

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

DIRLEI ERNANE BAGESTÃO

ARQUITETURA DE GESTÃO DE CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA BASEADA EM SISTEMAS MULTIAGENTES

Porto Alegre
2020

DIRLEI ERNANE BAGESTÃO

ARQUITETURA DE GESTÃO DE CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA BASEADA EM SISTEMAS MULTIAGENTES

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Controle e Automação

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Pereira

Porto Alegre
2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitor: Jane Fraga Tutikian

ESCOLA DE ENGENHARIA

Diretora: Luiz Carlos Pinto Silva Filho

Vice-Diretor: Carla Ten Caten

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Coordenador: João Manoel Gomes da Silva Jr.

Vice-Coordenador: Alexandre Sanfelici Bazanella

FICHA CATALOGRÁFICA

CIP - Catalogação na Publicação

Bagestão, Dirlei Ernane
ARQUITETURA DE GESTÃO DE CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA BASEADA EM SISTEMAS MULTIAGENTES / Dirlei
Ernane Bagestão. -- 2020.
138 f.
Orientador: Carlos Eduardo Pereira.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Porto Alegre,
BR-RS, 2020.

1. Engenharia Elétrica. 2. Energia Elétrica. 3.
Gestão de Consumo. 4. Sistemas Multiagentes. 5. JADE.
I. Pereira, Carlos Eduardo, orient. II. Título.

DIRLEI ERNANE BAGESTÃO

ARQUITETURA DE GESTÃO DE CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA BASEADA EM SISTEMAS MULTIAGENTES

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela banca examinadora.

Prof. Dr. Carlos Eduardo Pereira

Prof. Dr. João Manoel Gomes da Silva Jr

Aprovado em: ____ / ____ / _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Alvarez Peixoto
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Edison Pignaton de Freitas
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Ivan Müller
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico esta dissertação a minha esposa, Melina, aos meus filhos, Enzo e Arthur e a toda a minha família pela compreensão nos momentos de ausência e pelo apoio em todos os passos.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – PPGEE, pela oportunidade de realização do trabalho de pesquisa.

Ao prof Dr. Carlos Eduardo Pereira pela orientação, compreensão e paciência durante todo o desenvolvimento do mestrado.

Ao SENAI-RS pelas oportunidades e compreensões durante a realização da pesquisa.

A todos os colegas que de uma ou de outra forma auxiliaram nesta longa e cansativa caminhada.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma arquitetura de gestão de consumo de energia elétrica baseada em sistemas multiagentes, capaz de monitorar e prever o consumo de energia, e atuar sobre os equipamentos. Para a indústria brasileira, a energia elétrica pode ser comercializada pelo sistema de contratação de demanda, onde é disponibilizada uma quantia de energia por um determinado valor. Sempre que está quantia contratada é ultrapassada, a indústria paga multa. Considerando esta situação, há a necessidade de um controle automático e descentralizado do consumo. Estudos demonstram que a energia elétrica representa cerca de 40% dos custos de produção. O modelo autoregressivo de média móvel pode contribuir na previsão de consumo de energia elétrica em curto prazo. Já os sistemas multiagentes utilizam-se de suas características (autonomia, habilidade social, reatividade e pró-atividade) para contribuir no controle, tomada de decisão e operacionalização do sistema. A arquitetura proposta prevê a existência de três agentes principais, o Agente de Monitoramento e Previsão (AMP), Equipamento Agente (EA) e o Equipamento Agente com Redução de Consumo (EAR). Os EA são responsáveis por controlar todos os equipamentos ON/OFF, tendo por base uma prioridade de desligamento, consumo nominal, tempo de desligamento e situação momentânea. Os EAR são responsáveis por controlar os equipamentos que permitem redução de seu consumo, mantendo-os ligados. Já o AMP é responsável por monitorar e prever uma possível ultrapassagem da demanda contratada. Quando houver uma possível ultrapassagem da demanda contratada, os EA's/EAR's avaliam se a prioridade em execução é igual a sua. Caso seja, iniciam a negociação com os demais EA's/EAR's para verificar quem dispõem do menor tempo de desligamento. Quando identificado um agente com estas características, este se desliga (EA) ou reduz o seu consumo (EAR). Para a implementação utilizou-se o *framework* JADE e a linguagem de programação JAVA. Todos os testes foram realizados em ambientes de simulação, em alguns casos baseados em ambiente reais da indústria. Os resultados obtidos nos testes realizados demonstraram que a solução proposta é capaz de atender os requisitos de controle de demanda de uma forma descentralizada, onde as decisões de desligamento são tomadas pelos agentes EAR com base nas prioridades dos equipamentos, as quais são dinâmicas e buscam refletir a importância da utilização dos equipamentos durante a operação. Oportunidades de trabalhos futuros visando melhorias e aumento da eficiência da proposta são apresentados no final da dissertação.

Palavras-chave: Engenharia Elétrica. Energia Elétrica. Gestão de Consumo. Sistemas Multiagentes. JADE.

ABSTRACT

This work presents an architecture for managing electricity consumption based on multi-agent systems, capable of monitoring and forecasting energy consumption, and acting on equipment. For the Brazilian industry, electric energy can be sold through the demand contracting system, where a certain amount of energy is made available. Whenever the contracted amount is exceeded, the industry pays a fine. Considering this situation, there is a need for an automatic and decentralized control of consumption. Studies show that electricity represents about 40% of production costs. The autoregressive moving average model can contribute to the forecast of electricity consumption in the short term. Multiagent systems use their characteristics (autonomy, social skills, reactivity and proactivity) to contribute to the control, decision making and operationalization of the system. The proposed architecture provides for the existence of three main agents, the Monitoring and Forecasting Agent (AMP), Agent Equipment (EA) and the Agent Equipment with Reduction of Consumption (EAR). The EA are responsible for controlling all ON / OFF equipment, based on a shutdown priority, nominal consumption, shutdown time and momentary situation. EARs are responsible for controlling the equipment that allows their consumption to be reduced, keeping them connected. AMP is responsible for monitoring and forecasting a possible overshoot of contracted demand. When there is a possible overshoot of the contracted demand, the EA's / EAR's assess whether the priority in execution is the same as yours. If so, they start trading with the other EA's / EAR's to see who has the shortest downtime. When an agent with these characteristics is identified, it shuts down (EA) or reduces its consumption (EAR). For the implementation, the JADE framework and the JAVA programming language were used. All tests were carried out in simulation environments, in some cases based on real industry environments. The results obtained in the tests performed demonstrated that the proposed solution is capable of meeting the requirements of demand control in a decentralized way, where the shutdown decisions are made by the EAR agents based on the priorities of the equipment, which are dynamic and seek to reflect the importance of using the equipment during operation. Opportunities for future work aimed at improving and increasing the efficiency of the proposal are presented at the end of the dissertation.

Keywords: Electrical Engineering. Electricity. Consumption Management. Multiagent Systems. JADE.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – CONSUMO POR SETOR ELÉTRICO NO BRASIL	13
FIGURA 2 – MAPA DO BRASIL COM DESTAQUE PARA AS PRINCIPAIS FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA EM CADA REGIÃO	14
FIGURA 3 – CICLO DE VIDA DE UM AGENTE	24
FIGURA 4 – MODO DE VIDA DE UM AGENTE	25
FIGURA 5 – EXECUÇÃO DE UM AGENTE.....	25
FIGURA 6 – ABORDAGEM BASEADA EM AGENTES	27
FIGURA 7 – ESTÁGIOS DA METODOLOGIA.....	29
FIGURA 8 – ALGORITMO DE JANELA MÓVEL.....	37
FIGURA 9 – PILARES DO MES	43
FIGURA 10 – MODELO MESA PROGRAMAS DE INICIATIVA ESTRATÉGICA	45
FIGURA 11 – ARQUITETURA GENÉRICA DE UM AGENTE.....	53
FIGURA 12 – ARQUITETURA COBASA.....	54
FIGURA 13 – ARQUITETURA PROPOSTA	55
FIGURA 14 – SISTEMA DE MANUFATURA NA ABORDAGEM SEQUENCIAL E ABORDAGEM ORIENTADA EM SOA/MOA	56
FIGURA 15 – PADRÃO DE DESIGN DE ALOCAÇÃO DE RECURSOS	57
FIGURA 16 – PADRÃO DE DESIGN DE ACESSO A RECURSOS.....	58
FIGURA 17 – AGENTE ELÉTRICO	60
FIGURA 18 – ESTADO DO SISTEMA E AÇÕES	60
FIGURA 19 – ESQUEMA DE ORGANIZAÇÃO ESTRUTURAL DE ANÁLISE.....	62
FIGURA 20 – ESQUEMA DE ORGANIZAÇÃO ESTRUTURAL DE ANÁLISE.....	63
FIGURA 21 – ESTRUTURA DE CONTROLE DO MAS.....	64
FIGURA 22 – COMUNICAÇÃO ENTRE AGENTES COM PASSAGEM DE <i>TOKEN</i>	64
FIGURA 23 – CAMADAS DE COMUNICAÇÃO DOS AGENTES	65
FIGURA 24 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	71
FIGURA 25 – ORGANIZAÇÃO E COMUNICAÇÃO DOS AGENTES	77
FIGURA 26 – DIAGRAMA DE SEQUENCIA DE COMUNICAÇÃO PARA DESLIGAMENTO	82
FIGURA 27 – FLUXOGRAMA DE DESLIGAMENTO DO EA	82
FIGURA 28 – ESBOÇO DA TROCA DE INFORMAÇÕES	83

FIGURA 29 – DIAGRAMA DE SEQUENCIA DE COMUNICAÇÃO PARA RELIGAMENTO.....	84
FIGURA 30 – FLUXOGRAMA DE RELIGAMENTO DO EA.....	84
FIGURA 31 – FLUXOGRAMA DE DIMINUIÇÃO DE CONSUMO DE UM EAR.....	86
FIGURA 32 – FLUXOGRAMA DO FUNCIONAMENTO DA ARQUITETURA	87
FIGURA 33 – DIAGRAMA DE CLASSE	88
FIGURA 34 – SNIFFER DE CRIAÇÃO DOS AGENTES.....	90
FIGURA 35 – SNIFFER DAS MENSAGENS DO AMP COM OS EA SOLICITANDO O CONSUMO.....	91
FIGURA 36 – SNIFFER DE COMUNICAÇÃO ENTRE EA’S E AMP.....	93
FIGURA 37 – SNIFFER DE COMUNICAÇÃO ENTRE OS EA’S.....	94

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – TIPOS DE MENSAGENS ACL	23
TABELA 2 – MODALIDADES TARIFÁRIAS.....	33
TABELA 3 – COMPARATIVO ENTRE OS TRABALHOS ESTUDADOS	74
TABELA 4 – PESO PARA PEDIDOS EM EXECUÇÃO	79
TABELA 5 – PESOS PARA PEDIDOS EM PRIORIDADE.....	79
TABELA 6 – COMPOSIÇÃO DA <i>HASHTABLE</i>	89
TABELA 7 – DADOS DE UM DIA DE TRABALHO COM PREVISÃO.....	97
TABELA 8 – DADOS DE DUAS HORAS DE TRABALHO COM PREVISÃO.....	98
TABELA 9 – EQUIPAMENTOS CADASTRADOS.....	99
TABELA 10 – CONSUMO NOMINAL DE ENERGIA ELÉTRICA	99
TABELA 11 – CONTEÚDO ARQUIVO MES.....	101
TABELA 12 – RESULTADO SIMULAÇÃO	101
TABELA 13 – EQUIPAMENTOS CADASTRADOS.....	103
TABELA 14 – MEDIÇÕES REAIS DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA (KWH)	104
TABELA 15 – CONSUMO NOMINAL DE ENERGIA ELÉTRICA	104
TABELA 16 – CONTEÚDO ARQUIVO MES.....	107
TABELA 17 – RESULTADO SIMULAÇÃO	108

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	MOTIVAÇÃO	14
1.1.1	Levantamento histórico	16
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	17
1.2.1	Questão de pesquisa	17
1.2.2	Hipótese de trabalho	17
1.3	OBJETIVO	18
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	AGENTES E MULTIAGENTES	19
2.2	<i>FOUNDATION FOR INTELLIGENT PHYSICAL AGENTS (FIPA)</i>	22
2.3	<i>JAVA AGENT DEVELOPMENT FRAMEWORK (JADE)</i>	23
2.4	SOFTWARE BASEADO A AGENTES	26
2.4.1	Orientado a Objetos (OO) e Baseado em Agentes (BA)	27
2.4.2	Projetando sistemas multiagentes	28
2.4.3	Ferramentas para a implementação de agentes e sistemas multiagentes	30
2.5	FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA A INDÚSTRIA	30
2.5.1	Tarifação da energia elétrica para a indústria	31
2.6	MÉTODOS DE PREVISÃO DE CONSUMO PARA CONTROLE DE DEMANDA	34
2.6.1	Série temporal	35
2.6.2	Rede Neural Artificial	41
2.7	<i>MANUFACTURING EXECUTION SYSTEMS (MES)</i>	42
3	ANÁLISE DO ESTADO DA ARTE	47
3.1	DIFERENTES SISTEMAS PARA PREVISÃO DE CONSUMO PARA CONTROLE DE DEMANDA	47
3.2	DIFERENTES ARQUITETURAS DE UM MAS	52
3.2.1	Arquitetura básica de um agente de manufatura	53
3.2.2	Arquitetura <i>Coalition Based Approach for Shop Floor Agility (CoBASA)</i>	53
3.2.3	Arquitetura baseada em agentes e auto-organizável para a manufatura	55
3.2.4	Arquiteturas orientadas a serviços e sistemas multiagentes	56

3.2.5	Arquiteturas de controle baseadas em MAS – Revisão para identificação de padrão.....	57
3.3	UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS MULTIAGENTES	58
3.3.1	Produção em carga com Smart Grid.....	58
3.3.2	Multiagentes para edifícios comerciais	60
3.3.3	Sistema de gerenciamento de energia utilizando multiagentes.....	61
3.3.4	Sistemas multiagentes para o gerenciamento de fontes de geração de energia distribuídas	63
3.3.5	Multiagentes para controle de geração de energia renovável.....	65
3.4	SISTEMAS MULTIAGENTES PARA ENGENHARIA DE ENERGIA	66
3.4.1	Modelagem.....	66
3.4.2	Aplicação do MAS na engenharia de energia.....	66
3.4.3	Aplicações de sistemas multiagentes em problemas de otimização de energia	68
3.4.3	Eficiência energética em sistemas de manufatura discreto	70
3.5	ECONOMIA DE ENERGIA EM ATIVIDADES DE FABRICAÇÃO	71
3.6	ANÁLISE DOS MÉTODOS PESQUISADOS.....	73
4	PROPOSTA DE ARQUITETURA DE GESTÃO DO CONSUMO DE ENERGIA	75
4.1	PROPOSTA CONCEITUAL	75
4.1.1	Etapa de identificação dos equipamentos que irão participar da arquitetura.....	75
4.1.2	Etapa de verificação da possibilidade dos equipamentos identificados na etapa anterior, serem desligados a qualquer tempo ou terem o seu <i>setpoint</i> modificado	76
4.1.3	Etapa de consideração de cada potencial equipamento participante da arquitetura como um EA ou EAR.....	76
4.1.4	Etapa de construção do sistema multiagentes	76
4.1.5	Etapa de definição da prioridade inicial de desligamento do EA ou EAR	77
4.1.6	Etapa de monitoramento e previsão do consumo.....	78
4.2	ORDEM DE DESLIGAMENTO E RELIGAMENTO.....	78
4.3	PRIORIDADE DOS EQUIPAMENTOS AGENTES (EA).....	79
4.4	MONITORAMENTO E PREVISÃO DE CONSUMO (AMP).....	80
4.5	PROCESSO DE CRIAÇÃO DE UM EA	81
4.5.1	Procedimento de desligamento do EA.....	81
4.5.2	Procedimento de religamento do EA.....	83

