados como um pequeno laboratório, onde os atributos e comportamentos dos agentes, e o ambiente no qual eles estão inseridos, podem ser alterados e suas repercussões observadas ao longo múltiplas simulações. A capacidade de simular ações individuais de diversos agentes e medir o comportamento e os resultados resultantes do sistema ao longo do tempo, significa que modelos baseados em agentes podem ser ferramentas para estudos dos efeitos em processos que operam em escalas múltiplas e níveis organizacionais, e seus efeitos (Brown, 2006).

Em particular, as raízes da modelagem baseada em agentes estão dentro da simulação de comportamento e tomada de decisão individual (Bonabeau, 2002). A modelagem baseada em agentes não é o mesmo que o paradigma orientado a objetos, embora este último tenha uma suíte própria para construção de modelos orientados a agentes. Algumas vantagens da modelagem orientada a agentes consideram a captura de fenômenos emergentes, além de prover um ambiente natural para estudo de certos sistemas, de maneira flexível, particularmente em relação ao desenvolvimento de modelos aeroespaciais, por exemplo.

Portanto, observa-se facilmente que a sistematização de técnicas e metodologias para a engenharia de software baseada em agentes é um tópico de pesquisa constante e ativa. De uma forma similar ao que aconteceu com o desenvolvimento orientado a objetos, uma grande quantidade de técnicas e metodologias tem sido propostas para a engenharia de software baseada em agentes e ainda não existe um padrão reconhecido que reúna as vantagens de cada uma delas. A maioria das propostas aborda as fases de análise de requisitos e projeto de sistemas multiagentes e inspira-se ou estende-se conceitos das técnicas para o desenvolvimento orientado a objetos. Algumas outras utilizam conceitos de modelagem da engenharia do conhecimento.

2.7 Sistemas Multiagentes

Sistema multiagentes (SMA ou MAS) trata-se de um sistema composto por mais de um agente inteligente que atuam no mesmo ambiente objetivando a divisão de tarefas em pequenas subtarefas para resolução de problemas complexos que seria muito custoso e complexo de se resolver com apenas um agente de software. Desta forma, a metodologia de resolução do problema é dividida mediante a cooperação dos diferentes agentes que podem executar e realizar funções diferentes e independentes entre si.

Existem dois enfoques a serem considerados, no momento de modelar um SMA, a saber: O enfoque formal, que é a forma clássica que consiste em dotar os agentes do maior conhecimento

que dispuser, de forma a permitir a resolução de problemas definidos pelo usuário em razão das capacidades cognitivas desses agentes; e, enfoque construtivista, onde os agentes são dotados de inteligência necessária e, através de mecanismos programados, podem aprender e gerar autocomportamentos inteligentes a partir dos problemas que possam surgir (comportamentos emergentes). Este último enfoque é geralmente o mais complexo de implementação, haja vista que requerem processos complexos para coleta de aprendizados dos agentes interferindo no ambiente de forma mais ágil.

Logo, um sistema multiagente pode ser caracterizado como um grupo de agentes atuando conjuntamente na resolutividade de problemas que vão além de suas habilidades individuais. Para tanto, os agentes realizam interações entre eles, cooperativamente, visando atingir uma determinada meta. Diante dos conceitos, é possível perceber a necessidade de aplicação de uma política de cooperação para um SMA, uma vez que é através deste mecanismo que os agentes expressam suas necessidades a outros agentes, durante a realização de uma determinada tarefa. O mecanismo de cooperação entre agentes tem como objetivo determinar a maneira como os agentes expõem as suas necessidades a outros agentes quando necessitam atingir determinados objetivos.

O processo de cooperação pode acontecer de duas maneiras, a saber: A segmentação de tarefas e a segmentação de resultados. A primeira é caracterizada pela necessidade de agentes auxiliares durante a execução de uma tarefa por um determinado agente, enquanto que na segunda, os agentes disponibilizam informações para a sociedade, prevendo que algum outro agente possa necessitar dela em determinado momento.

Sendo assim, na grande maioria das vezes, durante a realização de tarefas, os agentes necessitam da ajuda dos outros agentes da sociedade, ou de forma contrária, auxiliam outros agentes para que o objetivo geral do sistema possa ser alcançado. Consequentemente, a localização de um determinado agente dentro da sociedade faz-se necessária para que a cooperação possa concretizada. As principais abordagens de arquiteturas de SMA, onde a cooperação está em destaque são a arquitetura quadro-negro, a arquitetura de troca de mensagens e a arquitetura federativa.

Na arquitetura quadro-negro, os agentes não se comunicam entre si de maneira direta. Eles utilizam uma estrutura de dados persistente, denominada quadro-negro, onde existe uma divisão de regiões e níveis, cujo objetivo é facilitar a busca de informações. Trata-se de um meio de interação entre agentes, onde estes escrevem e leem mensagens que serão usadas para atingir o objetivo do sistema. Pode-se, assim, dizer que um quadro-negro é uma memória de compartilhamento global onde existe uma quantidade de informações e conhecimentos disponíveis e utilizados para leitura e escrita pelos agentes. Em SMA, os quadros-negros são utilizados como um repositório de perguntas

e respostas. Os agentes que necessitam de alguma informação escrevem seu pedido no quadro à espera que outros agentes respondam à medida que acessem o mesmo. O processo de gravação e recuperação das mensagens no quadro-negro pelos agentes pode tornar-se demorado demais para um sistema de tempo real. Essa particularidade faz o uso da arquitetura quadro-negro inviável para sistemas dessa natureza, onde um tempo de resposta adequado é fundamental.

Na arquitetura de troca de mensagens, os agentes comunicam-se diretamente, uns com os outros, através de mensagens assíncronas. Para isso, é necessário que cada agente saiba os nomes e endereços de todos os agentes que formam o sistema para que as mensagens possam ser trocadas. Para que as trocas de mensagens ocorram de maneira adequada entre os agentes, é necessário estabelecer um protocolo de conversação. O protocolo é quem dita as regras e impõe o formalismo necessário para que as mensagens sejam encaminhadas e compreendidas pelos agentes.

Ao considerar a quantidade de agentes envolvidos na comunicação, a arquitetura federativa vem com uma proposta de dividi-los em grupos, denominados de federações, segundo um critério de agrupamento escolhido. Junto a cada grupo de agentes encontram-se os agentes chamados de facilitadores, responsáveis por receber a mensagem que chega em cada grupo e encaminhá-la para o agente destinatário presente naquele grupo. A arquitetura federativa permite a diminuição do fluxo de mensagens desnecessárias entre os agentes que formam a sociedade, pois os facilitadores têm a capacidade de remetê-las ao respectivo destinatário sem a necessidade de enviá-las a todos os agentes.

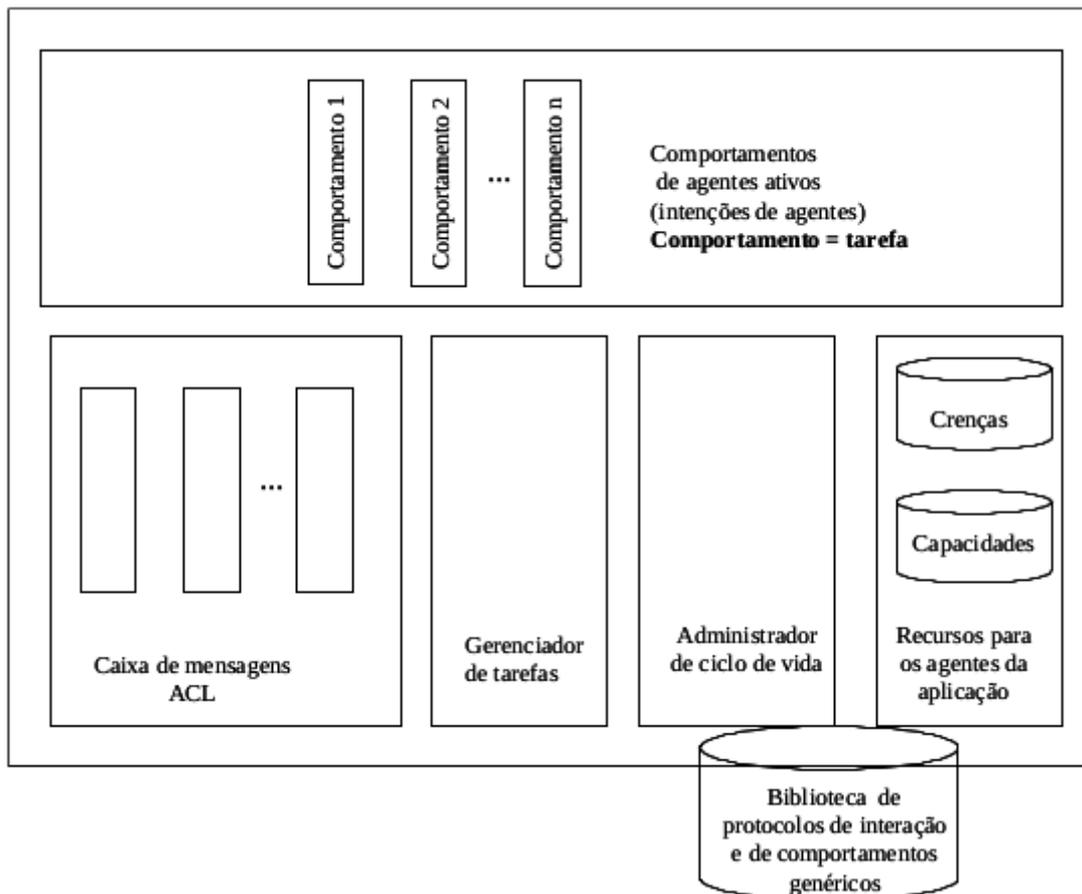
2.7.1 A ferramenta Jade

JADE (Java Agent Development framework) é um ambiente para desenvolvimento de aplicações baseadas em agentes, desenvolvido em conformidade com as especificações da FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) para interoperabilidade entre sistemas multiagentes. JADE é implementado em Java e o modelo computacional do agente é multitarefa, ou seja, várias tarefas podem ser executadas concorrentemente. Cada funcionalidade provida por um agente, pode ser implementada com a integração de mais de um comportamento. A definição da ordem de execução das tarefas é feita pelo Gerenciador de Tarefas, conforme figura 7.

A ferramenta JADE teve início em 1998 através da CSELT (Telecom Italia), cujo desenvolvimento foi motivado pela necessidade de uma validação das especificações da FIPA. Em 2000, a AvJADE tornou-se uma plataforma de código aberto, sendo distribuída pela Telecom Italia sobre a licença LGPL (Library Gnu Public Licence) (Russel, 2013). JADE provê certas funcionalidades, como aplicações distribuídas que exploram a utilização de agentes de software. O

fato de ser construída sobre a plataforma JAVA, permite aos agentes implementados, utilizando o framework JADE, a possibilidade de serem executados sobre qualquer SO (sistema operacional), o que o torna ideal para ambientes onde não seja possível conseguir informações sobre o SO utilizado (Reis, 2003). Outra funcionalidades da JADE é o desenvolvimento de Agentes e o controle dos mesmos via uma interface gráfica (Russel, 2013).

FIGURA 7 - ARQUITETURA DO AGENTE GENÉRICO JADE.



FONTE: (JADE, 2016).

O agente genérico do ambiente JADE é uma arquitetura reativa que segue a estrutura mostrada na figura 7. A arquitetura interna de um agente genérico em JADE é composta pelos seguintes módulos (Jade, 2016):

- **Comportamentos:** Representam as ações e intenções que cada agente possui. Cada funcionalidade ou serviço fornecido por um agente, na realidade, é um ou mais comportamentos que ele possui. No entanto, só é permitido ao agente executar seus comportamentos se ele estiver no seu estado ativo;
- **Caixa de mensagens:** Trata-se de uma estrutura de dados onde ficam armazenadas todas as mensagens recebidas pelo agente;

- Escalonador de comportamentos: Responsável por decidir em que ordem os comportamentos deverão ser executados;
- Gerenciador de ciclo de vida: É o controlador do estado atual do agente, ou seja, é ele que determina o estado atual do agente (inicial, ativo, suspenso, espera, transitório, destruído, copia, movido); e,
- Recursos da Aplicação: Representa o conhecimento adquirido pelo agente durante a execução da aplicação.

O JADE não habilita agentes com habilidades específicas além daquelas necessárias para comunicação e interação. No entanto, o modelo de agentes permite a integração de programas externos com os agentes de tarefas. A biblioteca existente em JADE inclui uma classe, chamada JessBehaviour, que permite o uso da linguagem JESS como mecanismo de raciocínio do agente. O JESS é bastante útil no controle da ativação e desativação dos comportamentos em JADE, o que permite a implementação de uma arquitetura formada por agentes reativos e deliberativos (na qual o JESS executa os papéis deliberativos e JADE, os reativos).

2.7.2 Auml – Linguagem de especificação para Sistemas Multiagentes

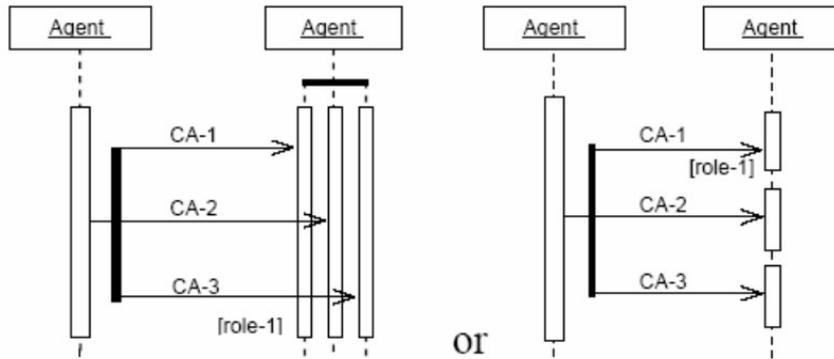
Agent Unified Modeling Language (Auml) é uma linguagem de modelagem gráfica, padronizada pela FIPA (*foundation Intelligent Physical Agents*). Auml foi proposta como uma extensão da UML (*Unified Modeling Language*), onde utiliza decomposição, abstração e organização para reduzir a complexidade do desenvolvimento de software, decompondo um sistema em pequenas partes de objetos, modelos, caso de uso ou classe, além de diversas ações operacionais. Em relação à abstração, ela fornece uma visão abstrata especializada de modelagem (classe, caso de uso, diagrama, interface de etc.), sendo utilizada para criar um conjunto de semântica e as condições de serviços de operação e de infraestrutura (Gatti, 2007).

A AUML oferece estruturas como classe, diagrama e interface para apresentar como os agentes podem ser geridos em um sistema de agentes. A modelagem concentra-se em um aspecto por vez, aumentando a capacidade de compreender as questões para problemas complexos durante o tempo de vida do projeto do sistema.