4.6	PROCESSO DE CRIAÇÃO DE UM EAR.....	85
4.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
5	IMPLEMENTAÇÃO DA ARQUITETURA UTILIZANDO MULTIAGENTES	88
5.1	COMPONENTES DA ARQUITETURA	88
5.2	IMPLEMENTAÇÃO DO EA	89
5.3	IMPLEMENTAÇÃO DO AMP	91
5.4	MÉTODO DE PREVISÃO DE CONSUMO.....	92
5.5	COMUNICAÇÃO ENTRE OS AGENTES.....	92
5.6	INTERAÇÃO COM O MES E TROCA DE PRIORIDADE	93
5.7	NECESSIDADE DE DESLIGAMENTO DE EQUIPAMENTOS.....	93
5.8	POSSIBILIDADE DE AUMENTO DE CONSUMO.....	94
6	ESTUDOS DE CASO	96
6.1	ESTUDO DE CASO 1 – VALIDAÇÃO DO ARMA.....	96
6.2	ESTUDO DE CASO 2 – AMBIENTE CONTROLADO	99
6.2.1	Simulação da Arquitetura	100
6.3	ESTUDO DE CASO 3 – INDÚSTRIA GRÁFICA	102
6.3.1	Simulação da Arquitetura	106
7	CONCLUSÃO	110
7.1	CONTRIBUIÇÕES DESTA DISSERTAÇÃO.....	111
7.2	TRABALHOS FUTUROS	112
	APÊNDICE A – REGISTRO DOS DADOS DE SAÍDA DO SISTEMA.....	119
	APÊNDICE B – REGISTRO DE INICIALIZAÇÃO DO SISTEMA E CADASTRO	
	DOS EA’S – CASO 1	120
	APÊNDICE C – TABELA COMPARATIVA DOS PARÂMETROS DE LEITURA DO	
	MES E INTERAÇÃO DO SISTEMA – CASO 1.....	121
	APÊNDICE D – REGISTRO DE INICIALIZAÇÃO DO SISTEMA E CADASTRO	
	DOS EA’S – CASO 2	122
	APÊNDICE E – TABELA COMPARATIVA DOS PARÂMETROS DE LEITURA DO	
	MES E INTERAÇÃO DO SISTEMA – CASO 2.....	124

LISTA DE ABREVIATURAS

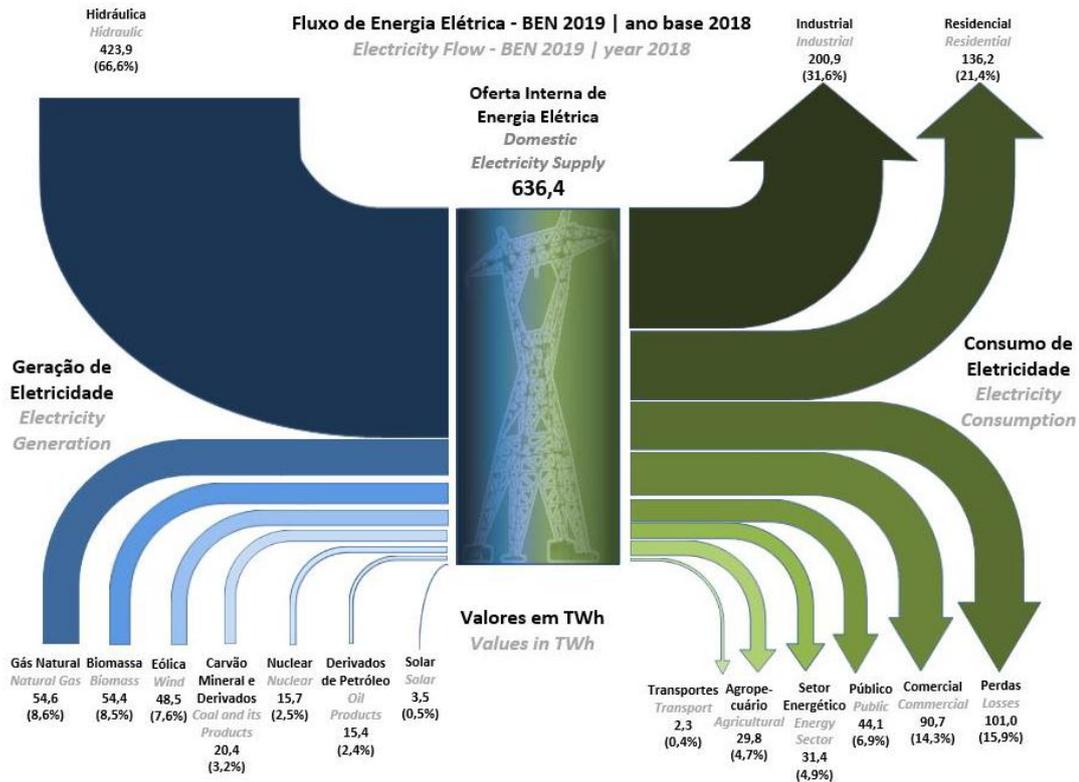
ACC	<i>Agent Communication Channel</i>
ACL	<i>Agent Communication Language</i>
AMI	<i>Agent Machine Interface</i>
AMS	<i>Agent Management System</i>
AMP	Agente de Monitoramento e Previsão
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APM	<i>Asset Performance Management</i>
ARMA	Suavização Exponencial e Autoregressivo de Média Móvel
BA	<i>Broker Agent</i>
CA	<i>Coordination Agent</i>
CMgA	<i>Cluster Manager Agent</i>
DF	<i>Directory Facilitator</i>
EA	Equipamento Agente
EAR	Equipamento Agente com Redução de Consumo
FIPA	<i>Foundation For Intelligent Physical Agents</i>
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
GRNN	Rede Neuronal de Regressão Generalizada
IA	Inteligência Artificial
IP	<i>Request Interaction Protocol</i>
JVM	Java Virtual Machine
MAPE	Erro Percentual Médio Absoluto
MAS	<i>Multi-Agents System</i>
MES	<i>Manufacturing Execution Systems</i>
MRA	<i>Mechatronic Resource Agent</i>
OO	Orientados a Objetos

PLM *Product Lifecycle Management*
QRNN Redes Neurais de Regressão Quantílica
RNA Rede Neural Artificial
RTE *Real-Time Enterprise*

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica pode ser estratificado em diferentes setores que representam a organização econômica e social de um país ou região. No Brasil, o maior consumidor de energia elétrica é o setor industrial, seguido pelo setor residencial e pelas perdas, conforme pode ser observado na Figura 1. (EPE, 2019).

Figura 1 – Consumo por setor elétrico no Brasil



Fonte: EPE (2019).

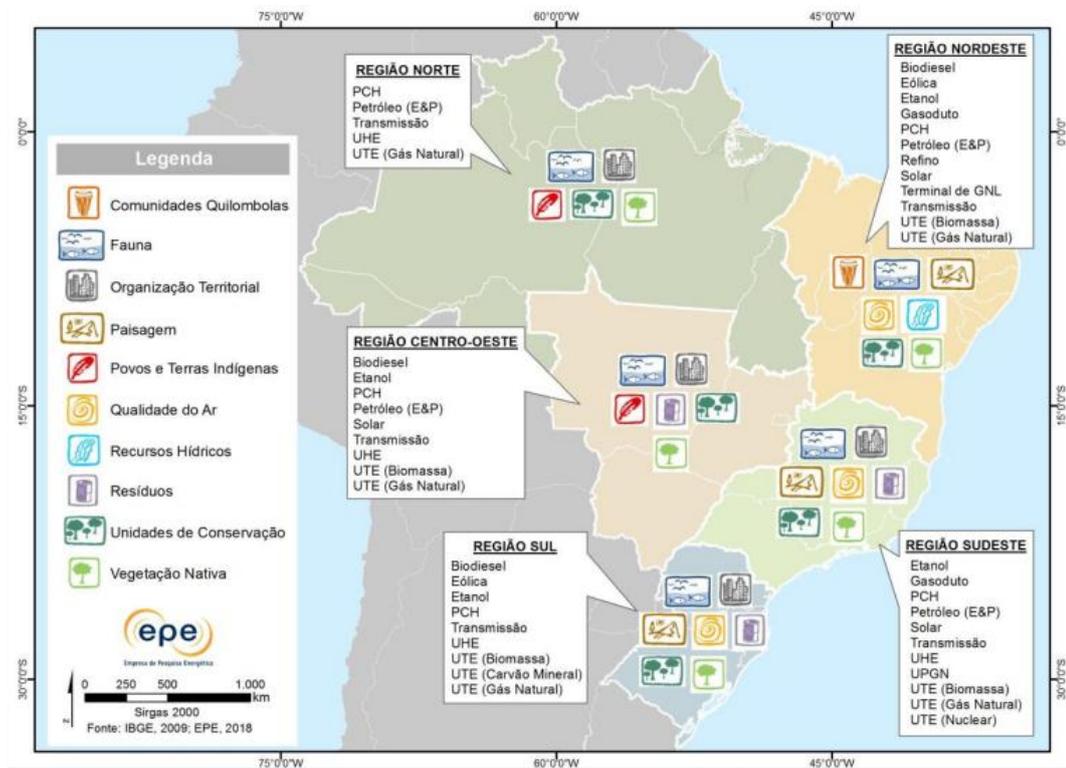
A geração de energia elétrica pode ser feita através de fontes renováveis ou não renováveis. Quando volta-se o olhar para as questões ambientais, percebe-se que não existe geração de energia elétrica que não cause impactos ambientais. Em maior ou menor escala, todos os sistemas de geração de energia elétrica geram impactos ambientais (NOGUEIRA, 2007).

A matriz energética brasileira concentra-se principalmente na geração de energia através de fontes renováveis, representando 74,7% da oferta interna, onde a geração através de hidroelétricas corresponde a 66,6%. A geração de energia elétrica através de fontes não renováveis representa 25,3% da oferta interna, sendo composta predominantemente por termoelétricas. Em comparação com a matriz energética mundial e levando em consideração as questões ambientais, o Brasil encontra-se em situação favorável, uma vez que sua matriz energética é predominantemente renovável (EPE, 2019).

1.1 MOTIVAÇÃO

A projeção de aumento de consumo energético no Brasil está fixada atualmente em 3,6% ao ano até 2027. Já a projeção de geração de energia elétrica está fixada em 3,8% a.a. para a próxima década, tendo por base os parques de energia já contratados pelo governo federal, parques parcialmente contratados e projeções de futuros leilões conforme pode ser observado na Figura 2. (BRASIL, 2018).

Figura 2 – Mapa do Brasil com destaque para as principais fontes de geração de energia em cada região



Fonte: Brasil (2018).

A expansão do potencial energético brasileiro está baseada na forte expansão de fontes de energias renováveis, onde pode-se destacar principalmente a geração distribuída utilizando-se a energia eólica e solar, contribuindo para a manutenção do sistema de geração através de fontes renováveis.

A cobrança da tarifa de energia elétrica no Brasil segue um modelo de “Custo do Serviço”, o que significa dizer que a tarifa deve cobrir os custos de operação, de capital e ainda gerar lucro. Esta tarifa é calculada levando em consideração alguns aspectos, principalmente a quantidade consumida num intervalo de 15 a 45 dias.

Do ponto de vista financeiro, um estudo da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro, revela que a energia elétrica é insumo fundamental e estratégico, sendo o principal energético utilizado por 79% das empresas e podendo representar mais de 40% de seus custos de produção. Quando compara-se o preço médio da energia elétrica no Brasil com o preço médio praticado no mundo, percebe-se que o Brasil tem a sexta energia elétrica mais cara do mundo, em média R\$ 504,00 por MWh (FIRJAN, 2017).

Considerando que a energia elétrica representa em torno de 40% do custo de produção, este elevado custo impacta diretamente no preço final do produto, dificultando a inserção dos produtos brasileiros no mercado nacional e internacional (FIRJAN, 2017)..

Para o aumento da competitividade é necessário o aprimoramento das tecnologias produtivas com vistas à redução de custos, melhor aproveitamento do parque fabril e diminuição de desperdícios.

Para auxiliar neste processo de diminuição dos custos, McArthur *et al.* (2007a) apresentam a tecnologia Multi-Agents System (MAS) que está sendo utilizada em muitas aplicações na área industrial, dentre as quais pode-se citar: diagnósticos, monitoramento de condições, restauração do sistema de energia, simulação de mercado, controle de rede e automação.

Para a efetiva implantação dos sistemas MAS são muitos os desafios a serem vencidos, dentre os quais McArthur *et al.* (2007a) destacam:

- a) plataformas: existe uma série de plataformas de sistema multiagentes, no entanto, é necessária uma seleção criteriosa para assegurar a compatibilidade a longo prazo e a robustez necessária para aplicativos online. A necessidade de desenvolver agentes que possam interagir um com o outro, independentemente da plataforma em que são executados, é fundamental para o desenvolvimento de arquiteturas flexíveis, extensíveis e abertas. Por esse motivo, a escolha da plataforma para a adesão aos padrões é extremamente importante;
- b) *toolkits*: com base na crescente quantidade de pesquisa de agentes na comunidade de engenharia de energia, há a oportunidade de reutilizar projetos e funcionalidades de agentes para o benefício de toda a comunidade. Portanto, há um papel para *kits* de ferramentas que permitem a reutilização de comportamentos e capacidades de agentes existentes;

- c) projeto de agente inteligente: novos pesquisadores e implementadores industriais precisam de orientação sobre como exatamente um agente deve ser projetado ou, pelo menos, conhecimento das opções disponíveis;
- d) idiomas e ontologias de comunicação do agente: apoiar a capacidade social e as linguagens de comunicação dos agentes. Eles definem como os agentes trocam informações, se comunicam e negociam. Dentro deles estão protocolos e linguagens de conteúdo que permitem que mensagens significativas sejam compostas e interpretadas;
- e) padrões de dados: a comunidade de engenharia de energia gastou esforços significativos na definição de padrões de dados para várias áreas de aplicação. Esses padrões não podem ser aplicados diretamente para a comunicação dos agentes, pois as habilidades de conversação dos agentes requerem um idioma mais rico do que um padrão de passagem de dados. No entanto, há potencial para usá-los como base para uma ontologia;
- f) segurança: devido à natureza *peer-to-peer* dos sistemas de agentes, a segurança pode ser uma preocupação fundamental. Se os agentes se juntam perfeitamente a uma comunidade de agentes, deve haver medidas para determinar o nível de confiança entre os agentes e a segurança na troca de mensagens;
- g) mobilidade: vários pesquisadores estão interessados em agentes móveis, que se deslocam completamente (código fonte e dados) de máquina para máquina.

As questões técnicas e de implementação descritas acima, a falta de experiência no uso da tecnologia de sistemas multiagentes na indústria é uma preocupação tanto por parte de usuários quanto de fabricantes.

1.1.1 Levantamento histórico

A industrialização brasileira teve início em meados do século XX, quando representava baixa participação na economia, fazendo com que o país dependesse da agricultura para gerar suas *commodities*. Com a Era Vargas (1930) o Brasil começou uma ampla expansão industrial, demandando novas legislações, posicionamentos governamentais, insumos, mão de obra qualificada e energia elétrica (SENAI, 2009).

A fim de atender a demanda por energia elétrica na época, o governo federal apresentou o Plano Nacional de Eletrificação que propôs a concentração dos investimentos

em usinas hidroelétricas de pequeno e médio porte, cabendo ao estado o papel de coordenador. Nos anos que se seguiram, outras ações foram tomadas para prover a necessidade de energia elétrica, foram criadas novas usinas geradoras, companhias de distribuição estaduais, departamentos de controle e fiscalização, políticas de incentivo a geração de energia e políticas tarifárias.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) foi criada em 26 de dezembro de 1996, com o papel fundamental de regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, estruturando o setor elétrico brasileiro de forma a termos empresas diferente para a geração, transmissão e distribuição. Recentemente criou a figura do autoprodutor e do consumidor livre, que vieram a tornar o sistema mais volátil e adaptado a necessidade atual (ANEEL, 2016).