As principais partes da AUML são os mecanismos para modelar os protocolos de interação multiagente. Isto é realizado através da introdução de uma nova classe de diagramas em UML, a saber: Diagramas de protocolo. Esses diagramas estendem os diagramas de sequência e de estado da

UML (Gatti, 2007), como mostrado nas Figuras 8 e 9.

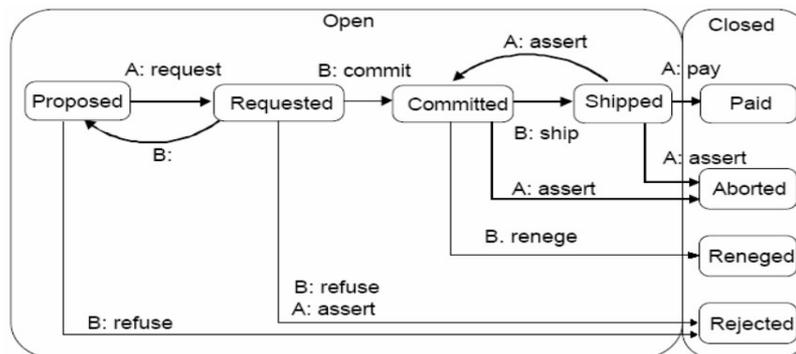
FIGURA 8- AUML- DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA



FONTE: (Gatti, 2007).

A figura 8 apresenta diagramas comportamentais de sequência cuja implementação varia de acordo com o comportamento e atuação dos agentes e sua interação e colaboração com outros agentes dentro de um determinado projeto. De forma que um agente possa atuar paralelamente com três instâncias distintas de um mesmo agente de software, ou com o mesmo agente que é acionado a medida em que se faz necessário.

FIGURA 9- AUML- DIAGRAMA DE ESTADO



FONTE: (Gatti, 2007).

Já a figura 9 detalha o funcionamento de outro diagrama comportamental, o de transição de estados, na qual o estado dos agentes envolvidos é descrito de acordo com o estado de interação, conexão, troca de mensagens e colaboração com outros agentes envolvidos.

2.8 Sistemas Embarcados

Os sistemas embarcados são uma combinação de hardware e software de computador possuindo ,algumas vezes, partes mecânicas projetadas para realizar uma função dedicada, sendo que muitas vezes tais sistemas são apenas uma pequena parte de um sistema maior (Stallings, 2010).

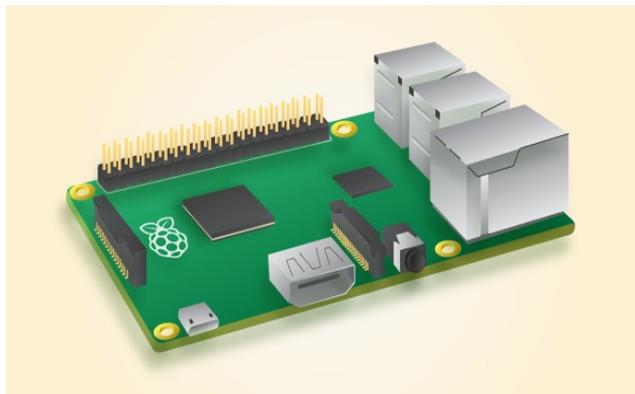
Tipicamente, eles são implementados a partir de diferentes tecnologias, como microprocessadores, microcontroladores, DSP, circuitos reconfiguráveis, circuitos analógicos e de microondas e até mesmo sistemas microeletromecânicos (MEMS – *Micro Electro Mechanical Systems*) (Dias, 2001).

2.8.1 Raspberry PI

O *Raspberry Pi*, modelo B, é um computador de pequeno porte que utiliza o processador multimídia *Broadcom BCM2835*, do tipo SoC (*system-on-chip*), com 700 MHz de 32 bits, construído sobre a arquitetura ARM11 (*Bellifemine,2007*). A placa é alimentada por uma porta micro-USB, com tensão de 5V e necessitando no mínimo 700mA, com desperdício de energia variando em 3.5 W (Matt, 2013).

O *Raspberry Pi* não possui disco rígido na sua composição de hardware utilizando, apenas, um cartão de memória. Para instalação do sistema operacional é necessário que o cartão tenha, pelo menos, 2 GB de capacidade para todos os arquivos necessários. O sistema operacional, comumente utilizado é o *Raspbian*, uma distribuição recomendada pela Fundação *Raspberry*, com base no Debian (Raspberry, 2016).

FIGURA 10- RASPBERRY MODELO B+



FONTE: (Raspberry, 2016).

A figura 10 representa o modelo de placa *Raspberry* utilizado neste trabalho. Também foi utilizado cartão de memória configurado com o *raspbian*, incluindo o *framework* para agentes jade na qual o agente centralizador estará em funcionamento.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

3.1 Ferramenta para detecção e alerta com sensores de temperatura para veículos

Binnicker G., (2015) apresenta uma ferramenta para detecção e alerta com sensores de temperatura para veículos ocupados por passageiros. O sistema alerta motoristas caso uma criança seja deixada desacompanhada no veículo, a fim de impedir que a criança seja exposta a altas ou baixas temperaturas no interior do veículo. Para isso, são utilizados sensores que capturam dados através de sensores de ocupação, temperatura e distância.

Os dados capturados através dos sensores determinam a necessidade de envio de alerta ao dono do veículo (motorista) caso um ocupante tenha sido deixado dentro do veículo, controlando ainda algumas funções do veículo, permitindo que indivíduos externos possam resgatá-lo, com o destravamento das portas, abertura das janelas, com possibilidade de ativação do sistema de temperatura do automóvel.

A partir da leitura dessa contribuição, foi possível extrair os conceitos inerentes ao uso de sensores para ser utilizado como uma das entradas, em caso de incêndio na sala de controle. Sensores de detecção e alarme de incêndio, ao serem ativados, poderiam encaminhar mensagens ao agente centralizador que emitiria o alarme de incêndio na sala de controle para as salas de cubas.

3.2 Sistema inteligente para detecção e alerta de intrusão

(Kumar M. et al., 2015) projetaram e desenvolveram um sistema inteligente de detecção e alerta de intrusão que visa aumentar a segurança, com a probabilidade de identificação positiva verdadeira de invasores e intrusos, em comparação com outros sistemas eletrônicos de segurança já utilizados. Através de múltiplos sensores, o sistema avalia a extensão do perigo exibido por uma pessoa ou animal dentro da circunscrição da residência, transmitindo ao proprietário da residência as diversas informações sobre os eventos críticos gerados.

Este trabalho tem uma correlação com a abordagem, da mesma forma que a contribuição do item 3.1 na qual foi verificado e analisado a forma de comunicação e ativação entre os sensores e os atuadores responsáveis pela emissão dos alarmes.

3.3 Detecção e alerta de gases tóxicos através de microcontroladores

(Ramya V., 2012) apresenta um trabalho que envolve a construção de um microcontrolador contendo sistema para detecção e alerta de gases tóxicos, em especial o propano e o L_{PG}. Sensores específicos para identificação desses dois gases nocivos são adicionados ao microcontrolador, que

através do uso de conversor analógico/digital capturam e analisam as informações, que também são mostradas em display. Caso os gases ultrapassem os limites aceitáveis, o sistema gera imediatamente um alarme e também envia mensagem de alerta SMS para pessoas autorizadas usando tecnologia GSM.

Esta foi a contribuição que mais se aproxima da abordagem apresentada nessa dissertação de mestrado, pois utiliza um hardware (microcontrolador) com um software embarcado responsável por ações de detecção e emissão e envio de alarmes.

3.4 Abordagem para gestão de alarmes baseadas em ocorrências

(Gaspar et. al., 2010) aborda a adoção de uma filosofia de gestão de alarmes para a gestão de ocorrências que evite a geração de uma enorme quantidade de alarmes, a fim de facilitar a vida dos técnicos que devem gerir em tempo real ambientes complexos e dinâmicos e uma boa gestão de alarmes consegue fornecer informação crucial para identificar a causa da anomalia e recolocar a fábrica no estado de operação normal.

Esta contribuição tem uma correlação importante a partir do momento em que existe a mesma preocupação com o controle da fila de mensagens para emissão dos alarmes, haja vista que pode ocorrer do problema já ter sido solucionado mas mensagens no buffer continuam alertando um problema que não existe.

3.5 Sistema de monitoramento e alarme áudio-link

Morales F., (2001) criou e patenteou um sistema de monitoramento e alarme em uma rede de áudio-link que detecta os alarmes de som disparados e informa às autoridades responsáveis. O sistema e o método criado baseia-se no áudio produzido a partir dos alarmes que são acionados. Implementado para computadores do tipo PC ou outras premissas de processadores, diferencia o som oriundo de diferentes alarmes, classifica o som como um alarme específico através de processamento FFT e distribui o alarme pela internet, comutadores de telefones públicos, ou outros links de comunicação até a estação central, que, posteriormente distribui o alarme para as autoridades. Em outra modalidade, relatórios dos alarmes são gerados diretamente pelo PC para a residência ou empresa específica na qual a autoridade está localizada.

4 MATERIAL E MÉTODO

4.1 Etapas da pesquisa

As etapas desta pesquisa foram sistematicamente constituídas ao longo de todo o curso de Engenharia da Computação e Sistemas, a partir das disciplinas relacionadas diretamente com a linha de pesquisa apresentada, incluindo uma revisão de literatura (capítulo 2), um levantamento das mensagens parametrizadas e potenciais alarmes para sala de cubas (seção 4.2), além da criação de um modelo de arquitetura para gerenciar o desenvolvimento e concretização da pesquisa para ambientes industriais de sala de cubas (seção 4.3).

A revisão de literatura desse projeto de pesquisa e desenvolvimento aconteceu em dois períodos: a priori, foi realizado um breve levantamento bibliográfico, que teve como objetivo principal apresentar um diálogo entre autores envolvendo a temática sobre detecção e alarme para ambientes sistêmicos. Exaustivas leituras de artigos científicos relacionados foram realizadas.

O segundo período da revisão de literatura foi dedicado à apresentação dos trabalhos relacionados (capítulo 3) ao desta pesquisa. A escolha por esses trabalhos utilizou o critério de aceitar somente pesquisas que abordassem a criação de soluções para detecção e alarme em ambientes, industriais e não industriais, em um cenário que envolvesse os benefícios com o uso das soluções apresentadas. Dessa forma, com esse critério, podemos dar destaque para trabalhos que estão na mesma trilha do pensamento dessa pesquisa, que tem o intuito de estudar os benefícios de alarmes para otimização de recursos com a rápida detecção e intervenção na solução de problemas apresentados.

Para organizar as características comuns entre essa pesquisa e os trabalhos correlatos, lançamos mão do propósito e ganhos acerca da importância dos alarmes para ambientes industriais, destacando-se especificamente ambientes de chão de fábrica onde exploramos a essência de funcionamento das salas de produção de alumínio a partir das grandes cubas eletrolíticas dispostas em extensos corredores denominados salas de cubas.

Após a revisão de literatura ser concluída, as etapas de construção da solução proposta, incluíram o levantamento de requisitos (seção 4.2.1) e a criação dos modelos de arquitetura (seção 4.2.2). As ações dessas etapas são essenciais para o alcance dos objetivos propostos nesse trabalho, que são a criação de um modelo de arquitetura embarcada em hardware com o uso de sistemas multiagentes que trocam informações com controladores de cubas visando o recebimento de alarme textual parametrizado que é convertido em áudio emitido diretamente para a respectiva sala de cubas que apresenta da cuba com o dado problema.

Para viabilizar o desenvolvimento dessas etapas, reportamo-nos aos conceitos da Engenharia de Softwares, Sistemas Multiagentes, Controle de Processo Eletrolítico por Computador, a fim de definir as atividades e a arquitetura mínima necessária para construção do ambiente apresentado. Na perspectiva de Sommerville (2007, p.36), existem quatro atividades fundamentais presentes durante a construção de um software, a saber:

- Levantamento de requisitos – trata-se de definir as funcionalidades do software e as restrições em sua operação;
- Projeto e implementação de software – deve ser produzido o software segundo o levantamento de requisitos;
- Validação de software – o software precisa ser validado para garantir que compre com suas obrigações.
- Evolução de software – corresponde à capacidade de o software evoluir para atender às necessidades que venham aparecer.

As ações elencadas por Sommerville foram utilizadas nesse trabalho com recurso metodológico durante a realização da pesquisa, o que incluiu ainda, os conceitos acerca de software embarcado e sistemas de tempo real. Um exemplo disso, poderá ser visto nas próximas seções que descrevem como aconteceu o levantamento de requisitos na UEMA- Universidade Estadual do Maranhão (seção 4.2), e na sequência, apresentaremos a proposta dos modelos de arquitetura (seção 4.3) elaborados.

4.2 Classificação de alarmes para sala de cubas

Um alarme é um acontecimento que requer a atenção do operador/técnico, alertando-o para uma ocorrência que precisa de intervenção imediata ou apenas chamando a sua atenção para a aproximação de um valor ou situação indesejáveis ou potencialmente perigosos. Uma condição de alarme é uma alteração das condições entendidas como normais ou uma situação que requer notificação ou mesmo a resposta imediata de um técnico qualificado.

Os alarmes podem/devem fornecer os seguintes tipos de informação:

- Alerta – chamar a atenção para situações anormais que requerem resposta célere.
- Warning – Fornecer informação sobre uma situação anormal.
- Instruções – sugerir a resposta adequada para uma situação anormal.

O espectro de abrangência e o propósito das diversas funções dos alarmes numa empresa industrial é alargado. Alguns alarmes servem, de uma forma generalista, para avisar os operadores

ou os técnicos que um processo está no limite de uma gama de operação normal.

Um alarme de hierarquia mais elevada pode assinalar que determinado processo ultrapassou o limite das suas especificações, podendo colocar em causa a qualidade do produto, requerendo uma atenta investigação das causas e possíveis impactos na qualidade final. Em igual patamar de importância estão os alarmes relacionados com a segurança, podendo colocar em causa as pessoas e a integridade dos equipamentos.

No caso específico, o primeiro trabalho realizado após as pesquisas bibliográficas, leituras de artigos científicos relacionados e revisão de literatura, foi o de mapeamento das mensagens de alarme de áudio que podem ser gerados pelos controladores e convertidos em áudio para a sala de cubas, haja vista a importância delas para a operação da área de cubas, em especial para encarregados e operadores. Neste sentido utilizou-se, ainda, a experiência obtida com o trabalho de 09 (nove) anos em sala de cubas e automação, como analista de processo eletrolítico Sênior, além de consultas e reuniões com consultores e especialistas em salas de cubas.

A partir de então, definiu-se que os alarmes deveriam contemplar situações onde a variação de resistência pudesse detectar situação de proximidade de efeito anódico, lama na cuba, sucessivas movimentações de barramento, movimentações de barramento que não retornam a cuba a sua normalidade, informando o status de operação da cuba, desligamento repentino dos acionadores do alimentador e de movimentação de barramento, oscilação de corrente/tensão, ...etc.

Cada situação mapeada representa uma potencial mensagem de alarme textual originada pelo Controlador das cubas em uma determinada sala/linha de produção. Além disso, o identificador da cuba (número da cuba) é passado como parâmetro na mensagem de alarme textual, a fim de que o operador identifique facilmente a cuba que está alarmando. Deste modo, a tabela 01 apresenta as mensagens de alarme que serão geradas para o trabalho proposto:

TABELA 1- MENSAGENS DE ALARME AUDÍVEL GERADAS DE ACORDO COM OS CENÁRIOS MAPEADOS.

Mensagem	Problema identificado
Cuba xxxx alta voltagem	Potencial efeito anódico, com aumento da resistência, devido a falta de alumina na cuba. Necessária a verificação nos alimentadores da cuba, silos de alimentação, etc.
Cuba xxxx baixa voltagem	Potencial lama na cuba, com diminuição da resistência, devido ao excesso de alumina na cuba.
Cuba xxxx oscilando	Variações na resistência da cuba, para mais e para menos.
Cuba xxxx muita descida	Sinais de descidas de barramento em curto intervalo de tempo.
Cuba xxxx muita subida	Sinais de subida de barramento em curto intervalo de

Mensagem	Problema Identificado
Cuba xxxx manual	Mudança na chave de status da cuba, dentro da sala de cubas.
Cuba xxxx macaco desligado	Problema mecânico no barramento responsável pela movimentação do anodo da cuba.
Cuba xxxx alimentador desligado	Problema físico no alimentador.
Cuba xxxx fora controle muita descida	Sucessivas descidas de barramento.
Cuba xxxx fora controle muita subida	Sucessivas subidas de barramento.

FONTE: PRÓPRIO AUTOR (2017)

* xxxx, representa o número da cuba eletrolítica com problema.

Sendo assim, considerando que em um ambiente industrial de salas de cubas é dividido em corredores de produção (linhas) e estes subdivididos em salas, existe a preocupação para emissão dos alarmes de áudio especificamente para a sala onde a cuba com problema está localizada. Isso evita um número excessivo de mensagens e o correto direcionamento da mesma para os técnicos responsáveis pelo acompanhamento da cuba eletrolítica.

Outra preocupação é quanto à disposição arquitetural dos hardwares envolvidos no trabalho apresentado, já que existem duas situações a serem consideradas quanto ao quisito, a saber: Os hardwares, onde os agentes responsáveis pela conversão das mensagens textuais em mensagens de áudio, poderão ficar dispostos tanto na sala de controle, onde os controladores estão localizados, ou cada hardware na sua respectiva sala de cubas eletrolíticas.

O interessante é que a solução apresentada permite as duas abordagens, o que pode ser considerado um ganho de projeto. Importante destacar ainda que a solução apresentada neste trabalho permite a criação de qualquer tipo de mensagem textual/áudio, a depender das situações e cenários definidos pela Engenharia de Produção.

4.2 Levantamento de requisitos

O levantamento de requisitos corresponde “a etapa de compreensão do problema aplicada ao desenvolvimento de software” (BEZERRA, 2007, p.37), sendo o seu principal objetivo a identificação de um cenário formado por atores, ações desempenhadas por esses atores, regras de negócios e elementos tecnológicos utilizados como software e hardware.

Desse modo, o levantamento de requisito surge como ação inicial e inerente a todo processo de desenvolvimento de software. Suas principais técnicas utilizadas para coletar de dados são: Análise de documentos, como formulários; observação do cenário que envolve os

colaboradores de uma instituição para identificar suas atribuições e como elas acontecem; entrevista com os colaboradores, visando identificar as regras de negócios (BEZERRA, 2007, p.21).

Desta forma, seguindo os apontamentos explicados pelos autores Bezerra (2007) e Sommerville (2007), foi realizado o levantamento de requisitos que iniciou desde o 1º período do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Computação, com a interação com professores, em especial, das áreas de Engenharia de Software, Inteligência Artificial, Sistemas Multiagentes, Teste de Software.

Durante essa interação, aliado à experiência de sala de cubas adquirida pelo pesquisador e contatos com consultores de processo de sala das cubas, que atualmente atuam em fábricas de alumínio fora do Brasil, foi possível mapear o ambiente de sala de cubas -considerando a arquitetura e os tipos de cubas eletrolíticas existentes.

Dentre os requisitos coletados, foi possível identificar os tipos de informações que exemplificam todas as características do ambiente de criação de uma solução de alarme para ambiente industrial de sala de cubas, a saber: A identificação dos atores (tabela 2); o diagrama de casos de uso envolvendo os atores e ações (figura 11); o detalhamento das fases existentes na criação (tabela 6); os modelos de arquitetura do projeto concebido; o protótipo do projeto de software elaborado; e, a ontologia e agentes construídos.

A seguir, apresentaremos cada uma dessas informações, sendo a primeira delas, a identificação dos atores que pode ser vista na tabela 2.

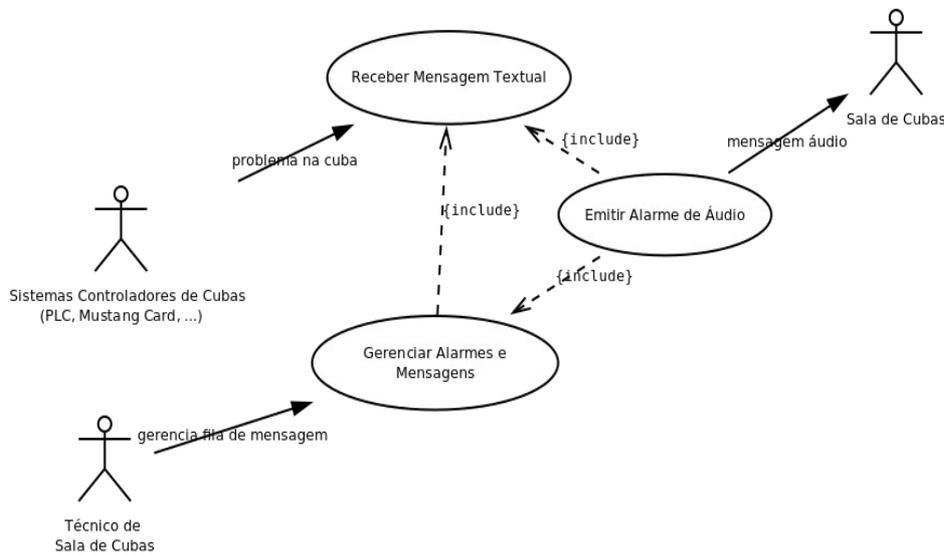
TABELA 2- LEVANTAMENTO DE REQUISITOS: IDENTIFICAÇÃO DE ATORES E AÇÕES

Ator	Detalhamento das ações
Técnico de Sala de Cubas	Responsável pelo acesso à tela de gerenciamento das mensagens.
Sala de Cubas	Local onde as mensagens de áudio são direcionadas, tendo como foco principal operadores e técnicos de processo.
Controladores de Cubas	Sistemas responsáveis pelo controle de processo eletrolítico por computador, que recebem os sinais digitais das cubas e devolvem sinais atuadores para as mesmas.

FONTE: PRÓPRIO AUTOR (2017)

Como resultado da identificação dos atores e ações, foi produzido o diagrama de casos de uso, conforme figura 11:

FIGURA 11- DIAGRAMA DE CASOS DE USO DO SISTEMA PROPOSTO



FONTE: PRÓPRIO AUTOR (2017)

A figura 11 mostra os atores que estão inseridos no contexto da abordagem proposta, e seus casos de uso, mostrando o conjunto de caminhos que os agentes podem executar ao longo do sistema, cada um com um objetivo discreto. Os atores que representam o sistema controladores de cubas, na prática, pode ser representados por qualquer tecnologia controladora, deste PLC (controladores lógicos programáveis), até aplicações de controle de cubas em tempo real que interagem com conversores analógico/digital, digital-analógico e cartões *mustang*.

O caso de uso “Emitir Alarme de áudio”, faz a conversão das palavras textuais recebidas dividindo cada uma delas em arquivos de áudio (ex. formatos .wav) que são emitidas para as respectivas salas de cubas de acordo com o parâmetro que identifica o número da cuba com problema.

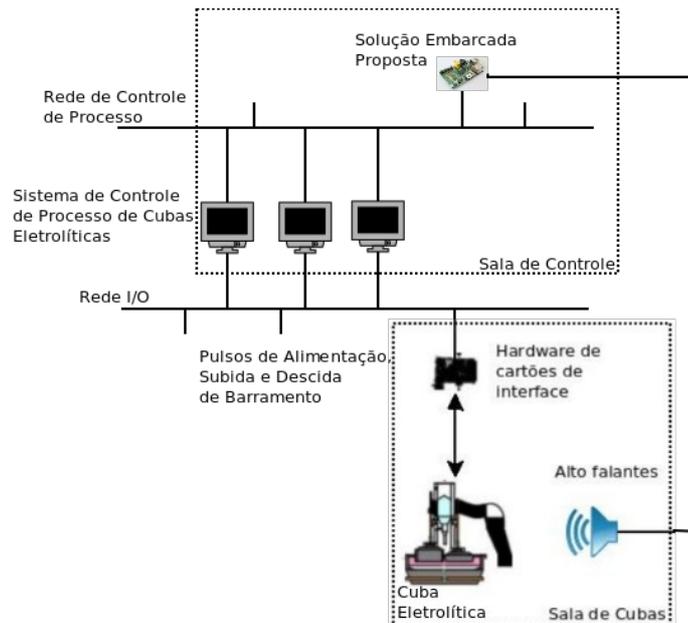
4.3 Proposta de um Modelo de Arquitetura

Como proposta de trabalho foram realizadas revisões bibliográficas das leituras, considerando as abordagens relacionadas à software embarcado, sistemas multiagentes dentro do domínio de ambiente industrial de sala de cubas eletrolíticas para produção de alumínio. A partir das revisões bibliográficas, foram realizados estudos sobre as tecnologias embarcadas existentes,

hardware disponíveis, comunicação entre agentes de software, plataformas para execução, desenvolvimento e comunicação entre os agentes envolvidos, comunicação entre controladores e agentes, além do mapeamento das mensagens de áudio que poderão ser geradas de acordo com o problema especificamente identificado.

A figura a seguir apresenta um cenário geral de como deve funcionar a aplicação em um ambiente de sala de cubas, identificando a disposição e funcionalidade da solução proposta:

FIGURA 12- DIAGRAMA DE PROJETO DA SOLUÇÃO PROPOSTA



FONTE: PRÓPRIO AUTOR (2017)

É possível notar na figura 12, que a solução embarcada proposta está fisicamente disposta dentro da estrutura de rede de controle de processo. Entretanto, por se tratar de uma solução facilmente portátil, é possível também que tal solução fique disposta dentro da própria sala de cubas, sem interferir no objetivo macro. Pode-se, inclusive, gerar economia já que a troca de mensagens entre os agentes utiliza o ambiente de rede TCP/IP e apenas o agente controlador utiliza o canal de áudio para emular as mensagens textuais recebidas e convertidas.

Foram construídos diagramas em ferramenta AUML para a solução multiagente embarcada proposta, que inclui o diagrama de implantação (figura 12), casos de uso (figura 11), transição de estado (figura 13), blocos (figura 14), além de um protótipo embarcado em *raspberry pi* com plataforma jade executando em ambiente de simulação (figura 17), onde o agente centralizador é embarcado na placa e os agentes controladores são disponibilizados em ambientes que simulam controladores. Todos os diagramas foram construídos usando a ferramenta livre dia normal 0.97.2 (<http://live.gnome.org/Dia>). O código-fonte da solução multiagente foi desenvolvido em linguagem

Java com IDE *Netbeans* versão 8.1, onde o ambiente multiagente está sobre a plataforma de execução JADE, na versão 4.4.0.

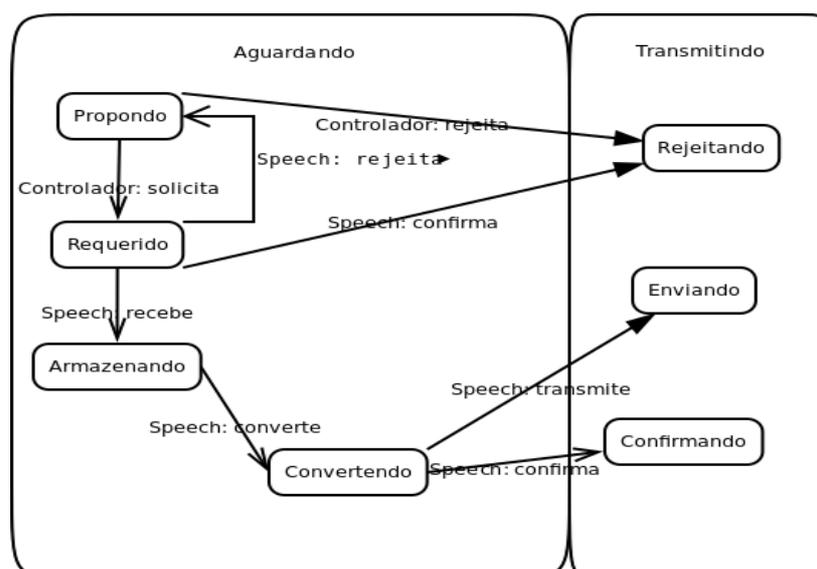
4.3.1 Diagramas do Projeto

Um diagrama representa graficamente um conjunto de elementos, representando em alguns casos, itens e seus relacionamentos. Trata-se de uma projeção gráfica dos elementos que formam o sistema, onde cada diagrama apresenta o foco em uma perspectiva única, oferecendo uma visão acerca dos elementos que compõe o sistema, tanto sob a ótica estática, como dinâmica.

Diagramas de transição de estado são empregadas para a modelagem dos aspectos dinâmicos de um sistema (BOOCH, 2005). Geralmente, representa e especifica o tempo de vida de um caso de uso, instâncias de uma classe, ou um sistema inteiro.

O Diagrama de transição de estado ,apresentado na figura 13, representa o estado e as transições associadas ao protocolo de comunicação entre os agentes desenvolvidos com o agente controlador, que ao final do processamento, transferem para a sala de cubas o alarme audível identificando um potencial problema em uma cuba eletrolítica, de acordo com as mensagens parametrizadas da tabela 1. Está sendo representado, neste caso, o nível de interação entre os agentes através da troca de mensagens e ativação através de comportamentos.