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Neste contexto, há necessidade de controle do consumo de energia elétrica nas indústrias para que estas possam tornar-se mais competitivas no mercado atual e possam desenvolver-se fomentando a criação de novos empregos, produtos e a geração de renda para o país.

1.2.1 Questão de pesquisa

Considerando o problema apresentado, pode-se expressar a questão de pesquisa da seguinte forma:

Como evitar a ultrapassagem da demanda contratada, realizar a previsão de consumo, reduzir o consumo elétrico e manter os níveis de produção utilizando sistemas multiagentes?

1.2.2 Hipótese de trabalho

Como hipótese de trabalho, apresenta-se a seguinte situação:

Arquitetura de um sistema de automação que utilize sistemas multiagentes, capaz de detectar e antecipar uma possível ultrapassagem da demanda contratada, decidindo pelo ajuste do equipamento com o objetivo de diminuir o consumo elétrico, ou pelo desligamento do equipamento ou até mesmo religamento quando houver sobra da demanda contratada.

1.3 OBJETIVO

O presente trabalho propõe desenvolver uma arquitetura capaz de identificar o consumo instantâneo comparando-o com a demanda contratada, prevendo assim uma possível ultrapassagem da demanda. Quando houver previsão de ultrapassagem da demanda contratada, a arquitetura promoverá o ajuste de consumo ou mesmo o desligamento de alguns equipamentos. Havendo sobra da demanda contratada, a arquitetura promoverá o religamento de alguns equipamentos, segundo critérios pré-estabelecidos.

O trabalho inclui a utilização de sistemas multiagentes, como forma de dinamizar e agilizar as tomadas de decisões, onde os agentes negociarão entre si as reduções de consumo, os desligamentos e religamentos.

Por fim, o trabalho busca ampliar a pesquisa em eficiência energética e em sistemas multiagentes, utilizando-se de uma discussão teórica e conceitual de aplicação experimental sobre vários aspectos do ambiente industrial.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica necessária para a contextualização do problema e aprofundamento dos métodos e ferramentas a serem utilizadas.

O capítulo 3 apresenta a análise do estado da arte onde é desenvolvida a discussão dos artigos relacionados, como forma de identificar lacunas e subsidiar o desenvolvimento do trabalho proposto.

O capítulo 4 apresenta a proposta da arquitetura a ser implementada, bem como a descrição de todas as etapas e suas principais características.

O capítulo 5 traz a implementação da arquitetura proposta, descrevendo detalhadamente todos os passos, métodos e forma de implementação.

O capítulo 6 traz os estudos de casos analisados como forma de validação da arquitetura proposta, bem como as comparações necessárias para uma avaliação concisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem por objetivo apresentar alguns conceitos necessários para o entendimento da dissertação. Serão apresentados conceitos e características sobre agentes, multiagentes, FIPA (*Foundation For Intelligent Physical Agents*), arquiteturas baseadas em agentes e energia elétrica para consumidores industriais.

2.1 AGENTES E MULTIAGENTES

Os estudos do comportamento individual e social dos humanos, conjuntamente com os estudos sobre inteligência artificial, buscam encontrar soluções para sistemas autônomos que possam contribuir na solução dos problemas do dia a dia. Acrescentando-se aos estudos anteriores o processamento distribuído como forma de descentralizar as decisões e ações, obtém-se a Inteligência Artificial Distribuída (IAD) (WOOLDRIDGE, 1999).

Para a implementação da IAD foi criado o agente, que segundo Wooldridge (1999) não possui um conceito único, porém todos concordam que autonomia é a questão central dos agentes.

Para Wooldridge (1995) os agentes têm propriedades que estão ligadas ao comportamento computacional, das quais pode-se citar:

- a) autonomia: consegue executar a maior parte das atividades sem a interferência direta do humano ou de outros agentes computacionais;
- b) habilidade social: consegue interagir com outros agentes ou até mesmo sistemas, seja pela necessidade de resolução de problemas ou por conveniência;
- c) reatividade: conseguem perceber e reagir diante de mudanças no ambiente;
- d) pró-atividade: são capazes de tomar iniciativas quando acharem apropriado, procurando sempre atingir o objetivo.

Quando pensa-se nos comportamentos ligados às relações humanas, os agentes podem ser classificados da seguinte forma (SILVA, 2003):

- a) agentes móveis: agentes em que a mobilidade é a sua principal característica, podendo mover-se numa rede interna ou até mesmo pela WEB;
- b) agentes estacionários: são agentes fixos, que ficam numa mesma plataforma ou ambiente;

- c) agentes competitivos: são agentes não colaborativos, ou seja, agentes que “competem” entre si para a realização da tarefa;
- d) agentes coordenados ou colaborativos: são agentes que tem por objetivo realizar uma grande tarefa de forma colaborativa, onde cada um desenvolve sua atividade complementando-se;
- e) agentes reativos: são agentes que não tem memória e nem previsão do que realizar, porém, reagem a estímulos recebidos;
- f) agentes cognitivos: são agentes capazes de raciocinar tendo por base as atividades realizadas no passado, podendo assim, planejar o futuro.

Quando pensa-se em sua estrutura, arquitetura, os sistemas baseados em agentes podem apresentar duas abordagens (WOOLDRIDGE, 2002):

- a) baseada em agentes reativos: que reagem sem nenhuma interferência ou deliberação humana (ou externa), o “raciocínio” está no seu código;
- b) baseada em agentes deliberativos: que esperam uma interferência ou deliberação para agir, não em raciocínio.

Na grande maioria das situações a utilização de somente um agente não é suficiente, necessitando de mais agentes para resolver dado problema, a este conjunto de agentes chamamos de multiagentes.

Tendo por base que um agente raciocina sobre o ambiente, sobre os outros agentes e decide racionalmente quais objetivos deve perseguir, quais ações deve-se tomar (BAUJARD, 1992), percebe-se que o agente foi concebido para realizar ações adaptativas e não algo exclusivo de uma aplicação particular.

Quando passa-se a tratar de sistemas multiagentes, mudamos de dimensão, onde não há apenas um sistema em particular tentando resolver a questão, mas sim, múltiplos agentes interagindo entre si para resolver a questão.

Esta interação é desenvolvida de forma genérica podendo ser utilizada em diversas aplicações similares, utilizando-se de protocolos de comunicação em sua organização.

Quando visualiza-se uma aplicação, observa-se que não há um gestor central, mas uma descentralização das ações onde cada agente é capaz de raciocinar e agir contribuindo para a resolução do problema (ALVAREZ, 1997).

Segundo McArthur *et al.* (2007a), os principais conceitos que permeiam o MAS e suas tecnologias são:

- a) ambiente: trata-se ambiente como “tudo externo ao agente”. Este ambiente deve ser observável e/ou alterável pelo agente, podendo ser físico ou de computação;
- b) autonomia: é quando um agente "exerce controle sobre suas próprias ações". Estas ações devem ser respostas a algumas mudanças no meio ambiente e não apenas o resultado do conhecimento incorporado do agente. A autonomia é, portanto, a capacidade de agendar ações com base em observações ambientais.

Dentre os inúmeros benefícios apontados nos mais diversos artigos, McArthur *et al.* (2007a) resumiram em três principais: sistemas de hardware e software flexíveis, extensíveis e tolerante a falhas.

Para McArthur *et al.* (2007a) a flexibilidade do sistema é descrita como “a capacidade de responder corretamente a situações dinâmicas e o suporte para replicação em situações variadas (ambientes)”. Como exemplo de flexibilidade, os autores destacam o fato do MAS poder trabalhar com diferentes formatos de um tipo de dados (como temperaturas em Centígrados ou Fahrenheit); ou a capacidade de construir um novo plano se uma ação de controle particular falhar; ou um sistema que pode ser implantado em qualquer alimentador elétrico que detecta a conexão de geração distribuída e altera as configurações de proteção.

Já a extensibilidade é a capacidade de adicionar facilmente novas funcionalidades a um sistema, aumentando ou atualizando qualquer funcionalidade existente. McArthur *et al.* (2007a) trazem como exemplo um sistema de monitoramento de condições que pode ganhar um novo tipo de sensor e requerer um novo algoritmo de análise de dados. Um sistema verdadeiramente extensível permitirá que novas funcionalidades sejam adicionadas sem a necessidade de reimplementar a funcionalidade existente.

A tolerância à falha é um dos benefícios mais destacáveis, uma vez que se parte do sistema falhar por qualquer motivo, o sistema ainda deve atingir seu objetivo de projeto ou, se não for possível, deve realizar o que conseguir sem interferir com outros sistemas.

Ainda conforme McArthur *et al.* (2007a), para que estes benefícios possam ser atingidos, algumas propriedades são necessárias:

- a) benefícios da autonomia e encapsulamento de agentes: um agente encapsula uma determinada tarefa ou conjunto de funcionalidades, de forma semelhante à programação modular ou orientada a objetos. Estes módulos ou funções são chamados para resolver determinada situação, cabendo ao MAS utilizar-se de sua autonomia para as tomadas de decisão;

- b) arquitetura MAS aberta: qualquer arquitetura aberta não impõe restrições à linguagem de programação ou origem dos agentes. Isso é possível através da adesão aos padrões de mensagens: a separação de um agente de seu ambiente significa que a linguagem de mensagens que um agente entende é importante para a comunicação entre agentes, em vez da linguagem de programação em que foi implementada;
- c) plataforma para sistemas distribuídos: um agente é distinto do seu ambiente, o que significa que ele pode ser colocado em diferentes ambientes e ainda tem os mesmos objetivos e habilidades;
- d) tolerância a falhas: redundância de construção em sistemas é uma das abordagens de engenharia padrão para obter tolerância a falhas.

2.2 FOUNDATION FOR INTELLIGENT PHYSICAL AGENTS (FIPA)

A FIPA é uma organização responsável por criar e manter os padrões referentes a agentes e sistemas multiagentes. Pertencente ao IEEE Computer Society, a FIPA também tem promovido uma série de iniciativas e eventos que contribuem para o desenvolvimento e utilização da tecnologia de agentes (FIPA, 2017).

Para a FIPA um agente é uma entidade que é capaz de interpretar dados através de sensores e produzir eventos através de atuadores, podendo ser composto de puro software ou hardware e software integrados (FIPA, 2017).

A FIPA descreve um modelo de referência para as plataformas multiagentes, identificando os agentes cruciais para o funcionamento (BELLIFEMINE; RIMASSA; POGGI, 1999):

- a) *Agent Management System* (AMS): é o agente principal, que tem por função registrar todos os demais agentes (AID) e controlar os acessos à plataforma;
- b) *Agent Communication Channel* (ACC): responsável pela comunicação interna e externa, oferecendo o roteamento das mensagens;
- c) *Directory Facilitator* (DF): responsável por manter e informar quais atividades cada agente pode desempenhar uma espécie de página amarela (páginas de serviços) da plataforma.

Além do modelo de referência, a FIPA também estabelece especificações para a comunicação entre os agentes, dentre as quais pode-se destacar:

- a) *Request Interaction Protocol* (IP): utilizado na comunicação entre dois agentes, onde um solicita (iniciador) e o outro pode ou não responder (participante);
- b) *Agent Communication Language* (ACL): este protocolo destina-se à comunicação entre os agentes e os serviços disponíveis, havendo o emissor, receptor e a mensagem.

2.3 JAVA AGENT DEVELOPMENT FRAMEWORK (JADE)

Segundo Bellifemine *et al.* (2007) JADE é uma plataforma para desenvolvimento de aplicações multigentes, a qual foi desenvolvida em JAVA, sendo necessário que o sistema que irá executar o JADE tenha à disposição uma *Java Virtual Machine* (JVM). O JADE é disponibilizado como um projeto de software livre, sob licença *Lesser General Public License* (LGPL), sendo possível acessar, modificar, contribuir e distribuir o seu código fonte.

O JADE utiliza-se de *frameworks* que cumprem com as especificações da FIPA auxiliando na programação, além de contar com ferramentas gráficas que auxiliam nas fases de depuração e implementação (SILVA, 2003).

A implementação pode ocorrer na mesma máquina ou em máquinas distintas, podendo alterar as configurações em tempo de execução através de um ambiente gráfico. A comunicação entre as máquinas pode acontecer via protocolo TCP/IP, baseado em troca de mensagens assíncronas seguindo a linguagem *Agent Communication Language* (ACL) especificada pela FIPA. Isso permite que o JADE se comunique com outros *frameworks* que utilizem esta mesma linguagem.

A ACL define tipos de mensagens que permitem que os agentes troquem mensagens informando intenções como: informar, solicitar, perguntar (O'BRIEN; NICOL, 1998). Para isso, as mensagens incluem campos designados para interações entre agentes, como as apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Tipos de mensagens ACL

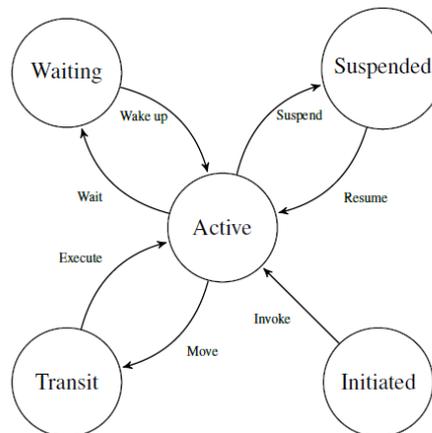
Ato comunicativo	Significado
ACCEPT-PROPOSAL	Aceitar uma requisição proposta para realizar uma ação.
AGREE	Aceitar realizar uma ação, possivelmente no futuro.
CANCEL	Cancelar uma ação previamente requisitada.
CFP	Buscar por propostas para realizar uma dada ação.
CONFIRM	Confirmar que uma determinada proposição é verdadeira.
DISCONFIRM	Desconfirmar que uma determinada proposição é verdadeira.

FAILURE	Informar que houve uma tentativa de realizar uma ação, porém houve uma falha.
INFORM	Informar que uma determinada proposição é verdadeira.
NOT-UNDERSTOOD	Informar que não foi possível entender uma determinada requisição.
PROPOSE	Enviar uma proposta para realizar uma ação.
QUERY-IF	Perguntar a um Agente se uma determinada proposição é verdadeira.
QUERY-REF	Pedir a um Agente um objeto referenciado por uma expressão.
REFUSE	Recusar a realização de uma ação, informando o motivo.
REJECT-PROPOSAL	Recusar a realização de uma ação, durante uma negociação.
REQUEST	Solicitar a realização de uma ação.
REQUEST-WHEN	Solicitar a realização de uma ação quando uma determinada proposição se tornar verdadeira.
REQUEST-WHENEVER	Solicitar a realização de uma ação sempre que uma determinada proposição for verdadeira.
SUBSCRIBE	Solicitar ser informado sempre que houver uma mudança acontecer em um determinado objeto.

Fonte: Juneja, Jagga e Singh (2015).

O ciclo de vida de um agente é demonstrado na Figura 3, onde se pode observar uma máquina de estados que possibilita quatro situações do agente em tempo de execução.

Figura 3 – Ciclo de vida de um agente



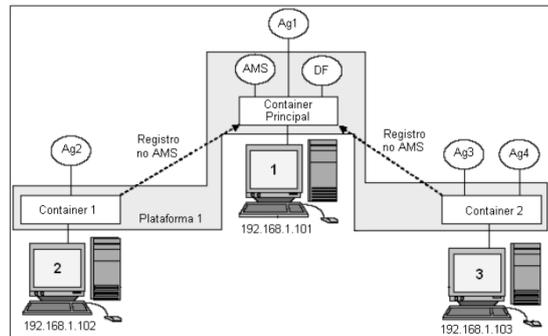
Fonte: Silva (2003).

Quando o agente é iniciado, ele vai para um estado de ativo (*active*), permanecendo ali até ser chamado. Quando chamado, ele pode ir para o estado de espera (*waiting*) ou suspenso (*suspended*). Quando o agente está em transito (*transit*), significa que ele está deslocando-se entre os nodos.