FIGURA 13- DIAGRAMA DE TRANSIÇÃO DE ESTADO DO SISTEMA PROPOSTO

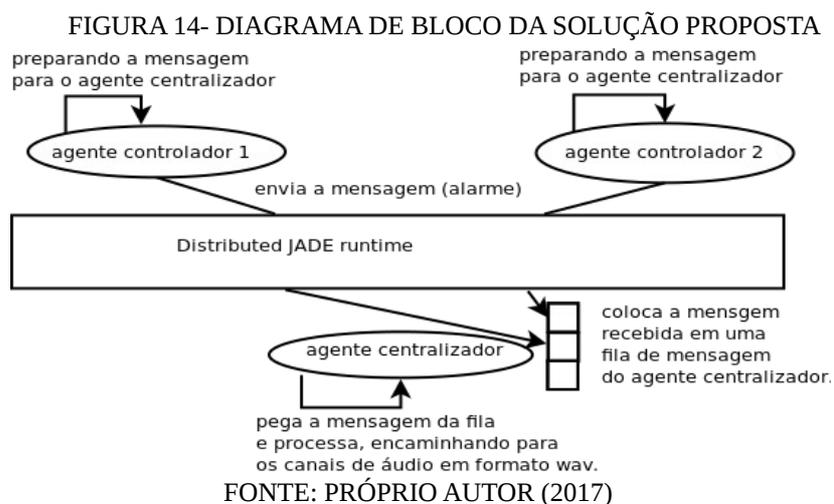


FONTE: PRÓPRIO AUTOR (2017)

Através do diagrama da figura 13, observamos os principais agentes interagindo no envio e recebimento das mensagens parametrizadas de texto (Controlador e *Speech*) que são validadas, convertidas em áudio e transmitidas. Ao considerar este cenário, teremos dois agentes principais, a saber: O controlador e o centralizador.

O primeiro agente fica instanciado dentro do controlador. Neste caso, existirá um agente para cada controlador de cubas eletrolíticas existentes no ambiente. Já o segundo, é o agente centralizador responsável por receber as mensagens de alarme textuais que deverão ser convertidas em alarmes de áudio e devidamente encaminhadas para os alto-falantes das respectivas salas de cubas. Neste caso, o agente centralizador poderá receber mensagens de texto de um ou mais agentes controladores, a depender da arquitetura e quantidade de computadores controladores existentes.

Outro diagrama produzido para a solução proposta foi o diagrama de blocos ou artefatos. Ele mostra a organização e as dependências existentes entre um conjunto de artefatos de agentes. Cada agente controlador é responsável por receber as mensagens parametrizadas geradas pelo computador de controle na qual o agente está inserido. A partir da geração e recepção dessas mensagens textuais, com o uso da plataforma multiagentes JADE, os agentes controladores enviam as mensagens de texto com o problema identificado em uma dada cuba para o agente centralizador, que enfileira a mensagem e encarrega-se de convertê-la em áudio, transferindo-as para os alto-falantes da respectiva sala de cubas, onde encontra-se a cuba com problema. O diagrama de bloco da solução proposta é apresentado na figura 14.



O diagrama de blocos da figura 14 representa o momento da preparação e envio de alarmes pelos agentes controladores, utilizando a estrutura jade como camada/barramento transportadora das

mensagens que são envidadas e recebidas pela estrutura de fila de mensagens do agente centralizador. A tabela 3, apresenta a responsabilidade dos principais agentes propostos desenvolvidos.

TABELA 3 – TABELA DE RESPONSABILIDADES DO PROJETO DE DETECÇÃO E ALARME EM SALA DE CUBAS.

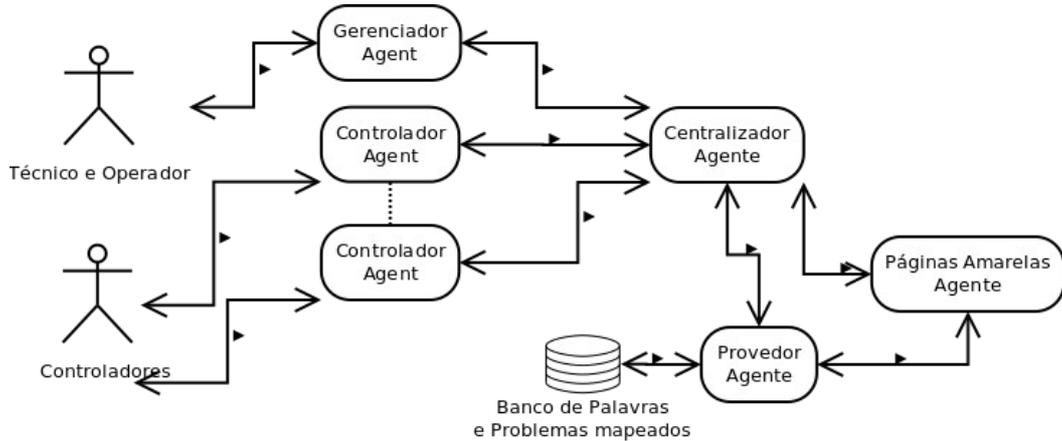
Tipo de Agente	Responsabilidades
Agente Centralizador	<p>Recebe mensagens textuais de alarmes do agente controlador.</p> <p>Recebe mensagens textuais do gerenciador de alarmes.</p> <p>Enfileira as mensagens recebidas.</p> <p>Converte a mensagem textual para mensagem de áudio.</p> <p>Identifica para qual sala de cubas o alarme deve ser emitido.</p> <p>Envia o alarme de áudio para a respectiva sala de cubas.</p>
Agente Controlador	<p>Interage com controlador de cubas.</p> <p>Recebe o alarme textual do controlador.</p> <p>Encaminha o alarme textual para o agente centralizador.</p>

FONTE: PRÓPRIO AUTOR (2017)

Nesta etapa foi realizada a listagem e identificação das principais responsabilidades para cada tipo de agente identificado. O artefato resultante desse processo, portanto, é a tabela de responsabilidades. Algumas regras AUML foram aplicadas para identificação das responsabilidades, a saber: Derivar o conjunto inicial de responsabilidades do caso de uso da figura 11; e, considerar os agentes onde essas responsabilidades são mais evidentes.

A seguir, a figura 15 apresenta a produção do diagrama de agentes envolvidos no projeto para comunicação com os controladores, objetivando a detecção e alarmes parametrizados em ambientes de sala de cubas. No artefato abaixo apresentado, um mecanismo de páginas amarelas e provedor de agentes foi produzido para atuar em conjunto com o agente centralizador, sendo responsáveis pelo mapeamento dos potenciais problemas e os respectivos alarmes audíveis.

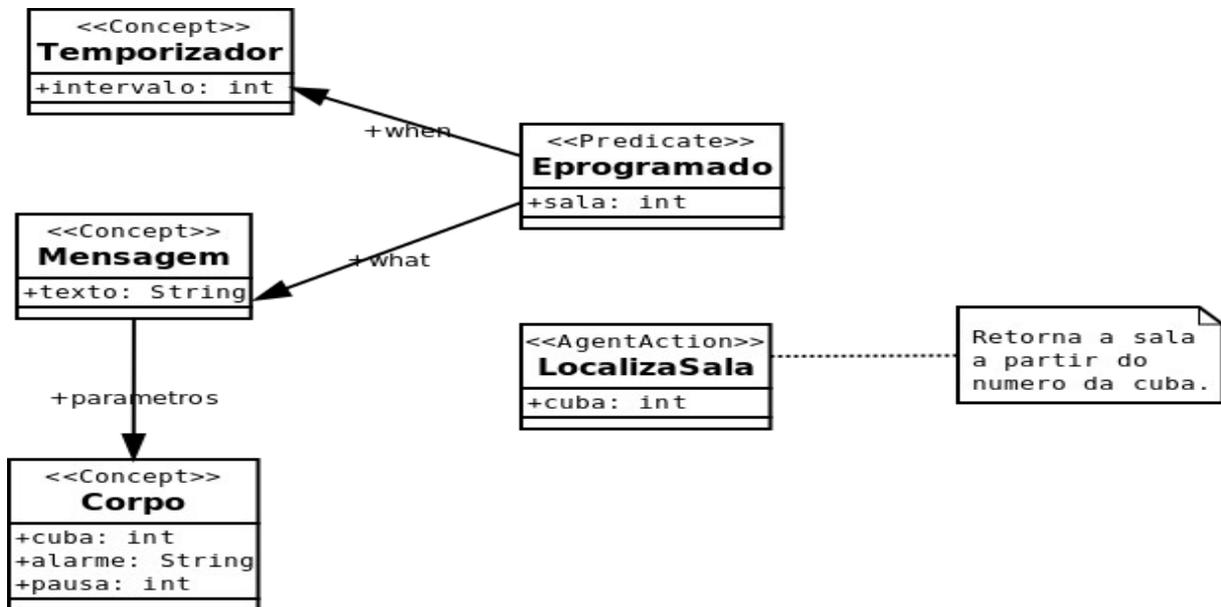
FIGURA 15- DIAGRAMA DE AGENTES Fonte: do autor.



FONTE: PRÓPRIO AUTOR (2017)

Diferentes formalismos podem ser adaptados para expressarem uma ontologia. Na metodologia proposta, construída como diagrama de classes AUML, uma representação gráfica desse formalismo foi concebida, conforme mostra a figura 16, a seguir:

FIGURA 16- A ONTOLOGIA ORGANIZACIONAL DE DETECÇÃO E ALARME



FONTE: PRÓPRIO AUTOR (2017)

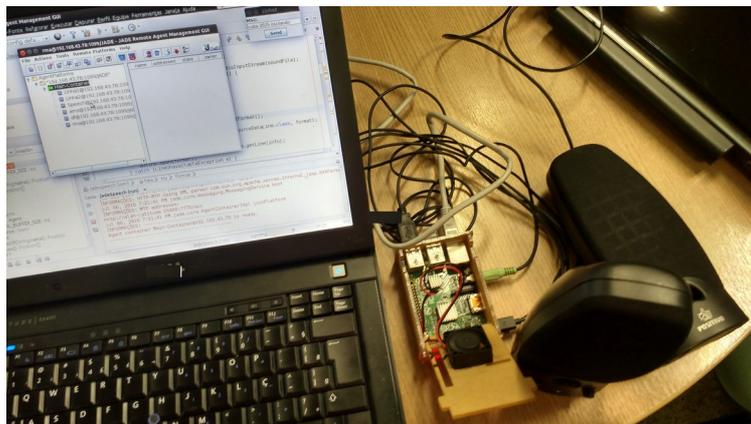
Nela, cada *template* ontológico é representado como uma classe e os esteriótipos são utilizados para diferenciação entre os conceitos, predicados e comportamentos dos agentes. Além disso, efeitos e resultados produzidos pela execução de uma rotina são documentados como comentários às ações de cada agente. Na ontologia criada, o agente organizador “Mensagem” deve

solicitar ao agente “LocalizaSala” a execução da ação localizar sala, devendo fazer da seguinte forma: (*REQUEST (action (LocalizaSala:number <cuba numero>))*)).

4.2.1 Protótipo da implementação

No experimento realizado, os alarmes de cubas com alta voltagem, muita subida e/ou descida de barramento, cuba oscilando, e seu status de operação são detectados pelos agentes controladores, a partir de variáveis e parâmetros setados pelos controladores de cuba, sendo encaminhados para o agente centralizador que encaminha para a respectiva sala de cubas, embarcada em *raspberry pi*. O agente centralizador identifica na fila de mensagens os alarmes textuais que serão emitidos na ordem *fifo (first-in, first-out)* para a sala de cubas em formato audível, como um sistema de aviso, o que ajuda na difusão mais rápida de a situação crítica encontrada. A figura 17 apresenta o experimento consolidado através de um protótipo para a abordagem modelada.

FIGURA 17- PROTÓTIPO DO SISTEMA PROPOSTO

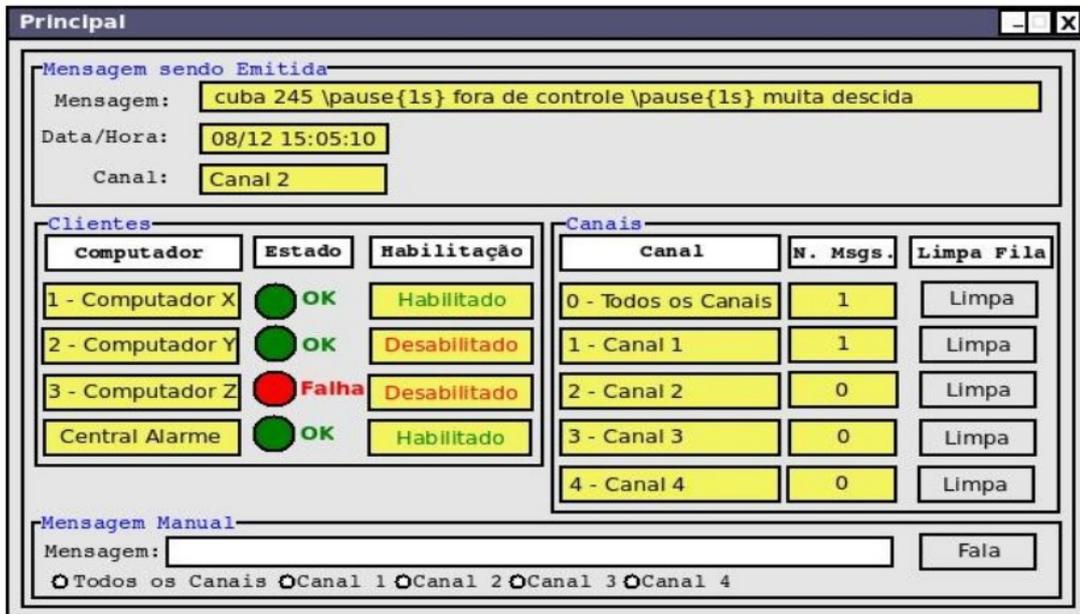


FONTE: PRÓPRIO AUTOR (2017)

Através deste experimento foi realizada a simulação da solução proposta com a geração dos parâmetros por meio de simulador gerado em *netbeans* Java (apresentado acima no notebook), simulando o ambiente controlador onde o agente controlador interage com o agente centralizador, embarcado no hardware *raspberry*, que converte as mensagens textuais geradas, em mensagens de áudio, e emite-as através das caixas de som, conforme mostra a figura 17.

A seguir, a figura 18 apresenta o protótipo da tela de gerenciamento dos alarmes textuais gerados, exibindo as mensagens existentes na fila e o status de emissão.