O agente pode viver em *host* ou *containers*, conforme pode ser observado na Figura 4. Quando vivendo no *host*, além do próprio agente também são implementados os *Agent*

Management System (AMS) e o *Directory Facilitator (DF)*. O AMS é quem controla todos os acessos e usos da plataforma além de manter uma lista de todos os agentes. O DF é responsável por oferecer o serviço de “páginas de classificados” onde ficam registradas todas as habilidades dos agentes e seus endereços.

Figura 4 – Modo de vida de um agente

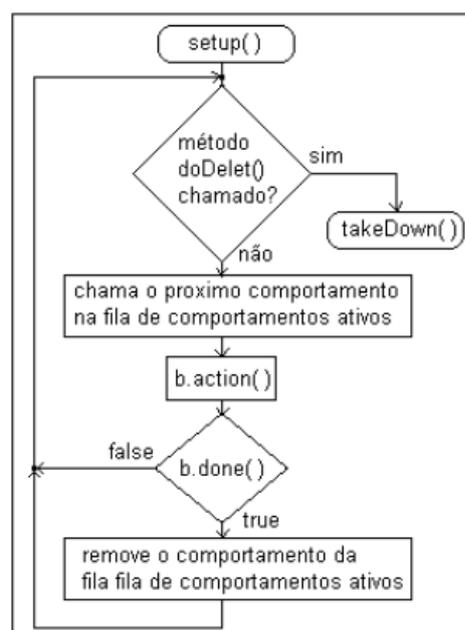


Fonte: Silva (2003).

Os *containers* são responsáveis apenas pela execução de outros agentes dentro da plataforma.

A execução de um agente é representada na Figura 5, onde pode-se observar que um comportamento é executado por vez dentro do método *setup*, otimizando assim o uso dos recursos de processamento, porém isso o torna não determinístico em tempo de execução. Quando um comportamento vai ser executado, ele é retirado da fila, executado e colocado no final da fila, possibilitando assim que todos os comportamentos sejam executados. Quando um novo comportamento é adicionado, ele é acrescentado ao final da fila.

Figura 5 – Execução de um agente



Fonte: Silva (2003).

O método *done()* pode retornar *false* ou *true*. Quando retorna *false* ele é mantido na fila, porém, quando retorna *true*, ele é retirado da fila, significando que já chegou ao fim.

Quando implementa-se os comportamentos, utiliza-se a classe *Behaviour*, que tem por finalidade prover a estrutura de comportamentos para os agentes. Entre os comportamentos disponíveis pode-se destacar:

- a) *SimpleBehaviour*: é a implementação da própria classe *Behaviour* com o método *action()* e *done()*;
- b) *CyclicBehaviour*: é a implementação de uma classe *SimpleBehaviour* com o método *done()* sempre retornando *false*, ou seja, nunca terminando o comportamento;
- c) *OneShotBehaviour*: é a implementação de uma classe *SimpleBehaviour* com o método *done()* sempre retornando *true*, ou seja, o método *action()* é executado uma única vez;
- d) *WakerBehaviour*: executa uma ação após uma quantidade de tempo definida na criação, *onWake()*;
- e) *TickerBehaviour*: utiliza-se de um *timer* para executar uma ação, *onTick()*;
- f) *SequentialBehaviour*: executa sub comportamentos de forma sequencial;
- g) *ParallelBehaviour*: executa sub comportamentos de forma paralela;
- h) *FSMBehaviours*: executa sub comportamentos como uma máquina de estados onde o retorno do método *onEnd()* e cada sub comportamento é o estado da máquina.

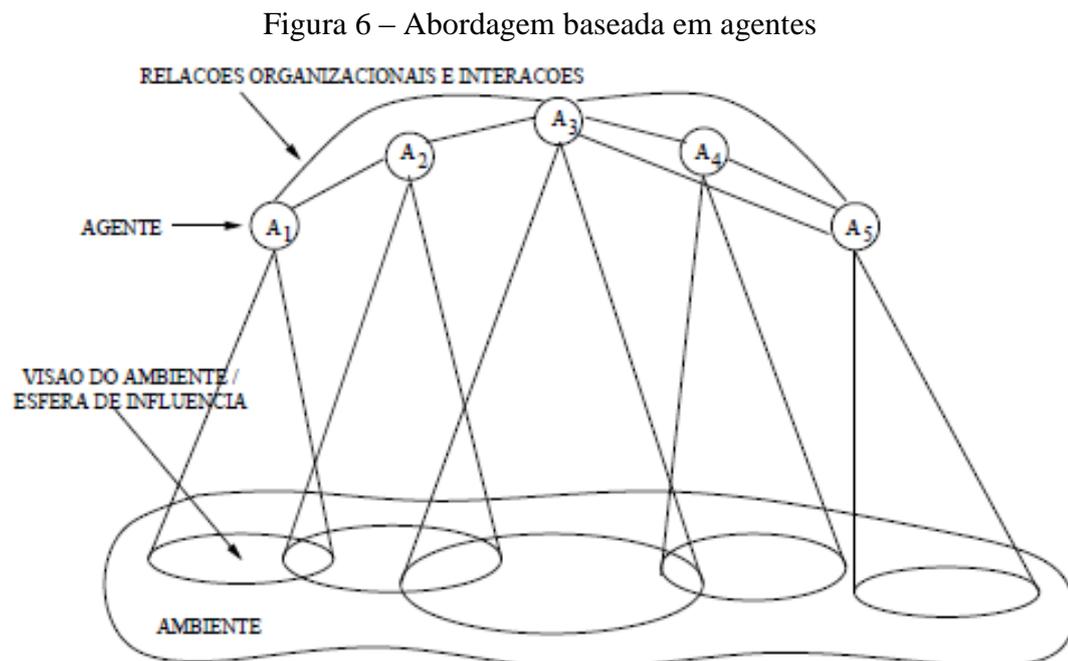
O JADE também traz em seu pacote uma ferramenta de *Sniffer*, que serve para monitorar e observar as comunicações entre os diferentes agentes. Através desta ferramenta podemos observar os registros do agentes, as negociações e todas as demais ações que um agente pode executar.

2.4 SOFTWARE BASEADO A AGENTES

O processo de desenvolvimento de software baseado em agentes é apresentado por Jennings e Wooldridge (2001), onde é constatado que aplicar uma abordagem orientada a agentes para a resolução de um problema significa decompô-lo em múltiplos componentes autônomos com objetivos particulares e que se inter-relacionam.

Sendo assim, são elencadas três palavras básicas: agentes, interações e organizações, conforme observa-se na Figura 6.

Se tratando de sistemas complexos, a engenharia de software orientada a agentes demonstra ser bem adaptada, visto que a decomposição de um problema é uma boa prática para resolução de problemas complexos, a abstração é amplamente utilizada em sistemas complexos e o relacionamento organizacional demonstra-se apropriada para a representação de dependência e interação.



Fonte: Jennings e Wooldridge (2001).

2.4.1 Orientado a Objetos (OO) e Baseado em Agentes (BA)

A programação orientada a objetos já está amplamente difundida e esclarecida, bem como é utilizada nas mais diversas aplicações. Quando pensamos na interação entre os dois conceitos, observa-se que a BA usualmente utiliza-se da OO como ferramenta para o seu desenvolvimento, onde os dois demonstram capacidades comportamentais e conhecimentos privados (AMANDI, 1997).

Para Wooldridge (1999) existem três distinções básicas entre OO e BA, sendo elas:

- a) Autonomia: a autonomia desempenhada pelos objetos é restrita ao seu estado interno, ou seja, como as coisas são feitas. Já agentes tem esta autonomia interna e ainda podem decidir se determinada solicitação será atendida ou não, autonomia externa;

- b) Comportamento autônomo flexível (reativo, pró-ativo e social): os modelos OO não integram este tipo de comportamento;
- c) Independência: Em sistemas multiagentes cada agente tem a sua independência, podendo tomar suas próprias decisões, ou seja, é mais que uma estrutura composta por métodos e estados internos.

2.4.2 Projetando sistemas multiagentes

Desde meados da década de 1990, surgiram várias metodologias diferentes para a especificação e design de sistemas multiagentes, desenvolvendo ou ampliando abordagens tradicionais de engenharia de software e abordagens de engenharia do conhecimento. As metodologias de design do MAS tendem a compartilhar algumas características comuns: uma fase de conceituação em que o problema a ser resolvido é especificado; uma fase de análise e uma fase de projeto que usa os resultados da fase de análise para produzir desenhos de agentes com detalhes variados.

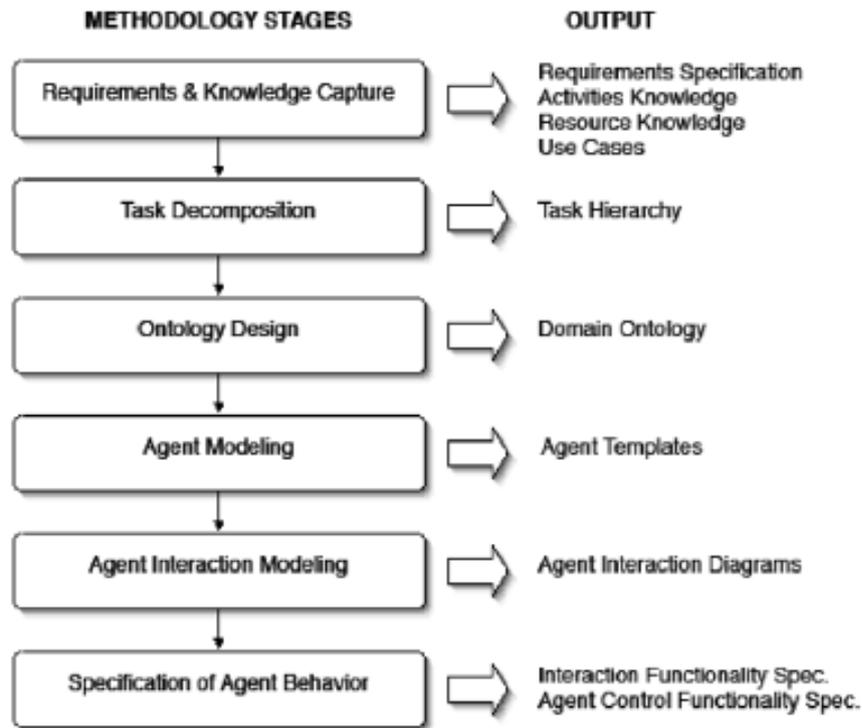
Design de multiagentes: O design começa com um estágio estruturado de engenharia do conhecimento, especificando os requisitos do sistema e capturando o conhecimento necessário para atender a esses requisitos. Durante o estágio de decomposição da tarefa, a especificação de requisitos e os conhecimentos capturados na etapa anterior são transformados em uma hierarquia de tarefas e subtarefas.

A modelagem do agente usa a hierarquia da tarefa e o design da ontologia para identificar um grupo de agentes autônomos, que tem a habilidade para executar as tarefas na hierarquia da tarefa. Um agente pode encapsular uma ou mais tarefas, sendo que uma das tarefas deve ser atribuída ao menos a um agente.

O resultado é um conjunto de modelos de agentes que especificam as tarefas que os agentes devem ser capazes de realizar. A metodologia também identifica as tarefas que podem ser atribuídas a sistemas legados e para os quais o novo código precisa ser gerado (MCARTHUR *et al.*, 2007b).

Uma vez que os agentes foram identificados, as interações que os agentes devem suportar devem ser definidas. O estágio final do processo é a especificação da funcionalidade de interação do agente e a funcionalidade de controle do agente. Isso equivale à especificação do comportamento que um agente deve exibir. Os diferentes estágios da metodologia podem ser observados na Figura 7.

Figura 7 – Estágios da metodologia



Fonte: McArthur *et al.* (2007b).

Implementação de agentes inteligentes autônomos: A propriedade da autonomia é muitas vezes o ponto principal na decisão de utilizar a tecnologia de agente. Nenhuma das metodologias de design referenciadas oferece critérios para a seleção de um estilo específico de implementação do agente para que eles exibam os níveis corretos de reatividade, proatividade e habilidade social.

Em alguns aspectos, um dos benefícios de tomar uma abordagem de agente é que a maneira como os agentes alcançam suas características é imaterial: um agente pode ser conceitualizado como uma caixa preta que envia e recebe mensagens e interage com o meio ambiente de forma autônoma. No entanto, os aspectos práticos dos sistemas multiagentes significam que os desenvolvedores precisam de um conhecimento útil das diferentes opções de design do agente ou anatomias do agente e as características dos agentes com essas anatomias.

Anatomias do agente: Os agentes de construção baseia-se em modelos mentais de crenças, desejos e intenções de um agente. Os agentes desenvolvidos para a plataforma JADE tendem a consistir em três camadas básicas: uma camada de tratamento de mensagens; uma camada comportamental e camada funcional.

A camada funcional incorpora os principais atributos funcionais do agente, isto é, as ações que o agente pode executar. A camada comportamental fornece o controle de quando um agente executará tarefas específicas. Caso a camada funcional produza novos dados, por exemplo, a camada comportamental instruirá a camada de tratamento de mensagens para informar os agentes interessados dos novos dados. Da mesma forma, a ação tomada por um agente em resposta ao recebimento de uma nova mensagem é decidida na camada comportamental.

A camada de tratamento de mensagens é responsável pelo envio e recebimento de mensagens de outros agentes, implementando os analisadores de ACL e ontologia relevantes, bem como a funcionalidade para o controle de conversas com outros agentes.

2.4.3 Ferramentas para a implementação de agentes e sistemas multiagentes

Para implementação de sistemas multiagentes é necessária uma seleção criteriosa de ferramentas de desenvolvimento MAS. Em primeiro lugar, o conjunto de ferramentas tem de cumprir os padrões aos quais os desenvolvedores desejam aderir. Em segundo lugar, os agentes implementados usando o conjunto de ferramentas escolhido devem exibir um nível de robustez necessário para a aplicação em questão. Existem diversas ferramentas computacionais que dão suporte ao desenvolvimento de sistemas multiagentes, dentre as quais destacamos: JADE (*Java Agent Development Environment*), NetLogo (Desenvolvida em 1999 nos EUA. É uma das mais difundida), Jack (Kit de desenvolvimento comercial de agentes), Aglet (Sistema para desenvolvimento de agentes moveis desenvolvido pela IBM) e SeSAm (*Shell for Simulated Agent Systems*).

JADE tornou-se uma ferramenta favorita com pesquisadores em engenharia de energia nos últimos anos, conforme pode ser observado no item 2.3. Enquanto o apoio do JADE aos padrões FIPA e a robustez dos agentes que podem ser implementados tornam-se atrativos, o JADE também promove um certo estilo de implementação do agente que pode não ser otimizado para explorar a autonomia.

2.5 FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA A INDÚSTRIA

O fornecimento de energia elétrica para consumidores industriais difere do fornecimento de energia para consumidores residenciais. Consumidores industriais são

abastecidos por altas tensões em suas subestações onde ocorre o rebaixamento da tensão para o abastecimento de máquinas e equipamentos.

As concessionárias mantem junto às indústrias um contrato de fornecimento de energia elétrica, onde está destacado as obrigações de fornecimento (quantidade) e padrões de fornecimento (qualidade). A medição do consumo de energia é realizada pela concessionária fornecedora na subestação rebaixadora das indústrias.

2.5.1 Tarifação da energia elétrica para a indústria

A indústria dispõe de um sistema de tarifação de energia elétrica regado pela Resolução Normativa Nº 414 da Aneel (ANEEL, 2010), onde são estabelecidas diferentes formas de tarifação a fim de atender o maior número de especificidades dos consumidores. As tarifas de energia elétrica não têm um mesmo valor para todos os consumidores. Elas se diferenciam entre grupos tarifários, de acordo com a tensão de fornecimento, o momento do consumo, o tipo de tarifa e a classe do consumidor. As mesmas podem ser estruturadas e diferenciadas de muitas formas, teoricamente, poderia ser definida uma tarifa para cada consumidor, porém, dificuldades de diversas naturezas impossibilitam esta ação.

Segundo a resolução, para consumidores industriais a medição da quantidade consumida deve ser realizada levando em consideração a energia ativa e reativa.

2.5.1.1 Energia ativa

A energia ativa é responsável pela geração do trabalho, é a energia gasta para se obter o resultado desejado.

Inicialmente os consumidores são divididos em classes, sendo residencial, industrial, comercial, rural, poder público, iluminação pública, serviço publico e consumo próprio. Estas classes por sua vez, são divididas em grupos e subgrupos (ANEEL, 2010).

Outro importante conceito a ser definido é a demanda contratada, que segundo a Aneel é:

Demanda de potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela distribuidora, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência fixados em contrato, e que deve ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW) (ANEEL, 2010, p. 4).

Se tratando de consumidores industriais a grande maioria destes é enquadrada no Grupo A, onde o fornecimento em tensão é igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas a

partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômia e subdividido nos seguintes subgrupos:

- a) subgrupo A1 - tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
- b) subgrupo A2 - tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;
- c) subgrupo A3 - tensão de fornecimento de 69 kV;
- d) subgrupo A3a - tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV;
- e) subgrupo A4 - tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV; e
- f) subgrupo AS - tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

Outro enquadramento existente é quanto à modalidade tarifária, que no caso de consumidores industriais pode ser (ANEEL, 2010):

- a) convencional binômia: caracterizada por tarifas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, independentemente das horas de utilização do dia;
- b) horária verde: este enquadramento só pode ser utilizado por consumidores atendidos por tensões inferiores que 69kV (A3a, A4 e AS). Pode-se destacar como principais características:
 - um único valor de demanda contratada (kW), independente do posto horário (ponta ou fora de ponta);
 - dentro do período de faturamento, a demanda faturável será o maior valor dentre a demanda contratada e a demanda medida;
 - um único valor de tarifa para o caso de ultrapassagem de demanda;
 - é permite que sejam contratados dois valores diferentes de demanda, um para o período seco e outro para o período úmido.
- c) horária azul: aplicação compulsória para consumidores atendidos por tensões iguais ou superiores a 69kV (A1, A2 e A3). Pode-se destacar como principais características:
 - dois valores de demanda contratada (KW), um para o segmento de ponta e outro para o segmento fora de ponta;
 - a tarifa de ponta é 3 vezes maior que a tarifa fora de ponta;
 - dentro do período de faturamento, a demanda faturável será o maior valor dentre a demanda contratada e a demanda medida.

- são aplicadas tarifas diferentes para o período de ponta e fora de ponta em caso de ultrapassagem da demanda contratada;
- permite que sejam contratados dois valores diferentes de demanda, um para o período seco e outro para o período úmido.

Se tratando da hora de utilização da energia elétrica, considera-se horário de ponta (mais caro) das 18h às 21h¹ dos dias úteis e feriados não nacionais; já os demais horários são considerados horários fora de ponta. O horário fora de ponta é dividido entre o período indutivo, quando o fator de potência não pode ser capacitivo e período capacitivo, quando o fator de potência não pode ser indutivo (ANEEL, 2010).

Quanto ao período do ano, o período seco é dos meses de maio a novembro e os meses considerados úmidos são de dezembro a abril.

Na Tabela 2 pode-se observar um resumo das modalidades de fornecimento de energia elétrica para a indústria.

Tabela 2 – Modalidades tarifárias

Subgrupo Tarifário	MODALIDADE TARIFÁRIA		
	Convencional	THS - Azul	THS - Verde
A1	IMPEDIDO	compulsório para qualquer valor de demanda contratada	IMPEDIDO
A2			
A3			
A3a	disponível para contratos inferiores a 300 kW	disponível para contratos a partir de 30 kW	disponível para contratos a partir de 30 kW
A4			
AS (subterrâneo)			

Fonte: ANEEL, 2010.

Além das modalidades tarifárias, temos outros fatores que podem influenciar na conta de energia, inclusive gerando multas. Na lista abaixo é conceituado dois fatores:

- Ultrapassagem da demanda contratada: poderão ser adicionados custos a tarifa caso alguma situação eventual ocorra. Se a opção for por demanda contratada (valor representado em kW de potência ativa), a concessionária é obrigada a fornecer esta quantidade. Porém, se a demanda medida (divisão do consumo medido pelo tempo de medição, comumente 15min) ultrapassar a demanda contratada, será cobrada tarifa de ultrapassagem. Ainda segundo a Aneel, existe uma tolerância de 5% sobre o valor da demanda contratada.

¹ Este horário pode ser diferente levando em consideração a região e a concessionária fornecedora. Deve ser aprovado pela ANEEL.

- b) Bandeiras tarifárias: foram criadas pelo governo para sobretaxar o consumo de energia elétrica quanto aos custos adicionais de produção. Sendo assim, quando o custo de geração está muito alto, a bandeira é vermelha, quando se encontra de forma amena a bandeira é amarela, e quando o custo de produção está equilibrado a bandeira é verde.

2.5.2.2 Energia reativa

A energia reativa é uma energia que não gera trabalho. Ela é responsável pela formação dos campos magnéticos necessários para o funcionamento dos motores. A unidade de medida usual é VARh sendo a potência expressa em VAR.

A concessionária de energia elétrica só está autorizada a cobrar este tipo de energia quando for ultrapassado o limite máximo, que é definido pelo fator de potência².

Quando o fator de potência medido for inferior a 0,92 será acrescido o valor conforme contrato vigente. O fator de potência é calculado pela razão entre a energia elétrica ativa e a raiz quadrada da soma dos quadrados das energias elétricas ativas e reativa, consumidas num mesmo período especificado. O reativo capacitivo é registrado exclusivamente no período entre 00:00h e 06:00h e o reativo indutivo é registrado exclusivamente no período entre 06:00 e 24h³.

2.6 MÉTODOS DE PREVISÃO DE CONSUMO PARA CONTROLE DE DEMANDA

Os métodos de previsão de consumo são utilizados em diferentes situações, seja para a não ultrapassagem da demanda contratada, para a previsão da produção de energia elétrica, para adequação de sistemas, entre outras. Os sistemas de previsão são conjuntos de procedimentos de coleta, tratamento e análise das informações com o objetivo de gerar estimativas futuras.

Entre os vários benefícios que um sistema de controle de demanda pode trazer para uma instalação, pode se destacar (FERNANDES *et al.*, 2011):

- a) redução da potência ativa e reativa;
- b) redução da conta de energia elétrica;

² Fator de potência: razão da potência real ou ativa pela potência total ou aparente.

³ Este horário pode ser diferente levando em consideração a região e a concessionária fornecedora. Deve ser aprovado pela ANEEL.

- c) aumento do rendimento e da vida útil dos equipamentos;
- d) funcionamento do sistema próximo à carga nominal;
- e) garantia da manutenção dos limites de carga das proteções;
- f) redução das perdas térmicas - efeito Joule.

Os métodos de controle são algoritmos que definem as estratégias de decisões, captando as variáveis de entrada, processando e decidindo a melhor solução. É pelo método de controle que se determina o grau de precisão de um controlador. Como forma de escolha, serão apresentados métodos utilizados atualmente em sistemas já implementados e em estudos publicados que contribuem para a previsão do consumo.

2.6.1 Série temporal

Uma série temporal consiste em qualquer conjunto de observações organizadas no tempo, por exemplo: valores diários de poluição, valores mensais de temperatura, valores diários de consumo de energia elétrica, índices diários da bolsa de valores entre outras (MORETTIN; TOLOI, 2018; BOX; JENKINS, 2015).

Uma característica essencial de uma série temporal é que as observações próximas são dependentes, e a análise desta dependência requer o uso de algumas técnicas, para isso, há a necessidade de desenvolver modelos estocásticos e dinâmicos para dados de séries temporais (BOX; JENKINS, 2015).

Nos modelos determinísticos, o resultado do sistema é pré-determinado em função dos dados de entrada, enquanto que nos modelos estocásticos, o resultado do sistema não depende somente dos dados de entrada, mas também de outros fatores, normalmente aleatórios (BOX; JENKINS, 2015).

Uma série temporal pode ser contínua, cujas observações são medidas em cada instância de tempo, como exemplos leitura de temperatura, fluxo de um rio, concentração de um processo químico ou discreta, em que as observações são medidas em pontos discretos de tempo, como população de uma determinada cidade, produção de uma empresa, taxas de câmbio entre duas moedas diferentes, entre outras. (ADHIKARI; AGRAWAL, 2013).

Ainda, conforme Adhikari e Agrawal (2013), uma série temporal pode ser afetada pelos seguintes componentes: tendência, cíclica, sazonal, irregular, e podem ser separados dos dados observados.

Uma série temporal com tendência está relacionada com elementos de longo prazo, em que há casos com crescimento demográfico, mudança gradual de hábitos de consumo de energia, crescimento populacional, número de casas em uma cidade, taxas de mortalidade, epidemias e qualquer mudança que, em longo prazo, altere a variável de longo prazo estudada (ADHIKARI; AGRAWAL, 2013).

Série temporal com componentes irregulares ou aleatórias é causada por influências imprevisíveis que não são regulares e não se repetem em um padrão. Geralmente, estas variações são causadas por incidências, como guerra, greve, terremoto, inundação, revolução, entre outras.

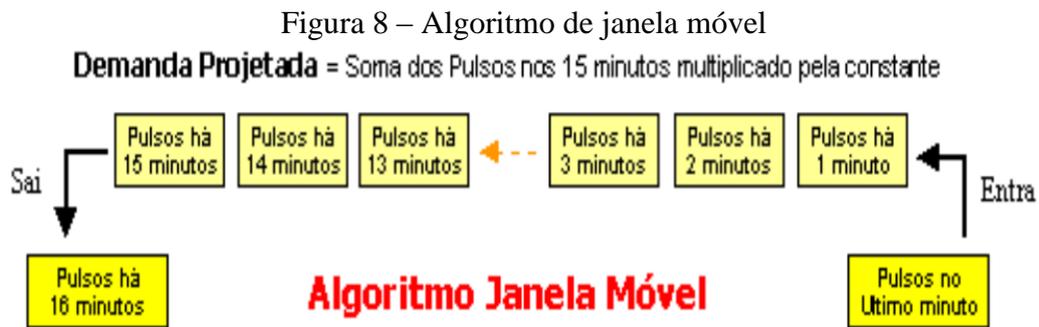
Os modelos de séries temporais podem ser classificados como modelos paramétricos e modelos não paramétricos. Na classe dos modelos paramétricos, a análise é feita no domínio do tempo. Dentre estes modelos, os mais frequentes são os modelos de erro (regressão), os modelos auto regressivos e de média móvel (ARMA), os modelos auto regressivos integrados e de médias móveis (ARIMA), modelo de memória longa (ARFIMA), modelos estruturais e não lineares (MORETTIN; TOLOI, 2018).

Algoritmo de janela móvel: Um dos métodos mais antigos utilizados para a previsão de demandas, baseado na premissa first-in first-out (o primeiro que entra é o primeiro que sai), adaptado para a leitura do consumo elétrico, ou seja, com a divisão da janela de 15 minutos (intervalo de integração) em compartimentos. (OZUR; PEREIRA; CORREA, 2011).

Cada compartimento armazena a quantidade de pulsos de energia contabilizada no tempo correspondente a 1 minuto, relativo à sua dimensão. A demanda observada consiste na média referente aos valores obtidos durante o intervalo padrão de 15 minutos a considerar.

Esse algoritmo assíncrono (ao contrário da concessionária que utiliza pulso de sincronismo para armazenar dados na memória de massa em seus controladores) reflete acontecimentos passados e não aponta nenhuma tendência sobre o que poderá ocorrer com a demanda em condições normais de funcionamento da instalação no futuro.

Conforme pode ser observado na Figura 7, este método nada mais é que a demanda média dos últimos 15 minutos, independentemente do fato de estarmos no início, no meio ou no fim do intervalo de integração de 15 minutos. Assim, o algoritmo reflete o passado, e não a tendência, futuro.

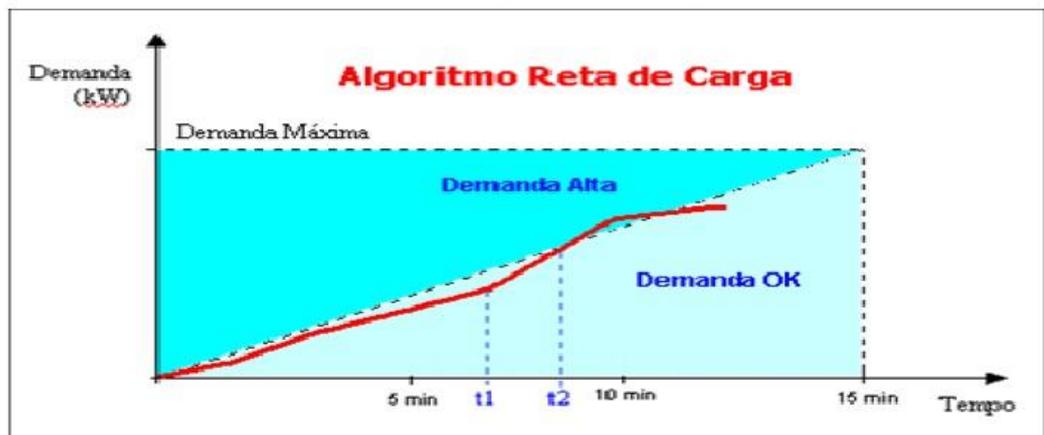


Fonte: Ozur, Pereira e Correa (2011).

Método das retas de cargas ou retas inclinadas: Este método é baseado na regra de três, onde são considerados o número de pulsos acumulados em determinado intervalo de tempo, o tempo transcorrido no período e o tempo total do intervalo (normalmente 15 min). (OZUR; PEREIRA; CORREA, 2011).

O método assíncrono e impreciso, além ser lento e realizar medidas errôneas no início dos intervalos. Observa-se no Gráfico 1 que a demanda máxima inicia no tempo t_1 mas é percebida pelo algoritmo somente no tempo t_2 , demonstrando assim a demora na tomada de decisão.

Gráfico 1 – Método de controle por reta de carga ou retas inclinadas



Fonte: Ozur, Pereira e Correa (2011).

Método preditivo adaptativo: O método preditivo adaptativo utiliza na parte preditiva a medição sincronizada com a concessionária integrando os pulsos recebidos a partir do instante zero (chegada do sincronismo) e trabalhando sempre com a projeção da demanda dentro do intervalo de integração e com o conhecimento prévio do valor da potência da carga, podendo ainda operar de forma adaptativa.

O algoritmo preditivo trabalha com a demanda média e também com a derivada da curva de demanda acumulada, verificando tendência e projeções continuadas, o que

possibilita melhoramentos no chaveamento das cargas e verificação de tendências de demanda da instalação (FERNANDES *et al.*, 2011).

Média móvel: simples e ponderada: A previsão de demanda a partir do conceito de média móvel simples tem por finalidade identificar o valor previsto para a demanda do próximo período. Sendo assim, o cálculo é igual à média aritmética dos últimos “n” períodos. Matematicamente, a previsão de demanda por média móvel simples é determinada pela equação 1.

$$F_t(t + 1) = \frac{D_t + D_{t-1} + \dots + D_{t-n+1}}{n} \quad (1)$$

Onde:

- D_t representa a demanda real no período t
- n, a quantidade de períodos considerada

Se ressalta que a decisão de qual será o número de períodos utilizados no cálculo é fundamental para a previsão, sendo que, quanto maior —n, menor é a variação da previsão. (LUSTOSA *et al.*, 2008).