Figura 18 – PROTÓTIPO DO GERENCIAMENTO DE ALARMES.



FONTE: PRÓPRIO AUTOR (2017)

Com a tela de gerenciamento, o operador e técnico de área podem identificar as mensagens existentes na fila de mensagens, quantidade, realizar a limpeza da fila de mensagens, caso necessário, habilitar e desabilitar os controladores que estão funcionando e as mensagens que estão sendo emitidas pelo agente centralizador. É possível ainda que o operador simule mensagens manuais, caso seja necessário realizar testes dos alto-falantes e demais estruturas do ambiente de sonorização.

5 TRABALHOS FUTUROS

Ao considerar que o projeto foi concebido para gerenciamento de alarmes em ambientes industriais de sala de cubas e que esses ambientes utilizam controladores , cujo sistema operacional e arquitetura trabalham continuamente em tempo real, interagindo com interfaces de cartões conversores de sinais analógicos para digitais e digitais para analógicos, seria uma oportunidade para tal abordagem, o uso de ferramentas de desenvolvimento e *framework* voltados para construção de sistemas multiagentes em tempo real. Com este propósito, apresentamos a seguir uma das potenciais ferramentas que poderão ser utilizadas para esse desenvolvimento, em substituição à ferramenta de desenvolvimento multiagentes Jade. Esta abordagem traz como benefício a eliminação de problemas relacionados ao *garbage collector*, este existente na ferramenta Jade. Consolida ainda a ferramenta com o uso de plataformas específicas para uso de aplicações *real time*.

5.1 Sistemas de tempo real

Em um sistema de tempo real, a especificação de estados e comportamentos de um sistema dessa natureza incluem restrições relacionadas ao tempo no mundo real. O software em tempo real, geralmente, interage com entidades do mundo real. Esses softwares podem ser incorporados em um único dispositivo mecânico ou distribuídos por hardware em milhares de quilômetros. Setores como aeronáutica, fábricas de robótica, ambientes industriais de automação e controle de plantas químicas e nucleares, controle de tráfego aéreo e gerenciamento de campos de batalha, são exemplos de aplicativos em tempo real (Bihari, 1992).

Em Sommerville, 2011, é feita uma afirmação acerca de que todo software embutido é um software de tempo real, devido à necessidade de atender a uma requisição dentro de um *deadline*. Essa seria a grande diferença entre um software embutido e outros sistemas de software. Evidencia-se, portanto, que tempo é preponderante para a definição de um sistema de software de tempo real. Em nível de sala de cubas, temos controladores realizando leituras, envio e recebimento, de sinais digitais, em termos de milésimos de segundos. Sommerville, 2011 reforça esse argumento através do seguinte conceito:

Um sistema de software de tempo real é um sistema cujo funcionamento correto depende tanto dos resultados produzidos pelo sistema quanto do tempo em que esses resultados são produzidos. Um “sistema de tempo real” é um sistema cuja operação é degradada se os resultados não forem produzidos em conformidade com os requisitos de tempo especificados. Se os resultados não forem produzidos de acordo com a especificação de

tempo um “sistema de tempo real pesado”, isso é considerado uma falha de sistema.

5.1.1 Jamaica VM

Criada pela Aicas *realtime*, Jamaica VM é uma implementação da *Java Virtual Machine Specification* para sistemas de tempo real desenvolvidos em Java 6 SE (*standard edition*), construída para executar aplicações de tempo real. Apresenta ambiente determinístico e eficiente coletor de lixo (*garbage collection*), incluindo herança prioritária e outras funcionalidades de tempo real (Arvehammar, 2007). Tem a vantagem de suportar as bibliotecas padrão Java 2.0 e especificações de tempo real para Java 3. O eficiente coletor de lixo descrito anteriormente ocorre em função da funcionalidade de gerenciamento dinâmico de memória.

De acordo com Aicas 2016, o gerenciamento dinâmico de memória é otimizado pelo coletor de lixo Jamaica VM e que todas as *threads* executadas pelo JamaicaVM são de tempo real para que não seja preciso distinguir as *threads* que não são de tempo real. Esse recurso permite o uso completo da linguagem Java, todas as suas funcionalidades, o que incluem a alocação de objetos e as chamadas de bibliotecas Java.

A Jamaica VM provê o padrão industrial de implementação da RTSJ – Realtime Specification for Java Specification para uma ampla gama de sistemas operacionais de tempo real disponíveis no mercado (Aicas, 2016). A especificação RTSJ provê uma infraestrutura essencial para programação java em tempo real (Bollela, 2006). O algoritmo básico do coletor de lixo utilizado pelo Jamaica VM é uma simples marca incremental e coletor de varredura, como descrito por Dijkstra et al em 1976. Para isso, são utilizados três conjuntos distintos de objetos identificados pelas cores branco, cinza e preto. No ciclo inicial, todos os objetos são iniciados com a cor branca e aqueles alcançáveis a partir da raiz, na cor cinza. Pelas razões acima apresentadas, é possível eliminar problemas de coletor de lixo do jade, como o uso do jamaica vm.

5.1.2 Vantagens e desvantagens da Implementação

O projeto proposto e implementado apresenta algumas vantagens que se evidenciam tanto na arquitetura de hardware quanto de software envolvidos. Primeiramente, destacamos como vantagem o uso de um dispositivo de hardware integrado e compacto em uma única placa (*raspberry pi*) que apresenta baixo custo e possibilita uma maior portabilidade nesse tipo de projeto, alarmes em ambientes industriais, de modo a garantir uma gama de possibilidades de disposição física da estrutura de cabeamento estruturado de áudio e rede de dados.

Aliado a esses aspectos, já no campo do software, temos um projeto desenvolvido para

sistemas multiagentes o que permite o uso de todos os recursos e propriedades de um agente de software, como automaticidade, comunicação, ações reativas e proativas, permitindo a interação com operadores e encarregados de sala de cubas no mapeamento das soluções adotadas para solução de um dado problema, de modo que o próprio agente possa, com uma maior precisão, identificar a causa raiz e propor ações corretivas/preventivas.

Por se tratar de uma solução para ambientes industriais e que está apresentada dentro do domínio de sala de cubas, toda interação da solução proposta e apresentada é feita com controladores que atuam em tempo real, seja ele PLC (Controlador Lógico Programável) ou outras soluções disponíveis no mercado. Como o projeto foi implementado usando a ferramenta Jade, *framework* para desenvolvimento de agentes em java, são herdados problemas relacionados ao *Garbage Collector*, que por sua vez dificultam o funcionamento em ambientes de tempo real, já que o objetivo é que a aplicação esteja em constante comunicação com os controladores *real time*.

Deste modo, como trabalho futuro, a solução poderia ser otimizada com o uso do Jamaica VM permitindo assim que uma das potenciais desvantagens apontadas seja mitigada, além da customização de uma solução de alarme em cima de ferramentas específicas para ambientes industriais de tempo real.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste último capítulo da dissertação de mestrado, intitulada abordagem multiagentes embarcada para alarme em ambientes industriais de sala de cubas eletrolíticas, apresentamos conclusões que foram surgindo no decorrer de toda essa trajetória de pesquisas, estudos e discussões com o orientador e demais alunos das diversas disciplinas cursadas na UEMA- Universidade Estadual do Maranhão, a saber: Elaboração e coleta do subsídio teórico que originou a pesquisa científica na qual foram discutidos conceitos, temáticas, artefatos a serem produzidos, construção dos modelos, bem como a delimitação da metodologia utilizada para a elaboração dos requisitos, sobre a qual foi possível construir o software para o modelo de arquitetura apresentado.

O ponto de partida da concepção deste trabalho tem como marco o conceito de ambientes de chão de fábrica, mais precisamente o processo de produção de alumínio, que compreende a produção industrial do alumínio primário feito pelo processo de *Hall-Héroult*, assim chamado em homenagem a seus inventores, que independentemente um do outro, em 1886, desenvolveram e patentearam um processo eletrolítico em que o óxido de alumínio (ou alumina, Al_2O_3) é dissolvido num eletrólito que consiste principalmente de criolita fundida (Na_3AlF_6) e fluoreto de alumínio (AlF_3) (Kvande, 2014). Durante o período de elaboração e consolidação da fundamentação teórica, discutimos e apresentamos duas propostas para início do projeto, sendo uma utilizando como interface embarcada uma CPU e outra embarcada em hardware de menor porte (*raspberry*), este último melhor aceito por conta das diversas vantagens já elencadas na seção 5.

Nesse sentido, faltava a definição de como seria realizada a comunicação entre os controladores de cuba e como as mensagens trocadas poderiam ser emuladas de forma audível para uma sala de cubas específicas, já que, dependendo da numeração da cuba, a mensagem deveria ser emitida apenas para determinada sala. Baseado nestas discussões, aliado às disciplinas cursadas ao longo do Programa de Pós-Graduação PECS2015 UEMA, o modelo baseado em agentes de software foi proposto e aceito como sendo a ferramenta ideal para início do projeto sendo a referência literária utilizada para delimitar as análises e conclusões oriundas do levantamento de requisitos, que foi acontecendo paralelamente no decorrer do mestrado, resultando na concepção de uma proposta de modelo de arquitetura para criação de uma abordagem multiagentes embarcada para alarme em ambientes industriais de sala de cubas eletrolíticas.

Com relação ao período correspondente ao levantamento de requisitos e do escopo do

projeto apresentado, destacamos as disciplinas oferecidas no mestrado, como Engenharia de Software, Inteligência Artificial e Sistemas Multiagentes.

Convém ainda, registrar que o presente trabalho foi aceito em duas conferências internacionais, a saber: *Fifth International Conference on Soft Computing, Artificial Intelligence and Applications* (SAI 2016) e *Computing Conference 2017*. A primeira foi onde o trabalho efetivamente foi publicado e apresentado, na cidade de Rove em Dubai, UAE, na forma de artigo, apresentado no dia 12 de novembro de 2016, na *Academy & Industry Research Collaboration Center* (AIRCC) e publicado na edição do *Computer Science Conference Proceedings in Computer Science & Information Technology (CS & IT)* sob o DOI 10.512/CSIT.2016.61308. A segunda não evoluiu devido à assinatura de direitos autorais oficializados perante a primeira conferência internacional apresentada.

Entretanto, ao fim deste trabalho, e após tomar conhecimento sobre toda essa estrutura, nos remetemos a outros questionamentos e conseqüentemente surgem novas inquietações que merecem ser trabalhadas na perspectiva de trabalhos futuros, pois estão além do escopo delimitado pelos objetivos desta pesquisa. Pretende-se dar continuidade a esta pesquisa na forma de trabalhos futuros. Nesse sentido, abaixo estão elencadas algumas sugestões de aprimoramentos, envolvendo o modelo de arquitetura proposto:

- Aprimoramento da interface e dos módulos do sistema. De modo que suas aplicabilidades sejam melhor utilizadas mediante alguns testes e otimizações;
- Construção através do uso de uma plataforma Java de tempo real, a fim de eliminar quaisquer comprometimentos da solução apresentada com o gerenciamento mais preciso do *Garbage Collector*;
- Ampliação para outros nichos de chão de fábrica;
- Aplicação da abordagem apresentada dentro do cenário real de sala de cubas eletrolíticas;

O andamento desta pesquisa será periodicamente publicado sobre a forma de artigos científicos em eventos nacionais e internacionais, como já foi realizado, a priori, nas publicações acima epigrafadas, sendo um com a proposta de uso da ferramenta Jamaica VM e outra abordando outros cenários de chão de fábrica e automação, incluindo com a comunicação direta com os controladores. Através da aplicação em um cenário real, será possível estimar a economia e a melhoria ou não da eficiência da cuba em termos de custos com a solução de alarme proposta.

REFERÊNCIAS

Aicas. **Jamaica VM realtime java technology**, 01/11/2016. www.aicas.com.

Aicas. **Jamaica VM 8.0 user documentation**, 01/11/2016.

Arvehammar, Maja (2007). "**Object-Oriented Automation System.**" Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology.

Bellifemine, F., G. Caire, D. Greenwood, e I. NetLibrary (2007). **Developing Multi-agent Systems with JADE**. Springer.

BEZERRA, E. (2015) . **Princípios de Análise e Projeto de Sistemas com UML**. 3ª Edição. São Paulo: Editora Campus.

BOOCH, G. (2005) **UML: guia do usuário / Grady Booch, James Rumbaugh, Ivar Jacobson**. Rio de Janeiro: Editora Campus.

Bonabeau, E. (2002) "**Agent-Based Modelling: Methods and Techniques for Simulating Human Systems**", Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA (PNAS), 99(3): 7280-7287.

Braga, Carlos A (2003). **Processo de controle de alumina no banho. Technical report**. UFMA. Av dos Portugueses - São Luís -MA.

Braga, Carlos A. P., Martin, S., Nagem N. F, Ritter, C., Silva, Ari, Verlihay, Mark (2007) **Faster Anode Effect Kill**. TMS Letters, v. 50, p. 417-422.

Braga, Carlos, Nilton Freixo Nagem, Ari Silva, Mark Verlihay, Stephen Martin and Christopher Ritter (2007b). **Faster anode effect kill**. TMS - **The Minerals, Metals & Materials Society**.

Braga, Carlos A., Nagem,N.F, Fonseca, J. V. (2007c) "**Bandwidth adjustment of digital kalman filter for indirect measurement of electrolytic bath state variables**". 2nd International Conference on Sensing Technology.

Braga, Carlos A. (2008) **Sintonia do filtro de Kalman para medição indireta das variáveis de estado no banho eletrolítico**. Master's thesis. Orientador: João Viana. UFMA – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Eletricidade.

Brown, D.G. (2006), “**Agent-Based Models**”, in Geist, H. (ed.) *The Earth's Changing Land: An Encyclopedia of Land-Use and Land-Cover Change*, Greenwood Publishing Group, Westport, pp. 7-13.

Corsaro, Angelo, and Douglas C. Schmidt. (2002) "**Evaluating Real-Time Java features and performance for real-time embedded systems.**" *Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, 2002. Proceedings. Eighth IEEE. IEEE.*

Dias, Ailton Fernando (2001) "*Concepção Conjunta Hardware/Software de Sistemas Embarcados de Processamento de Imagens.*" CDTN/CNEN. Belo Horizonte, Brasil.

E. W. Dijkstra, L. Lamport, A. J. Martin, C. S. Scholten, and E. F. M. Steffens. (1976) **On-the-fly garbage collection: An exercise in cooperation.** In *Lecture Notes in Computer Science, No. 46.* Springer-Verlag, New York.

F. Zambonelli, N.R. Jennings, M. Wooldridge. “**Developing Multiagent Systems: The Gaia Methodology**”, *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, vol. 12, No. 3, July 2003, pp. 317-370.

Fiona, Stevens McFaden & Bearne, Geoffrey (2001) *Aplicação de advanced process control to aluminium reduction cell - a review*, TMS- The Mineral, Metal & Materials Society.

FIPA – *Foundation for Intelligent Physical Agents*, Disponível em: <http://www.fipa.org>, Acessado em: janeiro de 2017.

FIPA. *Agent Management Specification (FIPA00023)*. 2001. Disponível em: <http://www.fipa.org/specs>. Acesso em: 01 out. 2016.

FIPA. *Agent Message Transport Service Specification (FIPA00067)*. 2001a. Disponível em: <http://www.fipa.org/specs>. Acesso em: 01 out. 2016.

FIPA. *Abstract Architecture Specification (FIPA00001)*. 2001b. Disponível em: <http://www.fipa.org/specs>. Acesso em: 01 out. 2016.

FIPA. *ACL Message Structure Specification (FIPA00002)*. 2001c. Disponível em: <http://www.fipa.org/specs>. Acesso em: 01 out. 2016.

G. Bollela. *Real-Time Specification for Java*. Addison-Wesley, 2006.

Gatti, M., Von Staa, A., Lucena, C. (2007) ***AUML-BP: A Basic Agent Oriented Software Development Process Model Using AUML.***, PUC-Rio, n. 21/07, p. 25.

JADE - ***Java Agent Development Framework***, Disponível em: <http://jade.cselt.it>, Acessado em: outubro de 2016.

Juchem M., M.R. Bastos. “**Projetando Sistemas Multiagentes em Organizações Empresariais**”. XVI Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, Brasil 2002.

Kvande, H., Drablos A. (2014). **O Processo de Produção de Alumínio e Tecnologias Alternativas Inovadoras.**

Lesser, Victor (1999) ***Cooperative Multi-Agent Systems: A Personal View of the State of the Art***, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 11, Nº 1.

Mc Enery, James, David Hickey, and Menouer Boubekeur. (2007) "**Empirical evaluation of two main-stream RTSJ implementations.**" Proceedings of the 5th international workshop on Java technologies for real-time and embedded systems. ACM.

OMG - **Object Management Group – Agent Platform Special Interest Group. Agent Technology – Green Paper.** Version 1.0, September 2000.

Raspberry PI Foundation: <http://www.raspberrypi.org/downloads/>

Reis, Luis Paulo (2003) ***Coordination in Multi-Agent Systems: Applications in University Management and Robotic Soccer.*** PhD, Electrical and Computers Engineering, FEUP, Porto.

Richardson, Matt, and Shawn Wallace (2013) "**Primeiros passos com o Raspberry Pi.**" Primeira Edição. Novatec Editora Ltda.

Russel, S. e Norvig, P. (2003) “**Artificial Intelligence: A Modern Approach**”, Prentice Hall, USA.

Russel, Stuart. "NORVIG, Peter." (2013) ***Inteligência Artificial.*** Editora Campus. Tradução da 3ª edição.

Sandholm, T. W. (1999). ***Distributed rational decision making. Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence***, pages 201–258.

Silva, Ari (1995) *Alumina feed control system of line 1 and line 2 potrooms at ALUMAR*. ABAL – Associação Brasileira de Alumínio.

Silva, Ari, Carlos Braga, Eliezer Batista (2002) *Smelter personnel technical training on aluminum production*. ALUMAR - Consórcio de Alumínio do Maranhão.

SOMMERVILLE, L. (2011) *Engenharia de Software. 9ª Edição*. São Paulo: Pearson Education.

T.E. Bihari and P. Gopinath, “*Object-Oriented Real-Time Systems: Concepts and Examples*” *Computer*, vol. 25, no. 12, Dec.1992.

Tarcy, Gary, Jerry Stepheson and Stephen Martin (2002). *QLC User’s Manual*. 2002 Alcoa Publication. Pittsburg-Pensilvania.

Telecom Italia - *JADE* - <http://jade.tilab.com/>

William, Stallings (2010) *Arquitetura e Organização de Computadores*.

Wooldridge, Michael, and Nicholas R. Jennings (1995) *Intelligent agents: Theory and practice*. *The knowledge engineering review* 10.02: 115-152.

APÊNDICE

**ANEXO 1- ARTIGO SUBMETIDO NA FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON
ADVANCED INFORMATION TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS (ICAITA 2016)**



Alan Ribeiro <alan.robert2617@gmail.com>

Thanks for your submission

7 mensagens

info@icaita.org <info@icaita.org>
Para: ALAN.ROBERT2617@gmail.com

22 de setembro de 2016 16:59

Dear Author,

We received your paper. We will update you the outcome as mentioned in the web page. Thanks for your submission.

Thanks
Conference Secretary

your PaperID: **AIRCC-24**

 Academy & Industry Research Collaboration Center (AIRCC)			
Name	ALAN ROBERT DA SILVA RIBEIRO	Posted Date	2016-09-22 12:59:40
Affiliation	UEMA	Email ID	ALAN.ROBERT2617@GMAIL.COM
Country	Brazil	Conference	Fifth International Conference on Soft Computing, Artificial Intelligence and Applications (SAI-2016)
Paper Title	APPROACH MULTI-AGENTS EMBEDDED ALARM IN POTROOMS		

APPROACH MULTI-AGENTS EMBEDDED ALARM IN POTROOMS

Luis Carlos Costa Fonseca¹, Alan Robert da Silva Ribeiro² and Jonh Selmo de Souza do Nascimento³

^{1,2,3}Department of Computer Engineering and System, State University of Maranhão, São Luis, Maranhão, Brazil

¹luiscarlos.uema@gmail.com

²alan.robert2617@gmail.com

³jonhselmo@pecs.uema.br

ABSTRACT

Industrial Shop Floor environments require fast intervention of the controller's computers and operators to ensure high industrial production efficiency. This work focuses the electrolytic potrooms process control efficiency. The main goal of this work is to design an embedded solution for detection and alarm, using multi-agents system technologies so that controllers can alert plant operators about the problems in the electrolytic pot still malfunctioning after controller intervention. If the controller action was unsuccessful due to a feeder and pot bus problem, an audio alarm is immediately issued to the potrooms so that the operator can be notified about the specific problem, independently of the potrooms location.

KEY WORDS

Alarm, Potrooms, Agents, Embedded Systems, Pot

1. INTRODUCTION

In the aluminum production process, the cost and the quality of the product is strongly affected by the amount of alumina added to the pot production. The resistance and variations of first and second orders are used to assess the percentage of the alumina concentration in the bath [1]. The resistance variation is the primary variable used as an evaluation metric of vessel behavior. In practical terms, the monitoring and control of alumina in the bath changes are implemented in accordance with the assessment of the resistive variation. There are situations, however, where the electrolytic process control computers, even sending signals to the alumina feeding actuators and movement of buses that regulate the resistance of the electrolytic cells allow better control of the amount of alumina in the pot; this guarantee control may be interrupted by any mechanical failures in actuators and busbars.

Therefore, rapid actuation of the vessel operator to reestablishment of normal operation of the equipment and continuity of the aluminum production process with higher production gain becomes a daily preoccupation of management, to the extent that an aluminum production room comprises hundreds of devices distributed over large production halls. Figure 1 shows the Alumar potroom

which has three production lines with 204, 250 and 256 electrolytic cells, each, for a total of 710 electrolytic cells.



Figure 1. Reduction Alumar

Note that potrooms are arranged in large halls in which the electrolytic cells are disposed in series, side by side. These pots are controlled by the process control computers, which send signals to drive the feeders allowing it the addition of alumina in the pot. In addition, the control computer is responsible for sending signals to drive the mechanical drive bus, responsible for the regulation of the electrolytic tank resistance variation.

When, perhaps a mechanical failure occurs in one of these devices, we have as a consequence a delay in the correction and re-establishment of the operation of the electrolytic pot, causing the excess in the bus drive and alumina supply in the pot, due to unauthorized drives by computer control generating the accumulation of alumina or the lack of it, causing increased resistance to passage of electric current and negatively affecting the efficiency in aluminum production.

Thus, it becomes necessary to adopt a technique that best fits the application of electrolytic process control computer, in order to provide the necessary information and alerts and can thus overcome and minimize problems that may arise, for example, anode effect, unscheduled shutdown pot, bored pot, or quality time requirements and life for the potrooms.

Thus, an embedded solution with communications technology based on multi-agent systems is built based on stimulus-response model, in order to map and detect all abnormalities prevent the correct operation of the electrolytic pot, even with sending signals performance controllers. If signs of activity are not sufficient to establish the acceptable level of resistance change, and consequently, of alumina in the electrolytic pot, then audio alarms are generated immediately for operators and technicians of the potrooms (factory floor) can understand the situation and carry out the necessary intervention to solve the physical problem of equipment. The system is accessible and can be easily

implemented in the automation industries that have controllers such as PLC (programming logic controller) and process control computer.

The technologies investigated in this research are the Process Control System, Multi-Agent Systems and Embedded Software, all used in the construction of a monitoring and real-time alarm solution. To perform this analysis, it is used as a case study alarm management system for aluminum production halls, rooms of tanks, which will be built using these technologies.

Is approached, therefore, the need for detection and alarm automation environments and control in which controllers can not function correctly and precisely, due to mechanical problems in the equipment that receive the command signals for actuation, as the emitted pulses the controllers. In the case of large factory floor environments where each electrolytic tank requires their respective actuators work in real time, the extent to which the actuators are triggered, the delay in identifying problems of this nature can lead to loss of productivity and own electrolytic pot of aluminum production, generating as a result of damage to the production process.

The contribution of this article is to develop an embedded management solution and alarm based on the standard observe and react, using multi-agent systems for monitoring and conversion of messages generated by the controllers, allowing the broadcast in real time, state and environmental behavior, allowing adoption of preventive actions and operational in the shortest time interval, by the vats operators working there. It consists in building a software solution embedded in a raspberry PI plate for automation and control environment, based on the response stimulus model, able to communicate with controllers electrolytic cells through the use of multi-agent systems, allowing communication between centralizing agents and controllers for transmitting / receiving text messages sent, generated by computer control, warning of each of the potential problems identified in several electrolytic cells. These text messages are received by the centralizing agent that converts audio messages transmitted to speakers of channels distributed over the potrooms, allowing the technician and in charge of the process in it can identify a pot with problem despite being in a distant location of the problem.

2. CONTROL SYSTEM POTROOM

In general, the process of aluminum production is based on the amount of alumina (Al_2O_3), the raw material added to the electrolytic bath. In a bowl, electricity circulates between a positive (cathode) and a negative pole (anode). That of the alumina mixing process, existing electrolytic bath in the pot, and passing electric current anode cathode, it is apparent that liquid aluminum is removed from the vessel for the production of ingots. Figure 2 below shows the

generic functional architecture of the aluminum production process, from the perspective of control systems. This architecture is applied to the modeling of a system of pots, specifically for monitoring purposes of their states and implementation of its controls.

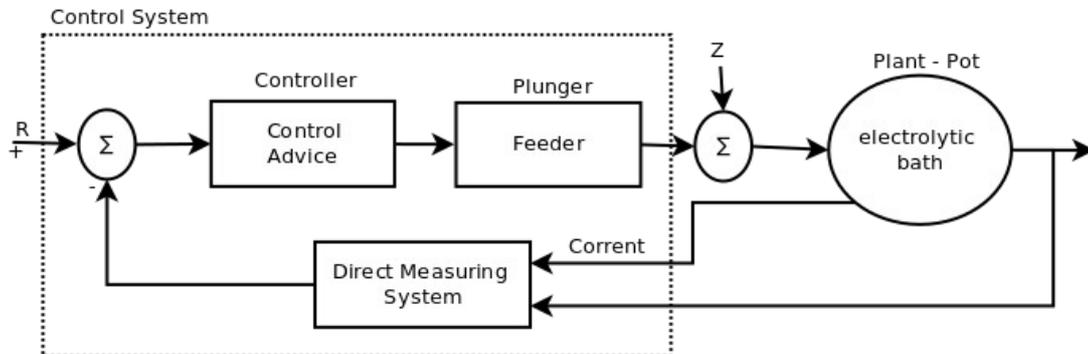


Figure 2. Block diagram for distribution of alumina in vessel

The control system comprises sensor, controller and actuator. First, it is an indirect measurement system, because from voltage and current signals and other information such as operation status pot, to estimate quantities or rates those are used by the control device. The control system processes the signals and these are used to making decisions that interfere with the production process behavior. For example, control can promote actions to modify the frequency of operation of Al_2O_3 feeder.

This control system is run on computer called process control computer, and has as main objective to control the supply of alumina to the electrolytic cells, whether pre-baked type or Soderberg point-feeder [2]. The intention is to keep a quantity of alumina dissolved in the bath to ensure maximum production of aluminum. In pots of pre-baked type, the optimum concentration of alumina in the bath is around 3% in the electrolytic bath. However, there are large variations in this concentration, depending on the operations carried out in vats and variations of other control parameters [3]. In practice, there is no method to directly measure this quantity or alumina concentration in the electrolytic bath in the process of speed control requires [4]. Therefore, the process computer controls the amount of alumina should meet the demand of alumina is added to the vessel within the rated power range. The feed interval set in seconds, is the time window in which the computer will send a pulse to drive the alumina feeders, wherein said range is from pot to pot. It means that each production cell (electrolytic tank) has its power gap target.

When the control computer sends a signal to drive the feeders, and for some reason, such feeders are not triggered, it means that some physical problem may be occurring. In this case, a physical intervention such equipment is required. For this task, they are designated process

technicians who perform the repair and the reestablishment of the operation of the feeders and voltage busbars. The problem becomes complex when technicians deal in a potroom environment with large amounts of electrolytic cells arranged in large rooms and corridors in an aluminum production plant.

3. MULTI-AGENT SYSTEMS

The definition of an agent can be expressed in many different ways. [5] defines an agent as a computational entity software, located in a given environment, which has the perception that environment via sensors has reasoning ability and acts autonomously in that environment through actuators so to perform a specific function for which it was designed. [6], defined as something that can be seen as having the perception of an environment through sensors and acting in this environment through actuators. For [7] would be a piece of hardware or a computer system based on software that enjoys some properties, such as learning autonomy, responsiveness, pro-activity and social skills.

The interaction between two or more agents in a computer system configures a Multi-Agent System where these work together to perform certain tasks or perform a set of goals. Scientific research and the practical implementation of Multi-Agent Systems is focused on building standards, principles and models that allow the creation of small and large companies of semi-autonomous agents, able to conveniently interact in order to achieve their objectives [8].