A média móvel ponderada consiste em considerar a importância dos períodos da previsão atribuindo-lhes pesos distintos. (RITZMAN; KRAJEWSKI, 2004). O método matemático que ilustra o modelo de média móvel ponderada e determinado pela equação 2.

$$P_{(j)} = P_1D_1 + P_2D_2 + \dots + P_nD_n \quad (2)$$

Onde:

- P_j = previsão para o período j
- P_n = peso atribuído ao período n
- D_n = demanda do período n

O modelo de previsão de demanda pela média móvel ponderada é uma variação da média móvel simples, a diferença é que neste modelo considera um peso maior para o último período de demanda, um peso ligeiramente menor para o penúltimo período e assim por diante até o último período utilizado para a estimativa (BOX; JENKINS, 2015). Isso quer dizer que os valores da demanda dos períodos mais próximos, são considerados mais importantes, na definição da estimativa que os períodos mais distantes. Normalmente, se utiliza a soma dos pesos igual a um, para que não seja necessário dividir o resultado pela soma dos pesos (PEINADO; GRAEML, 2007).

Suavização exponencial: De acordo com Corrêa, Gianesi e Caon (2001) o método de suavização exponencial é similar ao da média móvel ponderada, com a diferença de que

são utilizados todos os valores históricos, com coeficientes de ponderação que decrescem exponencialmente.

Neste método dá-se um peso maior as demandas recentes do que as demandas iniciais. A previsão por suavização requer somente três tipos de dados, a previsão do último período, a demanda para o período atual e o parâmetro de aproximação alfa (α). Matematicamente o modelo pode ser escrito de acordo com a equação 3.

$$P_{(j)} = \alpha D + (1 - \alpha)D_{j-1} \quad (3)$$

Onde:

- P_j = previsão para o período j
- D = demanda do período
- α = constante de suavização
- D_{j-1} = previsão calculada no último período

O valor de α determina o equilíbrio entre a sensibilidade das previsões, as mudanças da demanda e a estabilidade das previsões. Valores próximos de um enfatizam níveis mais recentes de demanda e resultam em previsões mais sensíveis a alterações. Valores próximos de zero tratam a demanda passada de modo mais uniforme e resultam em previsões mais estáveis (RITZMAN; KRAJEWSKI, 2004).

Modelo Autoregressivo de Média Móvel – ARMA: O modelo ARMA geral foi descrito pelo matemático neo-zelandês Peter Whittle em sua tese de 1951, Hypothesis testing in time series analysis, e popularizou-se pelos estatísticos britânicos George E. P. Box e Gwilym Jenkins em seu livro de 1970.

O modelo ARMA pode ser descrito como a combinação dos modelos autoregressivo (AR) e de média móvel. O modelo ARMA forma uma classe útil para descrever dados de séries temporais, estacionários em termos de dois polinômios, um para a autoregressão e outro para a média móvel. (ADHIKARI; AGRAWAL, 2013).

A parte autoregressiva é responsável por regressar no tempo, ou seja, analisar o passado. Já a parte da média móvel, é responsável por modelar o erro como uma combinação linear, ou seja, analisar a diferença que ocorreu no passado.

O modelo é capaz de descrever séries estacionárias e séries não estacionárias que não apresentem um comportamento explosivo. Este tipo de não estacionariedade é chamado homogêneo, quando a série pode ser estacionária, flutuando ao redor de um nível, por um

certo tempo, depois mudar de nível e flutuar ao redor de um novo nível e assim por diante, ou então mudar de inclinação (ADHIKARI; AGRAWAL, 2013).

Morettin e Toloi (2018) descrevem que o modelo ARMA é a solução adequada para séries temporais com um número não muito grande de parâmetros. Sua construção está baseada nos seguintes estágios de um ciclo iterativo: especificação para uma classe geral de modelos, que deve ser considerada para análise, identificação do modelo com base na análise de auto correlações, estimação dos parâmetros do modelo identificado e, por último, deve ser feita uma análise de resíduos para determinar a adequação da previsão. O modelo ARMA é dado pela equação 4.

$$Z_t = \Phi_1 Z_{t-1} + \Phi_2 Z_{t-2} + \dots + \Phi_p Z_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (4)$$

Onde:

- ϕ_i = Parâmetros da estrutura Auto Regressiva, $i=1, \dots, p$
- θ_i = Parâmetros da estrutura média móvel, $i=1, \dots, q$
- a_t = Ruído branco

Para verificar se a série é estacionária ou não, pode-se utilizar o teste Coeficiente de Spearman (LIRA; CHAVES NETO, 2006), que é dado pela equação 5:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n} \quad (5)$$

Onde:

- n = número de pares (x_i, y_i)
- d_i = (pontos de x_i dentre os valores de x) - (pontos de y_i dentre os valores de y)

O coeficiente de correlação pode variar em termos de valor de -1 a +1. Quanto maior for o valor absoluto do coeficiente, mais forte é a relação entre as variáveis. Para a correlação de Spearman, um valor absoluto de 1 indica que os dados ordenados por posto são perfeitamente lineares.

Desta forma, quando o valor foi negativo, a série é estacionária, e quando for positivo, é não estacionários.

2.6.2 Rede Neural Artificial

A Rede Neural Artificial (RNA) é uma ferramenta de Inteligência Artificial (IA), que está incorporada na Inteligência Artificial Conexionista e procura simular a estrutura do cérebro humano para conseguir aprender, assimilar, errar e, a partir disso, apresentar inteligência (MITCHELL, 1997).

Segundo Haykin (2004), uma rede neural é um processador distribuído, que trabalha de forma paralela, onde o conhecimento é adquirido pela rede por meio de aprendizagem, utilizando os pesos sinápticos para conhecimento, e tendo como característica principal a sua capacidade de armazenar conhecimento experimental para ser utilizado no futuro.

A RNA basicamente começou com McCulloch e Pitts, em 1943, com a criação do Neurônio Booleano. Donald Hebb desenvolveu, em 1949, o primeiro modelo para as sinapses dos neurônios, Rosenblatt, em 1958, estudou o Perceptron, que conseguia representar algumas portas lógicas. Widrow e Ted propuseram, em 1960, os algoritmos Adaline e Madaline que funcionam para problemas não lineares. Em 1969, Minsky observou que o Perceptron tinha problemas e não conseguia representar a lógica da porta XOR, por causa disso, o estudo sobre RNA ficou parado por mais de 10 anos (HAYKIN, 2004).

O campo de pesquisa em RNA “explodiu” em 1986, com a publicação do livro *Parallel Distributed Processing* (Processamento Distribuído Paralelo), editado por David Rumelhart e James McClelland. Em 1987, universidades anunciaram a formação de institutos de pesquisa e programas de educação em neurocomputação (RUMELHART; MCCLELLAND, 1986).

A motivação para obterem-se algoritmos de aprendizagem de máquina altamente eficazes foi à velocidade de processamento da informação do neurônio humano, com objetivo de utilizar a computação altamente paralela com representações distribuídas para gerar algoritmos de aprendizagem de máquina altamente eficazes (MITCHELL, 1997).

As redes neurais são tipicamente organizadas em camadas que definem sua estrutura topológica ou sua arquitetura (maneira como os elementos de processamento são organizados). Haykin (2004), explica que existem redes neurais de camada simples (Perceptron) constituídas por um grupo de neurônios arranjados em apenas uma camada, e as

redes *Multi Layer Perceptron (feedforward)*, formadas por várias camadas intermediárias ou pela combinação de várias redes de camadas simples.

Nessa estrutura, a camada de entrada é aquela na qual os padrões são apresentados à rede; as camadas intermediárias são responsáveis por grande parte do processamento, podendo ser consideradas como extratoras de características; e a camada de saída é aquela onde o resultado final é concluído e apresentado.

O aprendizado da rede é uma das características mais importantes, adquirido por meio do ajuste das intensidades das conexões entre os neurônios. Assim, a etapa de aprendizado de uma RNA consiste em um processo iterativo de ajuste de parâmetros da rede, os pesos das conexões, que guardam, ao final do processo, o conhecimento que a rede adquiriu de todo o processo, ou seja, do ambiente externo (BRAGA; CARVALHO; LUDERMIR, 2007).

Nesta etapa ocorre a adaptação do RNA às diferentes características de um problema. Por sua vez, a generalização de uma RNA está associada à sua capacidade de dar respostas coerentes para dados não apresentados a ela durante o treinamento. Espera-se que uma RNA treinada tenha uma boa capacidade de generalização, independentemente de ter sido controlada durante o treinamento.

Quando dispomos de dados históricos, estes são divididos em duas partes: conjunto de treino, que são utilizados para construir o modelo desejado, e conjunto de teste, em que uma pequena subparte do conjunto de treinamento é mantida para fins de validação, conhecida como validação conjunto (HAYKIN, 2004).

Para avaliar a precisão do modelo da RNA, é utilizado Erro Quadrático Médio (EQM). Adhikari e Agrawal (2013) descrevem que EQM dá uma ideia geral do erro ocorrido durante uma previsão, enfatiza o fato de que o erro de previsão total é, de fato, muito afetado por grandes erros individuais, não fornece nenhuma ideia sobre a direção de erro geral e é sensível à mudança de escala e transformações de dados.

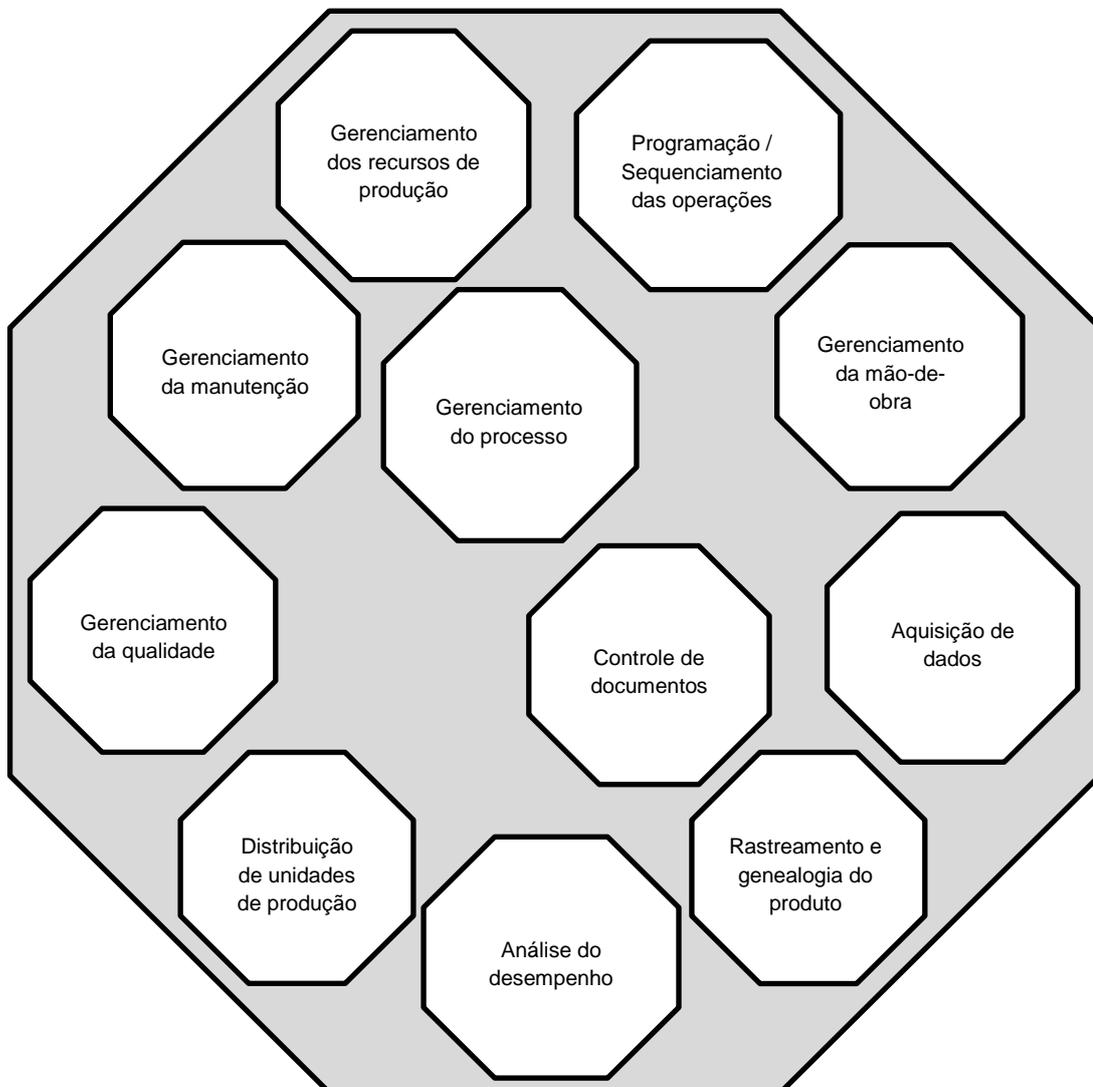
2.7 MANUFACTURING EXECUTION SYSTEMS (MES)

O desenvolvimento tecnológico, as necessidades produtivas, a competitividade entre outras razões, tem demonstrado a necessidade da constante evolução dos processos de controle e execução da produção. Dentre as inúmeras ferramentas disponíveis pode-se destacar o *Manufacturing Execution Systems (MES)*.

Conforme Kletti (2007), os conceitos de MES tem como origem a coleta de dados das mais diversas áreas da indústria no início da década de 80, como por exemplo: planejamento de produção, controle de qualidade e pessoal. O termo MES foi criado pela empresa AMR em 1990 (ZHANG *et al*, 2009).

Porém, em 1992 empresas de desenvolvimento de software e integradores de sistemas criaram a MESA, entidade que possui atuação global e têm por objetivo assessorar consultores, analistas, editores, acadêmicos, empresas que desenvolvem, comercializam e implantam sistemas MES (MESA, 2019). Neste mesmo ano, foi lançada uma lista com as 11 funções/atividades que as aplicações MES objetivam, conforme pode ser visualizado na Figura 9.

Figura 9 – Pilares do MES



Fonte: Adaptado de MESA (2019).

O modelo de contexto do MES que traz as relações com outros sistemas, foi lançado pela primeira vez em 1996, tendo sua segunda versão lançada em 2004, e em 2008 foi lançado o modelo utilizado até hoje.