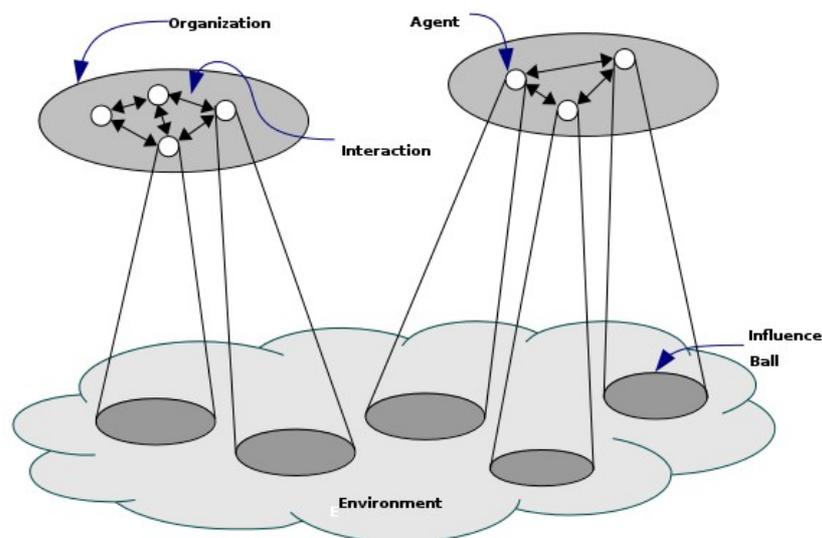


Figure 3. Structure of a Multi-Agent System

3.1. Jade

JADE tool (Java Agent Development Framework) began in 1998 through a CSELT (Telecom Italia), whose development was motivated by the need for validation of specifications of FIPA (Foundation for Intelligent, Physical Agents). AvJADE in 2000, became an open source platform, being distributed by Telecom Italia on the LGPL (Library Gnu Public License) [9].

JADE provides certain features, such as distributed applications that exploit the use of software agents. Being built on the Java platform, enables deployed agents using the JADE framework, which can run on any operating system (OS), which makes it ideal for environments where you can not get information about the OS used [10].

Other JADE's features are the development of agents and control of them via a graphical interface [9].

3.2. Auml

Unified Modeling Language Agent (Auml) is a standardized graphical modeling language by FIPA (Foundation Intelligent Physical Agents). Auml was proposed as an extension of UML (Unified Modeling Language), which uses decomposition, abstraction and organization to reduce the complexity of software development, decomposing a system in small parts of objects, models, use case or class, several operational actions. In relation to abstraction, it provides a specialized abstract view of modeling (class, use case diagram of interface etc.) and is used to create a set of semantics and operating service conditions and infrastructure [11].

The Auml offers structures as a class diagram and interface to show how agents can be erected in an agent system. The model focuses on a point at a time, increasing the ability to understand the issues to complex problems during the lifetime of the system design.

The main parts of Auml are the mechanisms for modeling multi-agent interaction protocols. This is accomplished by introducing a new class diagrams UML diagrams protocol. These extend diagrams and sequence diagrams of UML state, as shown in Figures 4 and 5.

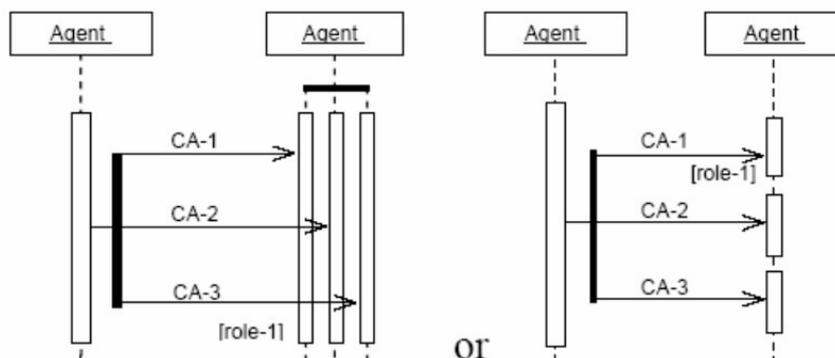


Figure 4. AUML – Diagram Sequence

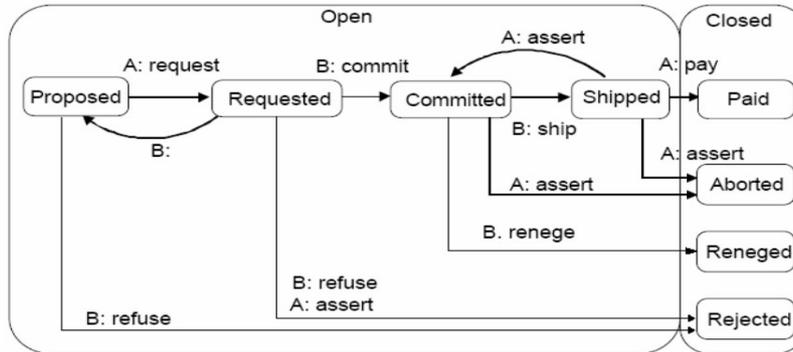


Figure 5. AUML – State Diagram

4. EMBEDDED SYSTEMS

The embedded systems are a combination of computer hardware and software, sometimes having mechanical parts designed to perform a dedicated function, wherein such systems are often only a small part of a larger system [12].

Typically, they are implemented from different technologies such as microprocessors, microcontrollers, DSP, reconfigurable circuits, analog circuits and microwave and even microelectromechanical systems (MEMS - Micro Electro Mechanical Systems) [13].

4.1. Raspberry PI

The Raspberry Pi model B is a small computer that uses the Broadcom BCM2835 multimedia processor, the SoC type (system-on-chip), with 700 MHz 32-bit, built on the ARM11 architecture [10]. The board is fed by a micro-USB port, with 5V voltage and requiring at least 700mA, with waste of energy varying in 3.5 W [14].

The Raspberry Pi has no hard disk on your hardware composition, using only one memory card. For operating system installation it is necessary that the card has at least 2 GB capacity for all the necessary files. The operating system commonly used is the Raspbian, a distribution recommended by Raspberry Foundation, based on Debian [15].

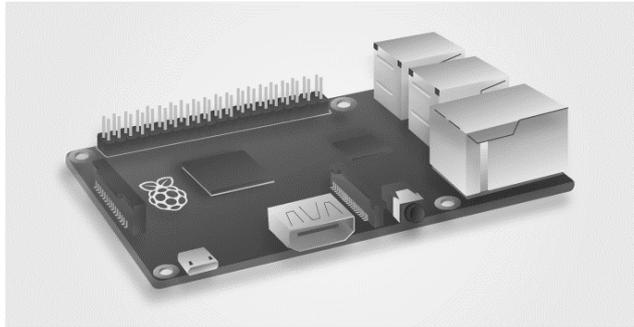


Figure 6. Raspberry B+ model

5. RELATED WORK

[Binnicker G. 2015] presents a tool to detect and alert with temperature sensors for vehicles occupied by passengers. The system alerts drivers if a child is left unattended in the vehicle in order to prevent the child from being exposed to high or low temperatures inside the vehicle. To this end, sensors are used to capture data via occupancy sensors, temperature and distance. The data captured by the sensors determine the need to alert sent to the vehicle owner (driver) if an occupant has been left inside the vehicle, still controlling some functions of the vehicle, allowing foreign individuals to rescue him, with the unlocking of doors, windows opening, with possible activation temperature of the automobile system.

[M. Kumar et al. 2015] designed and developed an intelligent detection and intrusion alert system designed to increase security, with real positive identification probability of attackers and intruders, compared to other electronic security systems already used. Through multiple sensors, the system evaluates the extent of danger exhibited by a person or animal within the confines of the residence, conveying the owner of the residence, the various information about critical events generated.

[Ramya V. 2012] presents a construction work involving containing a microcontroller system for detecting and warning of toxic gases, particularly propane and LPG. Specific sensors for identification of these two noxious gases are added to the microcontroller, which through the use of analog / digital converter capture and analyze the information, which are also shown in the display. If the gases exceed acceptable limits, the system immediately generates an alarm and also send SMS alert message to authorized persons using GSM technology.

[Gaspar et. al. 2010] addresses the adoption of an alarm management philosophy for incident management that avoids the generation of a huge amount of alarms in order to make life easier for technicians who must manage in real time complex and dynamic environments and good management alarms can provide crucial information to identify the cause of the fault and replace the plant in normal operating state.

[Morales F. 2001] created and patented a monitoring and alarm system in a network audio link that detects sound alarms triggered and inform the responsible authorities. The system and method created based on the audio produced from alarms which are triggered. Implemented for PC type computers or other premises of processors, different sound coming from different alarms, classifies the sound as a specific alarm by FFT processing and distributes the alarm over the Internet, public telephone switches, or other communication links to central station, which then distributes the alarm to the authorities. In another embodiment, the alarm reports are generated directly from the PC to the residence or specific company where authority is located.

6. PRELIMINARY RESULTS

As preliminary results, diagrams were built in Agent UML (Auml) for multi-agent embedded proposed solution, which includes the deployment diagram, use cases, activities, block, and an embedded prototype raspberry pi with jade platform running on environment simulation, where the centralizing agent is embedded in the board and the controlling agents are available in environments that simulate controllers. All diagrams were constructed using the free tool-day standard 0.97.2 (<http://live.gnome.org/Dia>). The source code of the solution multi-agent was developed in Java with Netbeans IDE version 8.1, where the environment is multi-agent on the implementation platform JADE, in version 4.4.0.

6.1. Diagram Use Cases

Figure 7 shows the actors are placed in the context of the proposed approach and its use cases, showing the set of paths that agents can run through the system, each with a discrete goal. The actors representing the controlling system of tanks in practice can be represented by any controller technology, this PLC (programmable logic controllers) to real-time vats control applications that interact with Analog Stick / digital converters, analog and digital cards Mustangs.

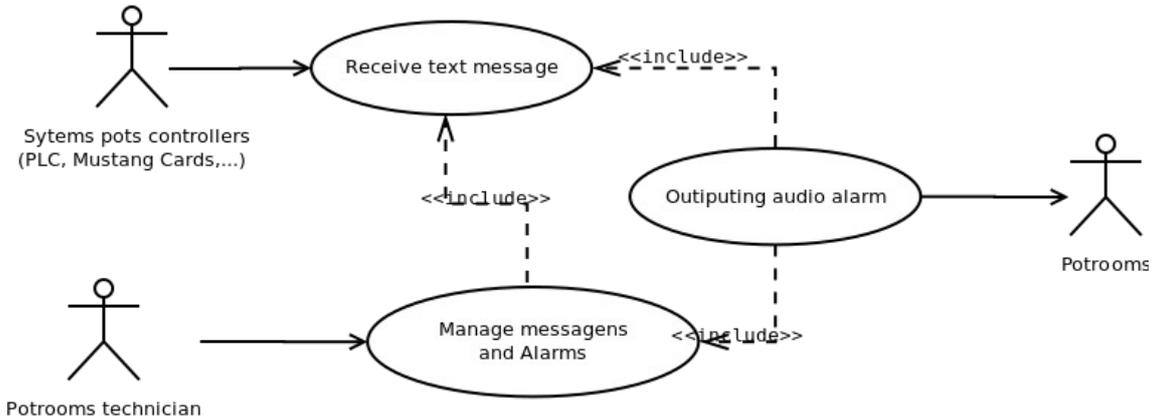


Figure 7. Diagram Use Cases of the proposed system

The use case Send audio alarm, converts the textual words received by dividing each of them into audio files (eg. .wav) that are sent to their rooms vats according to the parameter that identifies the number of pot with problem.

6.2. Transition State Diagram

The Transition State Diagram shown in Figure 8 represents the state and associated transitions to the communication protocol between the developed agents and between the controller and agents, which at the end of processing, transfer to the vat room audible alarm identifying a potential problem in an electrolytic tank. Is represented in this case, the level of interaction between players by exchanging messages and activation through behaviors.

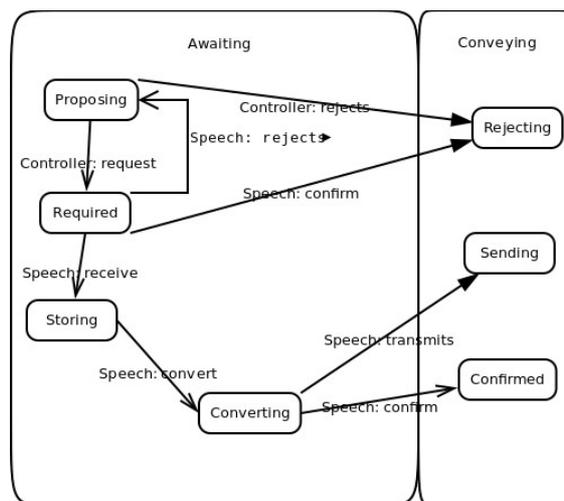


Figure 8. State Transition Diagram of the Proposed System

Through this diagram, we see the main actors interacting in the sending and receiving of text messages parameterized (Controller and Speech) that is validated, converted to audio and broadcast.

6.3. Diagram Deployment

The deployment diagram shown in Figure 9 detailing the distribution of the proposed solution in a generic environment potroom controlled by the controlling computer. It is observed that the bundled solution raspberry pi plate is arranged in the process control network, in the same environment controllers. The audio channel raspberry card is connected to speakers arranged in the potroom. Therefore, the power pulses, ascent and descent bus, when they jammed by mechanical failures in the vats can be signalled in the form of beep, in which the solution proposal report to the operator exactly what existing physical problem.

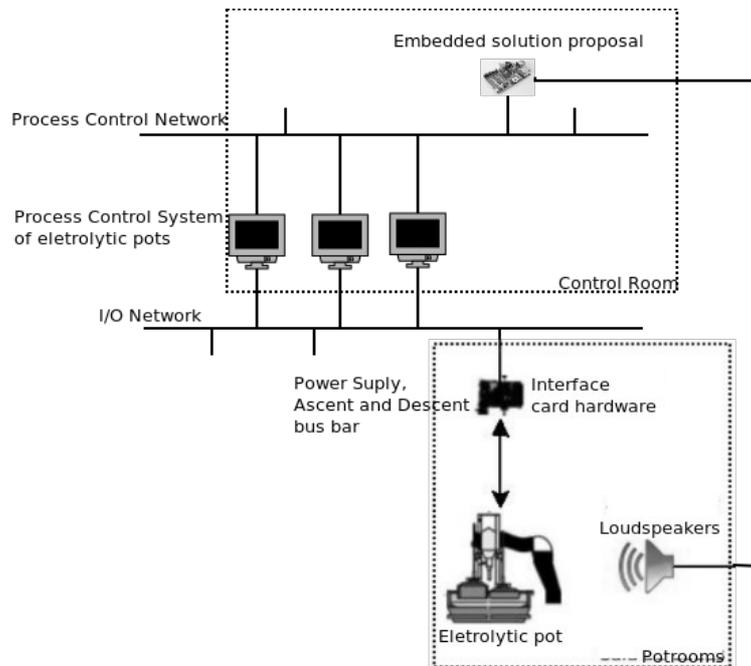


Figure 9. Deployment Diagram of the Proposed System

6.4. Block Diagram of the Proposed Solution

Each controller agent is responsible for receiving the parameterized messages generated by the control computer in which the agent is inserted. From the generation and reception of such text messages, with the use of multi-agent platform JADE, the controlling agents send text messages with the problem identified in a given tank to the centralizing agent, which queues the message and is in charge of is converted it audio, transferring them to the speakers of the respective room vats, where the pot with problem lies. The solution proposed is the block diagram shown in Figure 10.

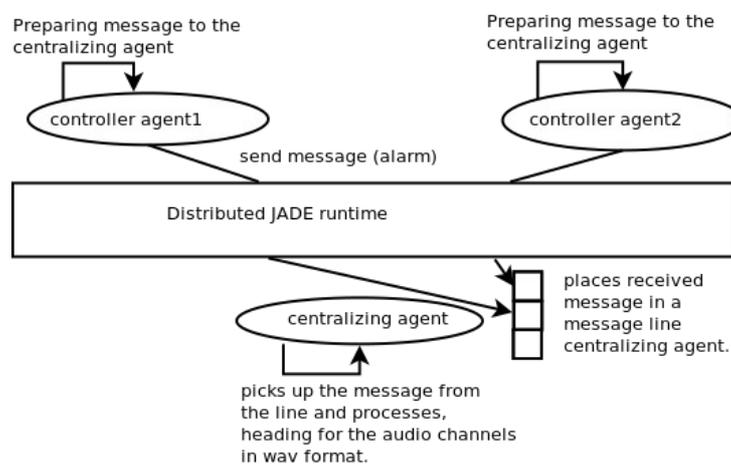


Figure 10. Solution Block Diagram proposal

7. IMPLEMENTATION

Alarms tanks with high voltage, much increase and / or bus down, swings, and its operating status were detected by the controlling agents and sent to the centralizing agent of the respective potroom, residing in raspberry pi. The centralizing agent identifies the queue textual alarm messages that are sent in FIFO order (first-in, first-out) to the potroom in an audible format, as a warning system, which helps in faster diffusion of the critical situation found. The prototype of the proposed system is shown in Figure 11.

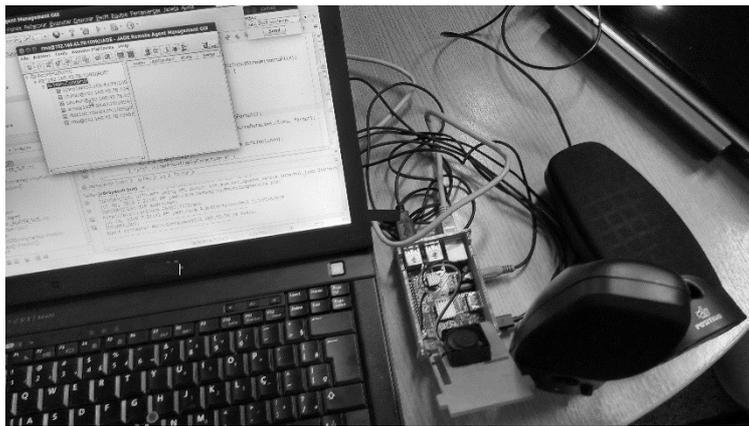


Figure 11. Prototype of the Proposed System

8. CONCLUSIONS

An embedded system using multi-agent platform for detection and alarm electrolytic cells in potrooms was implemented. For demonstration purposes they were made simulation controllers pot and controlling and centralizing agents responsible the generation and transmission of alarms in audio format for the tanks room, respectively. The extent to which the controllers identify some kind of problem in a particular pot, textual message of the problem in question, parameterized for the pot number identifier is generated and transmitted to the controller agent forwards to the centralizing agent. This solution may be suitable for any shop floor environment where there is a process automation for large equipment and controllable mechanisms that need to maximize their production with minimal stop as a function of real problems identified the equipment, enabling operators and technicians act to minimize downtime.

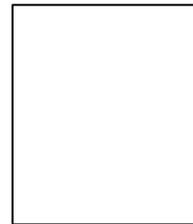
REFERENCES

- Fiona, Stevens McFaden & Bearne, Geoffrey (2001) *Application of advanced process control to aluminium reduction cell - a review*, TMS- The Mineral, Metal & Materials Society.
- Braga, Carlos A. P., Martin, S., Nagem N. F, Ritter, C., Silva, Ari, Verlihay, Mark (2007) *Faster Anode Effect Kill*. TMS Letters, v. 50, p. 417-422.
- Silva, Ari (1995) *Alumina feed control system of line 1 and line 2 potrooms at ALUMAR*. ABAL – Associação Brasileira de Alumínio.
- Silva, Ari, Carlos Braga, Eliezer Batista (2002) *Smelter personnel technical training on aluminum production*. ALUMAR - Consórcio de Alumínio do Maranhão.
- Reis, Luis Paulo (2003) *Coordination in Multi-Agent Systems: Applications in University Management and Robotic Soccer*. PhD, Electrical and Computers Engineering, FEUP, Porto.
- Russel, Stuart. "NORVIG, Peter." (2013) *Inteligência Artificial*. Editora Campus. Tradução da 3a edição.
- Wooldridge, Michael, and Nicholas R. Jennings (1995) *Intelligent agents: Theory and practice*. The knowledge engineering review 10.02: 115-152.

- [8] Lesser, Victor (1999) *Cooperative Multi-Agent Systems: A Personal View of the State of the Art*, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 11, N° 1.
- [9] Telecom Italia - JADE - <http://jade.tilab.com/>
- [10] Bellifemine, F., G. Caire, D. Greenwood, e I. NetLibrary (2007) *Developing Multi-agent Systems with JADE*. Springer
- [11] Gatti, M., Von Staa, A., Lucena, C. (2007) *AUML-BP: A Basic Agent Oriented Software Development Process Model Using AUML.*, PUC-Rio, n. 21/07, p. 25.
- [12] William, Stallings (2010) *Arquitetura e Organização de Computadores*.
- [13] Dias, Ailton Fernando (2001) "*Concepção Conjunta Hardware/Software de Sistemas Embarcados de Processamento de Imagens.*" CDTN/CNEN. Belo Horizonte, Brasil.
- [14] Richardson, Matt, and Shawn Wallace (2013) "*Primeiros passos com o Raspberry Pi.*" Primeira Edição. Novatec Editora Ltda.
- [15] Raspberry PI Foundation: <http://www.raspberrypi.org/downloads/>
- [16] Braga, Carlos A., Nagem, N.F, Fonseca, J. V. (2007) "*Bandwidth adjustment of digital kalman filter for indirect measurement of electrolytic bath state variables*". 2nd International Conference on Sensing Technology.

Authors

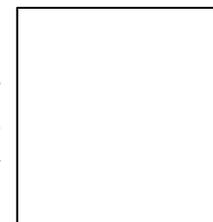
Luis Carlos Fonseca graduated in Technology in the Data Processing of Maranhão University (2000), Master in Engineering Electricity from Federal University of Maranhão (2003) and PhD in Computer Science in Education from the Federal University of Rio Grande do Sul (2009). He is currently assistant professor at the State University of Maranhão. He has experience in computer science with an emphasis in Information Systems, mainly in the following areas: Artificial Intelligence, Information Technology in Education, Software Engineering, Information Retrieval, Recommender Systems.



Alan Robert da Silva Ribeiro graduated in Bachelor of Computer Science from Federal University of Maranhão (1999), specialization in Systems Analysis and Design from the Federal University of Maranhão (2006), specialized in Advanced Systems for Internet and Intranet at University Center Maranhão (2007) and is Masters Student of Computer Engineering and Systems at the State University of Maranhão. It is currently a Ministerial Analyst and Coordinator of the Public Ministry of the Information Technology area of the state of Maranhão, having worked as a Senior Process Control Systems Analyst at multinational ALCOA, which was part of SDG global group (Service Delivery Group), responsible for development and installation of process control systems in the company's factories in the world. He has experience in the area of Computer Science, Aluminum Process Control, Information Technology Management, acting on the following topics: Electrolytic Control Computer, Artificial Intelligence, Information Technology Governance, Database, Ubiquitous Computing and Driven Engineering by models.



John Selmo de Souza do Nascimento holds a degree in Computer Engineering with emphasis on Automation and Process Control at the State University of Maranhão (2015). Currently is Masters Student of Computer and Systems Engineering from State University of Maranhão. He has experience in Geosciences with an emphasis on Georeferenced systems, robotics, mechatronics and automation.



**ANEXO – 2: ARTIGO ACEITO, PUBLICADO E APRESENTADO NA FIFTH
INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED INFORMATION TECHNOLOGIES
AND APPLICATIONS (ICAITA 2016): DAVID C. WYLD ET AL. (EDS): ICAITA, CDKP,
CMC, SOFT, SAI – 2016 PP. 83-95, 2016. CS & IT-CSCP 2016 – DOI:
10.5121/CSIT.2016.61308**



Alan Ribeiro <alan.robert2617@gmail.com>

**Registration deadline extension mail - Fifth International Conference on
Soft Computing, Artificial Intelligence and Applications (SAI 2016)**

5 mensagens

**Fifth International Conference on Soft Computing, Artificial Intelligence and
Applications (SAI 2016)** <saiconf@icaita.org>

15 de outubro de
2016 04:12

Para: alan.robert2617@gmail.com

Cc: jonhselmo@pecs.uema.br, luiscarlos.uma@gmail.com

Dear Author,

Due to enormous requests, the final camera ready submission & registration deadline has been extended to **October 22, 2016**. Submit your final paper, filled copy right form and scanned copy of the bank transfer/wire transfer receipt in this mail id: sai.conf@yahoo.com or saiconf@icaita.org on or before **October 22, 2016**.

Dear Author,

Due to enormous requests, the final camera ready submission & registration deadline has been extended to **October 13, 2016**. Submit your final paper, filled copy right form and scanned copy of the bank transfer/wire transfer receipt in this mail id: sai.conf@yahoo.com or saiconf@icaita.org on or before **October 13, 2016**.

Dear Author,

First of all, thank you very much for submitting your paper to **SAI 2016** to be held in **Dubai, UAE, November 12 ~ 13, 2016**. Based upon the reviewer's reports, we are pleased to inform you that your paper has been **ACCEPTED** by the conference and will be included in the proceedings published by **Computer Science Conference Proceedings in Computer Science & Information Technology (CS & IT)** series. Congratulations on your excellent work!

In order to achieve the highest quality proceedings, we urge you to carefully consider the reviewer's comments, if any, when preparing the final version of your

Computer Science & Information Technology

David C. Wyld
Jan Zizka

**Fifth International Conference on Advanced
Information Technologies and Applications
(ICAITA 2016)**

Dubai, UAE - November 2016

Proceedings

Computer Science Conference Proceedings
AIRCC

AIRCC Publishing Corporation

Copyright Form

Conference Name: **Fifth International Conference on Soft Computing, Artificial Intelligence and Applications (SAI 2016)**

Volume Editor(s): **David Wyld et al.,**

Title of the paper: APPROACH MULTI-AGENTS EMBEDDED ALARM IN POTROOMS

Corresponding author's information (please print):

Name: ALAN ROBERT DA SILVA RIBEIRO

Address: AMADEU AMARAL STREET, NUMBER 39 I PASE, SÃO LUIS-MA, BRAZIL

It is herein agreed that:

The copyright to the contribution identified above is transferred to AIRCC Publishing Corporation (AIRCC Publishing Corporation, <http://www.airccse.org>). This copyright transfer covers the exclusive right to reproduce and distribute the contribution, including reprints, translations, photographic reproductions, microform, electronic form (offline, online), or any other reproductions of similar nature.

The Author may not publish his/her contribution anywhere else without the prior written permission of the publisher unless it has been changed substantially. The Author warrants that his/her contribution is original, except for such excerpts from copyrighted works as may be included with the permission of the copyright holder and author thereof, that it contains no libelous statements, and does not infringe on any copyright, trademark, patent, statutory right, or propriety right of others. The Author signs for and accepts responsibility for releasing this material on behalf of any and all coauthors.

In return for these rights:

AIRCC Publishing Corporation agrees to publish the identified contribution at his own cost and expense. The Authors are entitled to purchase for their personal use Conference published by AIRCC Publishing Corporation with a discount of 50 % off the price. Resale of such copies is not permitted. The undersigned hereby gives permission to AIRCC Publishing Corporation to publish the above contribution to the above Conference.

Author's Signature: Alan Robert da Silva Ribeiro

Date: 10/11/2016

David Wyld
10/11/2016

João Silvestre Sousa do Nascimento
10/11/2016

ANEXO – 3: ARTIGO SUBMETIDO E ACEITO PARA A IEEE COMPUTING CONFERENCE 2017 (*)



Acceptance Notification : IEEE Technically Sponsored Computing Conference 2017

1 mensagem

Computing Conference <conference@thesai.org>

seg, 14 de nov de 2016 às 06:15

Para: Alan Ribeiro <alan.robert2617@gmail.com>, luiscarlos.uema@gmail.com, jonhselmo@pecs.uema.br

Dear ALAN ROBERT RIBEIRO,

Congratulations, your submitted paper "Approach Multi-Agents Embedded Alarm in Potrooms" has been reviewed and accepted for presentation at the IEEE Technically Sponsored Computing Conference 2017, to be held from 18-20 July 2017 in London, United Kingdom.

The goal of the conference is to be a premier venue for researchers and industry practitioners to share new ideas, research results and development experiences in various fields. It is one of the best respected research conferences with highlights like,

- Talks by industry experts on the state-of-the-art
- Keynote Lectures by eminent scientists designed to inspire and inform
- Presentations by innovative researchers coming from 50+ countries
- Discussion-oriented sessions and networking breaks to enable collaborations

In order to attend and present your paper, you may register online at <http://saiconference.com/Computing2017/Register> (Registration closes 1st Dec 2016).

All Computing Conference 2017 presented papers will be published in the conference proceedings and submitted to IEEE Xplore and various international databases. Authors of selected outstanding papers will also be invited to submit extended versions of their papers for publication in Springer Book Series and various International Journals.

The Conference Board has decided that the reviewers' feedback and invitation letter for visa applications (if necessary) will be emailed to the author(s) after the registration process. If you would like to receive the reviewer feedback for representation at your university/organisation, please feel free to contact us.

See you in London!

Regards,
Dr Kohei Arai
Program Chair
Computing Conference 2017

[View 2016 Conference Recap](#)