Este modelo está dividido em cinco iniciativas estratégicas que formam o nível executivo, são elas:

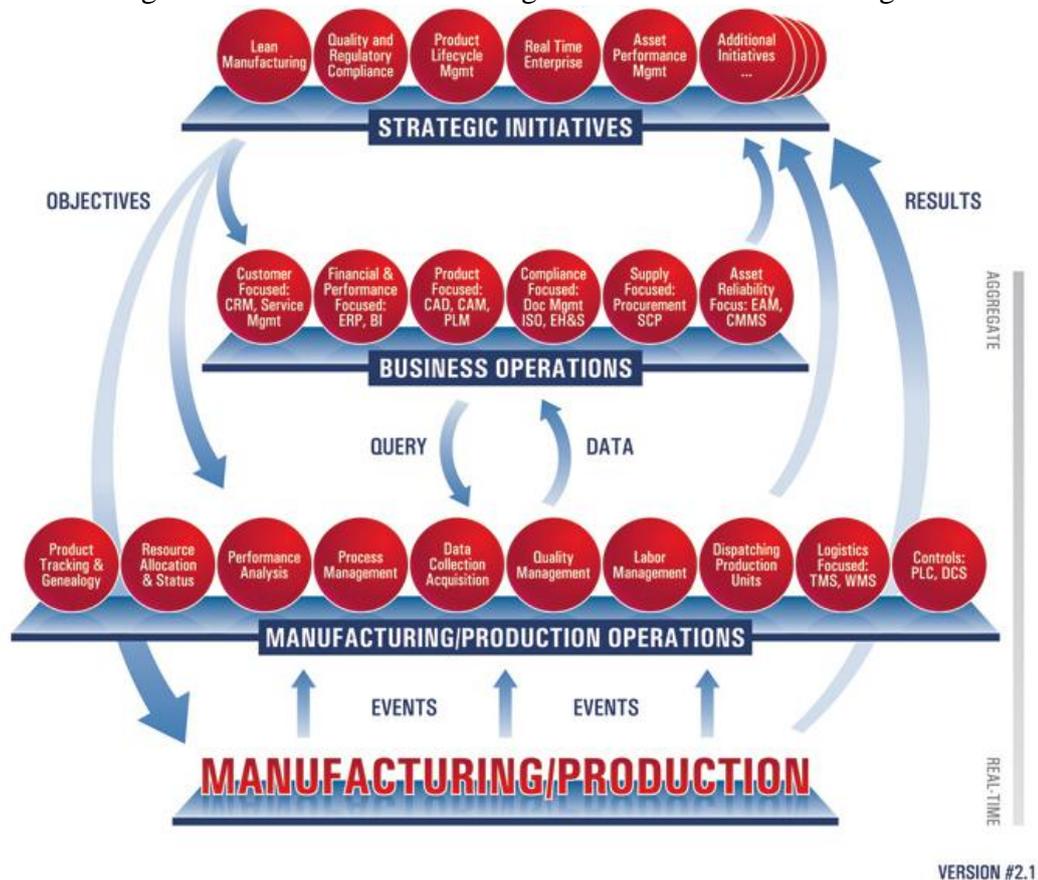
- a) *Lean Manufacturing*: busca a identificação e eliminação de perdas continuamente, gestão dos processos e fluxos de materiais, a padronização e a gestão visual disponível aos colaboradores, o constante aperfeiçoamento dos funcionários, aumento da produtividade, melhoria da qualidade e a redução dos custos de produção;
- b) *Real-Time Enterprise (RTE)*: procura executar o monitoramento, análise e captura de eventos que possam gerar atrasos no processo de negócio da organização exatamente no momento em que ocorrerem;
- c) Qualidade e conformidade regulatória: está associada à melhoria em design, na engenharia sobre o produto e processos que repercutirão na melhoria da qualidade e diminuição dos custos, além de atestar os procedimentos de qualidade aplicados sobre os produtos;
- d) *Asset Performance Management (APM)*, em português Gestão de Desempenho de Ativos: visa à maximização da rentabilidade e previsibilidade dos ativos por meio do cruzamento entre visão financeira e operacional, visualizando todo o ciclo de vida do ativo;
- e) *Product Lifecycle Management (PLM)*, em português Gestão do Ciclo de Vida do Produto: realiza a integração de pessoas, processos, sistemas de negócio e informação, visando à prática de soluções de negócio que promovam o apoio a criação, gestão, divulgação e o uso de informações acerca do produto em todo o seu ciclo de vida.

Desta forma, o modelo atual possibilita a escolha das soluções com base nas funcionalidades que o negócio considera importante e como essas funcionalidades estão inter-relacionadas (MELLO; BOTINHÃO, 2012).

A MESA também instituiu alguns pilares que refletem um conjunto de funcionalidades que são consideradas importantes para um efetivo suporte na administração da produção. Estes pilares estão relacionados principalmente com a gestão dos recursos produtivos; os recursos do processo; a mão de obra; a manutenção; executar a programação e

sequenciamento das operações; distribuir as unidades de produção; efetuar a análise do desempenho; controlar os documentos; a rastreabilidade e a genealogia do produto, conforme pode ser observado na Figura 10 (MESA, 2019).

Figura 10 – Modelo MESA Programas de Iniciativa Estratégica



Fone: MESA (2019).

Em destaque temos o macro objetivo do MES Gerenciamento das operações e do planejamento, que é responsável por programar o sequenciamento das operações, facilitando o sequenciamento e sincronizo das operações, além de facilitar e agilizar a programação / reprogramação da produção e o retorno de informações acerca dos produtos (MESA, 2019).

De acordo com esta organização, o MES fornece informações de otimização dos processos envolvidos, desde a ordem de produção até a finalização do produto, utilizando dados precisos, atualizados em tempo real. Além disso, o MES pode agir conforme os eventos vão ocorrendo, reduzindo gastos com possíveis perdas no processo. Através de comunicações bidirecionais, ele pode fornecer dados de missão crítica sobre as atividades que ocorrem no processo de produção para toda a empresa (MESA, 2019).

Por fim, o MES será importante no desenvolvimento da arquitetura proposta, por interagir entre os sistemas gerenciais e operacionais, possibilitando organizar o sistema produtivo através de prioridades e ordens de execução, evitando atrasos e desperdícios.

3 ANÁLISE DO ESTADO DA ARTE

Para a pesquisa do estado da arte foram utilizadas fontes, como por exemplo: IEEEExplore, Elsevier e Lume UFRGS. A análise concentrou-se em publicações dos últimos 5 anos e com grande índice de citações.

Para um melhor entendimento, as publicações estudadas foram concentradas em subcapítulos, iniciando pelos métodos de previsão de consumo para controle de consumo, seguindo pelas arquiteturas de sistemas multiagentes, a utilização de sistemas multiagentes, sistemas multiagentes para engenharia de energia e economia de energia em atividades de fabricação.

3.1 DIFERENTES SISTEMAS PARA PREVISÃO DE CONSUMO PARA CONTROLE DE DEMANDA

Algumas publicações demonstram testes realizados com diferentes métodos de previsão de consumo para controle de demanda, algumas obtendo um sucesso mais significativo, outras apenas demonstrando a necessidade de maiores estudos para aprimoramento dos métodos.

Gontijo *et al.* (2017) realizaram um estudo comparativo entre métodos preditivos para o consumo industrial de energia elétrica. Para a realização do estudo, os autores utilizaram dados de consumo de energia elétrica brasileira no setor industrial, no qual foram extraídos do sitio do Instituto de Pesquisa Aplicada (IPEA), referente ao período de abril de 2007 a janeiro de 2017.

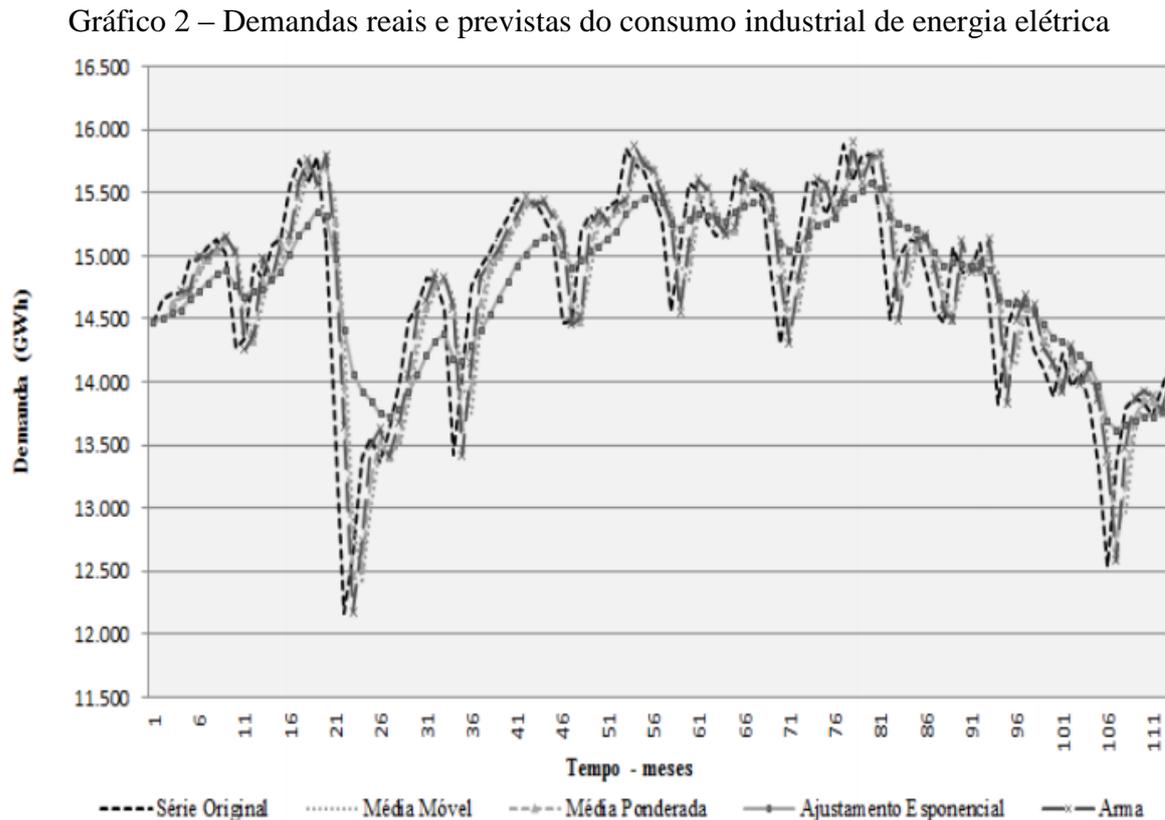
Para a realização dos estudos foram utilizadas as seguintes técnicas: média móvel, média móvel ponderada, suavização exponencial e autoregressivo de média móvel (ARMA).

Outro fato importante na análise foi à verificação quanto ao tipo de modelo de dados, estacionários ou não. Para isso, Gontijo *et al.* (2017) utilizaram a técnica de *Spearman* no qual obteve-se o resultado de -23,61%, e com isso pode-se afirmar que a série é estacionária. Outra informação importante levantada pelos autores, é que os dados levantados sobre o produto estudado demonstram um comportamento sazonal.

Desta forma, por ser um produto de grande relevância e não possuir demanda estável, a média móvel deixa de ser a melhor alternativa, valendo tal premissa também para a média móvel ponderada, apesar de possuir o segundo menor valor do erro. O modelo ARMA foi o

mais adequado para a previsão de demanda energética industrial no Brasil dentre os estudados, uma vez que o modelo apresentou o menor valor do erro médio, tornando o modelo aderente para o tipo de série estudada.

Observa-se no Gráfico 2 a comparação das demandas reais e previsão acerca do consumo de energia elétrica industrial no Brasil, com base nos modelos de média móvel, ponderada, suavização exponencial e vetores da classe ARMA.



Fonte: Gontijo *et al.* (2017).

Gontijo *et al.* (2017) ainda destacam que o consumo industrial de energia elétrica tem natureza complexa, devido a fatores exógenos, ou seja, é comum observar a existência de comportamento que caracterizam a sazonalidade em diferentes horizontes de observações.

Vieira (2016) em sua dissertação realizou estudos a fim de comparar o controlador de demanda instalado em sua universidade com melhorias realizadas neste mesmo controlador, utilizando redes neurais.

Inicialmente Vieira (2016) decidiu implementar dois sistemas auxiliares ao controlador de demanda já instalado, o sistema predictor e o sistema classificador.

O sistema predictor foi implementado utilizando redes neurais por esta dispor de um método para a solução de problemas de previsão como alternativa aos procedimentos

estatísticos convencionais, os quais possuem dificuldades no tratamento de complexas relações não lineares. Para o treinamento do sistema previsor, o autor utilizou dados históricos disponíveis, sendo 70% dos dados utilizados para o treinamento e 30% para testar a capacidade de previsão (VIEIRA, 2016).

O sistema classificador também foi implementado utilizando redes neurais e com a ajuda de uma classificação de prioridades das cargas, o que ajuda na tomada de decisão. Para o treinamento também foi utilizado 70% dos dados disponíveis e 30% para testar a capacidade de previsão (VIEIRA, 2016).

Os resultados demonstraram que o sistema previsor obteve um índice de acerto de 98,7%, com uma variação para mais e para menos de 0,15%. Segundo Vieira (2016), estes resultados reforçam a comprovação da eficiência da rede neural para a previsão da demanda de energia elétrica. Já o sistema classificador obteve um índice de acerto de 89%, o que segundo o autor, o valor é excelente.

Por fim, Vieira (2016) destaca que algumas dificuldades foram notadas durante o desenvolvimento do sistema proposto. A obtenção de dados precisos e a impossibilidade de teste de aplicabilidade do sistema junto ao controlador de demanda de forma real são exemplos.

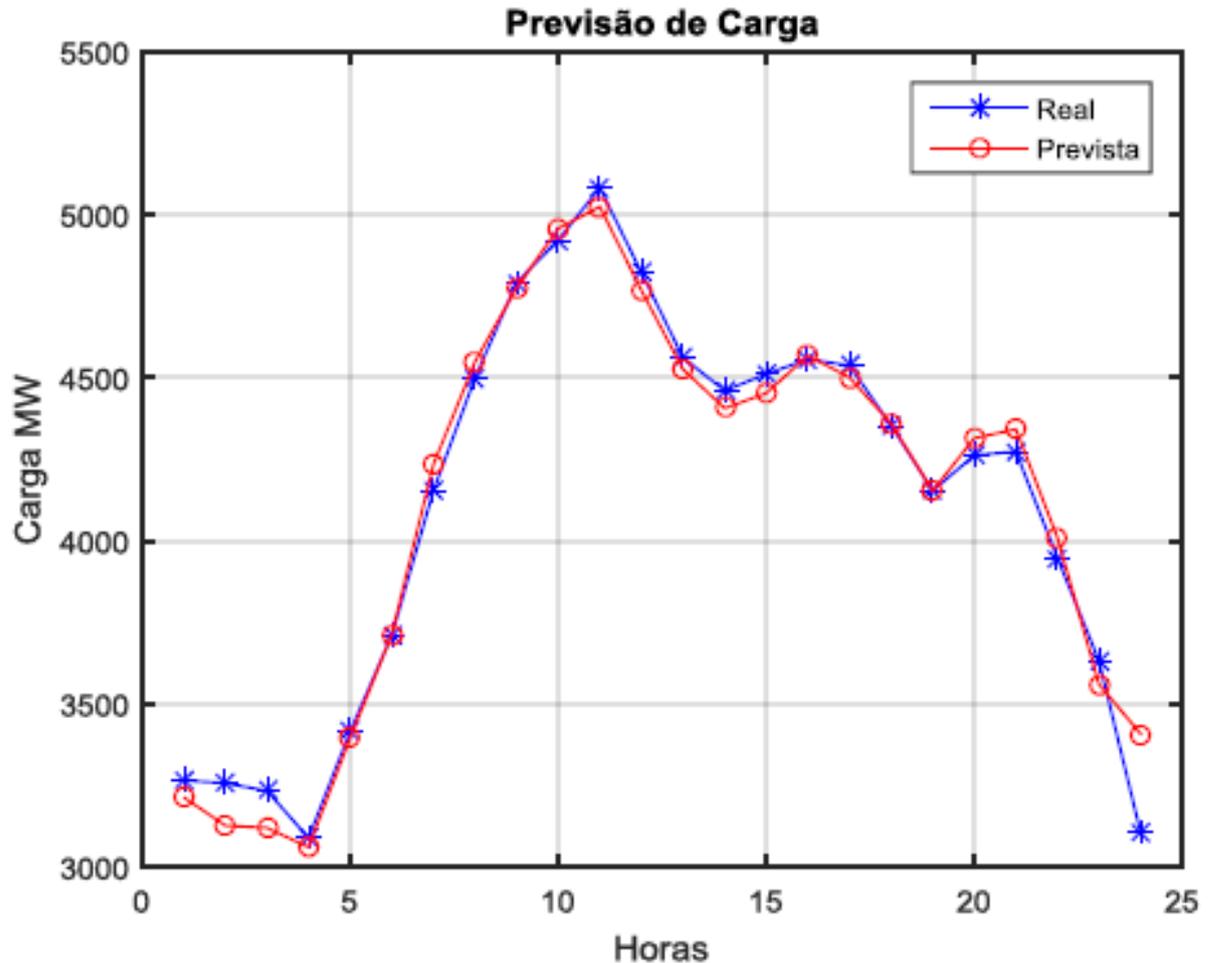
Enquanto Gomes (2017) em sua dissertação de mestrado, comparou Rede Neural ARTMAP Euclidiana com a Rede Neural ARTMAP Fuzzy, para obter o melhor resultado na previsão de carga elétrica global a curto prazo. Para isso, a autora dividiu o trabalho em duas fases, sendo a primeira o treinamento, apresentando a rede os dados de entrada referente as cargas e os dados referentes ao período (horas).

Após a conclusão desta fase, adquiriu-se os resultados e os gráficos das previsões na segunda fase, no qual utilizou-se dados de saída no intervalo de 24h. Dados esses, cedidos por uma das Companhias de Energia Elétrica da Espanha, no período de junho e julho do ano de 1990 (GOMES, 2017).

Todas as simulações realizadas pelas redes ARTMAP Fuzzy e ARTMAP Euclidiana visam a resolução do problema de previsão de carga a curto prazo (24 à frente). Os resultados obtidos pela metodologia proposta foram avaliados através do Erro Percentual Médio Absoluto (MAPE) e erro máximo, o que permite analisar e deduzir que a utilização da rede neural ARTMAP Euclidiana garante um bom desempenho e uma boa precisão (GOMES, 2017).

Através do Gráfico 3, é possível notar que a curva das cargas elétricas previstas, obtidas pela rede neural ARTMAP Euclidiana se encontram bem próximas da curva real, o que fornece uma confiabilidade na metodologia utilizada.

Gráfico 3 – Resultado da previsão de carga



Fonte: Gomes (2017).

Paulos (2017) demonstrou em sua dissertação de mestrado a utilização de Redes Neurais de Regressão Generalizada para a previsão de consumo de energia elétrica e do preço da eletricidade. Para isso, o autor verificou o desempenho de diversos tipos de Redes Neurais Artificiais (RNA), no caso, uma rede neuronal *Feed-Forward* convencional e uma rede neuronal de regressão generalizada (GRNN).

Para o treinamento da rede Paulos (2017) utilizou ferramenta *nftool* e o algoritmo de treino *trainlm – Levenberg-Marquardt*, no qual utilizou 75% dos dados disponíveis para o treinamento e 25% dos dados para a validação dos resultados.

Comparando o desempenho das previsões obtidas por GRNN e por RNA, rapidamente se entende que, as RNA apresentam uma performance relativamente superior principalmente na previsão de grandes períodos, mas sempre associadas a um tempo de

processamento bastante superior, quando comparadas com aquele despendido pelas GRNN. Porém, em curtos períodos (previsão horária) as GRNN demonstram-se ser mais viáveis, principalmente pela redução de tempo considerável quando comparada às RNA.

Bezerra (2017) apresentou em sua dissertação de mestrado uma comparação para a previsão de demanda utilizando redes neurais e séries temporais. Para a previsão com séries temporais, o autor utilizou o software @Risk da Palisade, que trabalha com os seguintes métodos: exponencial, suavização exponencial de Holt Winters, autorregressivo, média móvel, autorregressivo e de média móvel, autorregressivo integrado de média móvel, autorregressivo integrado de média móvel sazonal, autorregressivo para a heteroscedasticidade condicional, autorregressivo para a heteroscedasticidade condicional generalizado.

Já para as redes neurais Bezerra (2017) utilizou uma camada de entrada, duas camadas ocultas e uma camada de saída. A quantidade de neurônios que melhor se adaptou para o conjunto de dados das classes de consumo foram 32 neurônios para a primeira camada oculta, 22 neurônios para a segunda camada oculta e 1 neurônio para a camada de saída. Para realizar o treinamento da rede, foi utilizado o software Matlab 2015.

O autor decidiu dividir os dados analisados em diferentes classes, residencial, comercial e industrial, facilitando assim a organização dos dados e respeitando as especificidades de cada uma. Além disso, desta forma fica mais fácil observar o comportamento individual e realizar as previsões (BEZERRA, 2017).

Bezerra (2017) destaca que foi possível constatar a eficiência das RNA para todas as classes de consumo estudadas. O autor ainda enfatiza que à previsão por classe de consumo, a eficiência e conseqüentemente a confiança na previsão aumentam, visto que a distribuidora pode acompanhar as variações na demanda de cada classe e determinar os volumes de energia que precisam ser negociados.

Cao *et al.* (2017) descrevem em seu artigo a utilização do modelo de redes neurais de regressão quantílica (QRNN) para previsão de demanda na China. Os autores destacam que a vantagem deste método se manifesta em dois aspectos: primeiro, pode-se explorar a verdadeira relação não linear no sistema de demanda de energia através da estrutura da rede neural; e, segundo, pode-se apresentar uma distribuição condicional da demanda de energia por meio da regressão quantílica e fornecer informações mais úteis sobre a incerteza da demanda de energia.

A QRNN foi alimentada com dados de 1978 a 2005 e treinada com dados de 2006 a 2014 para testes. A previsão de consumo concentrou-se entre os anos de 2015 a 2020. Como são necessários dados externos para a previsão de consumo, os autores utilizaram os seguintes parâmetros: taxa de crescimento econômico é de 7%, a taxa de crescimento populacional é de 0,3%, a taxa de industrialização é de 1%, a taxa de urbanização é de 1%; taxa de crescimento de conversão de energia é de 1%, taxa de crescimento da estrutura de energia é de -1%, taxa de crescimento de avanços tecnológicos é de 1%.

Como conclusão, os autores destacam que a previsão de consumo da China pode ser modelada como uma função das variáveis socioeconômicas e sua incerteza pode ser capturada com precisão por meio de previsões de densidade condicional. Os resultados indicam que as demandas de energia estão intimamente relacionadas com o PIB, com a estrutura econômica e com os níveis de industrialização e urbanização, embora não sejam afetados significativamente pela população, eficiência energética e desenvolvimento tecnológico.

Os resultados empíricos mostram também que diferentes fatores são efetivos para diferentes níveis de comprometimento energético e que as magnitudes de alguns efeitos evoluem de acordo com os níveis de energia consumidos (ou quantis correspondentes) (CAO *et al.*, 2017).

Observa-se que as redes neurais tem sido muito utilizadas nas previsões de demanda de consumo a longo prazo e em grandes sistemas elétricos, principalmente por apresentarem um erro pequeno.

Porém, as redes neurais necessitam de muitos dados históricos para serem treinadas, e é com base nestes dados que são realizadas as previsões. Sabe-se que a indústria brasileira apresenta uma sazonalidade muito grande em seus índices de consumo de energia elétrica, modificando-se drasticamente de um período para o outro. Já as séries temporais apresentam uma previsão sem a necessidade de grandes informações históricas para a realização das previsões, e em muitos casos, podem ser utilizadas para análises de pequenos intervalos.

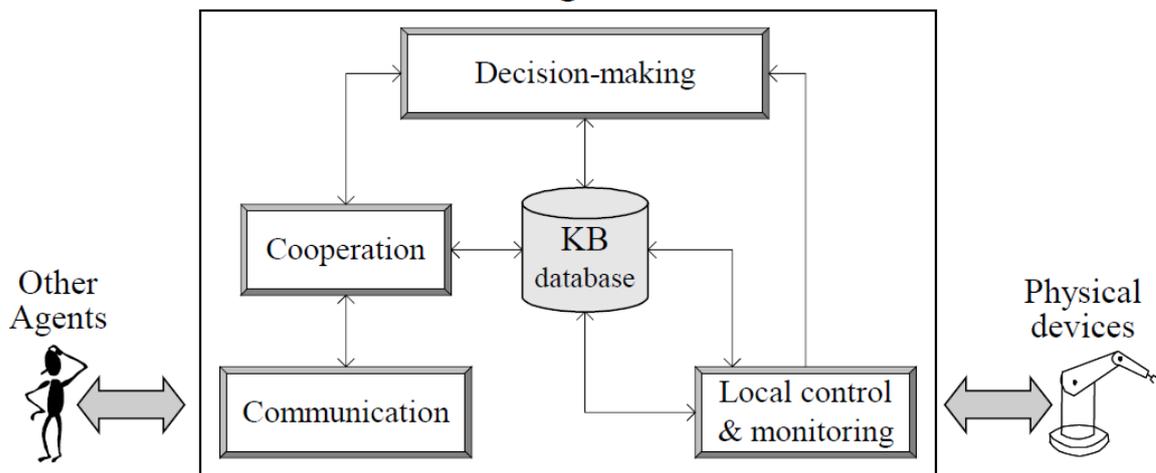
3.2 DIFERENTES ARQUITETURAS DE UM MAS

Analisando as publicações disponíveis, é possível verificar a existência de diferentes arquiteturas com alguns diferentes propósitos. A compreensão destas arquiteturas leva-nos a um novo patamar de entendimento do funcionamento dos agentes.

3.2.1 Arquitetura básica de um agente de manufatura

Leitão e Resistivo (2001) definem a arquitetura básica de um agente de manufatura contendo quatro módulos e um banco de dados, conforme pode ser observado na Figura 11. Este conjunto é responsável por armazenar e manter as informações básicas de um agente.

Figura 11 – Arquitetura genérica de um agente



Fonte: Leitão e Resistivo (2001).

De forma resumida, o conjunto pode ser assim descrito:

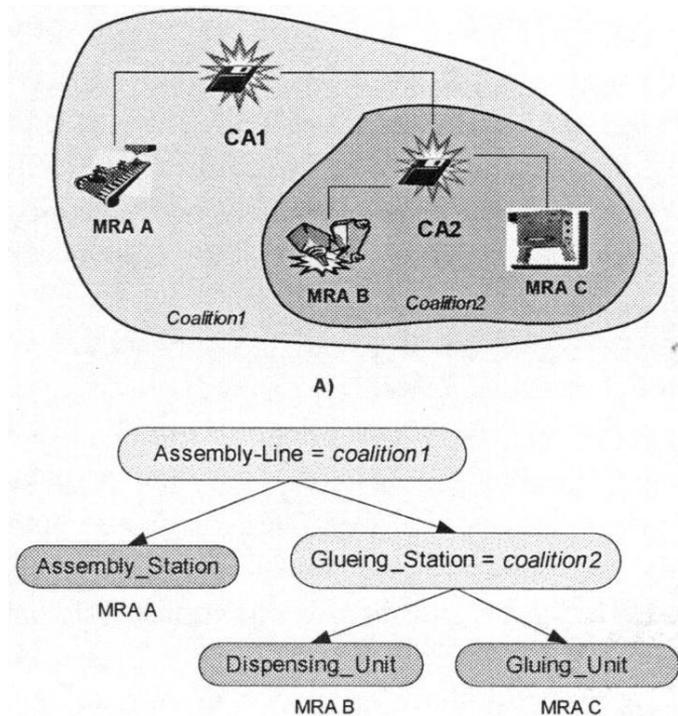
- a) Módulo tomada de decisão: responsável pelas tomadas de decisões, resolução de problemas e atividades que o agente irá desenvolver;
- b) Módulo de cooperação: responsável por gerir as cooperações com os demais módulos, solicitando cooperação, recebendo e enviando informações;
- c) Módulo de comunicação: responsável pela comunicação com os demais agentes, formas, regras;
- d) Módulo de monitoramento e controle local: responsável por monitorar e controlar as ações locais;
- e) Módulo de base do conhecimento - Banco de dados: responsável por armazenar as informações do agente.

3.2.2 Arquitetura *Coalition Based Approach for Shop Floor Agility* (CoBASA)

A arquitetura CoBASA foi uma das primeiras arquiteturas voltadas para a modelagem de sistemas de montagem utilizando-se de módulos orientados a processos, conforme pode-se observar na Figura 12. Esta arquitetura impôs uma reformulação na forma como os sistemas

eram projetados, instalados, operados e reorganizados (BARATA; CAMARINHA-MATOS; ONORI, 2005).

Figura 12 – Arquitetura CoBASA



Fonte: Barata, Camarinha-Matos e Onori (2005).

A CoBASA é uma arquitetura multiagentes inspirada no conceito de organizações colaborativas, onde são associadas habilidades e funcionalidades dos módulos do sistema. Os principais componentes são (BARATA; CAMARINHA-MATOS; ONORI, 2005):

- a) *Mechatronic Resource Agent* (MRA): é um agente de montagem com capacidade de negociação, contratação e manutenção, podendo haver vários destes em um sistema;
- b) *Agent Machine Interface* (AMI): é um agente que controla a interação com o hardware;
- c) *Broker Agent* (BA): é o agente responsável pelas colisões;
- d) *Cluster Manager Agent* (CMgA): é o agente responsável pelo gerenciamento dos demais agentes;
- e) *Coordination Agent* (CA): é o agente responsável por coordenar os demais agentes.

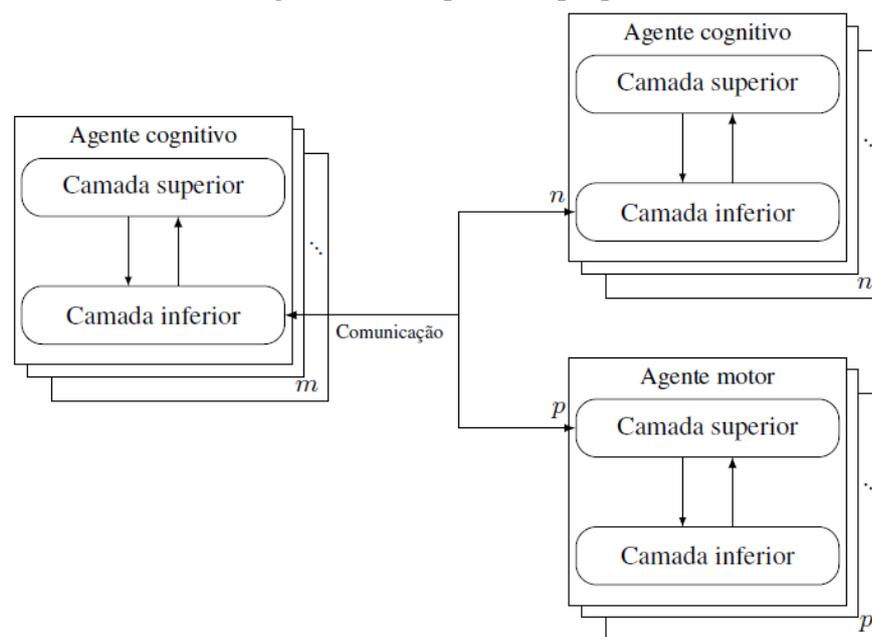
Por fim, Barata, Camarinha-Matos e Onori (2005) enfatizam que para alcançar um sistema verdadeiramente modular e orientado a processo, arquiteturas como essa serão necessárias, além de novas que surgirão.

3.2.3 Arquitetura baseada em agentes e auto-organizável para a manufatura

A personalização dos produtos e a dinamização dos sistemas de automação foram a inspiração para Cavalcante (2012) desenvolver a arquitetura baseada em agentes e auto-organizável para a manufatura. Tendo por base a customização de sistemas, auto-otimização e auto-organização. A arquitetura buscou encontrar uma ordem que seja considerada a melhor, segundo os critérios estabelecidos.

A arquitetura proposta e demonstrada na Figura 13, foi baseada em dois tipos de agentes: o cognitivo e o motor com características reativas e deliberativas. Os agentes reativos tem a capacidade de reagir a mudanças, enquanto os agentes deliberativos tem a capacidade de analisar o meio e de tomar decisão quanto às reações. Um modelo híbrido pode ser a solução para enfatizar as qualidades de cada um.

Figura 13 – Arquitetura proposta



Fonte: Cavalcante (2012).

Como pode-se observar na Figura 13, os agentes são divididos em duas camadas, separando a comunicação da aplicação propriamente dita, o que tende a flexibilizar a criação de código sem penalizar a performance da aplicação. A opção por trabalhar com dois tipos de agentes faz com que o problema seja dividido, as que requerem maior deliberação vão para o cognitivo e as demais (hardware) vão para o motor (CAVALCANTE, 2012).

Os resultados obtidos atenderam as expectativas, principalmente pela troca da codificação de um sistema por configuração que é mais simples e pode ser realizado quando

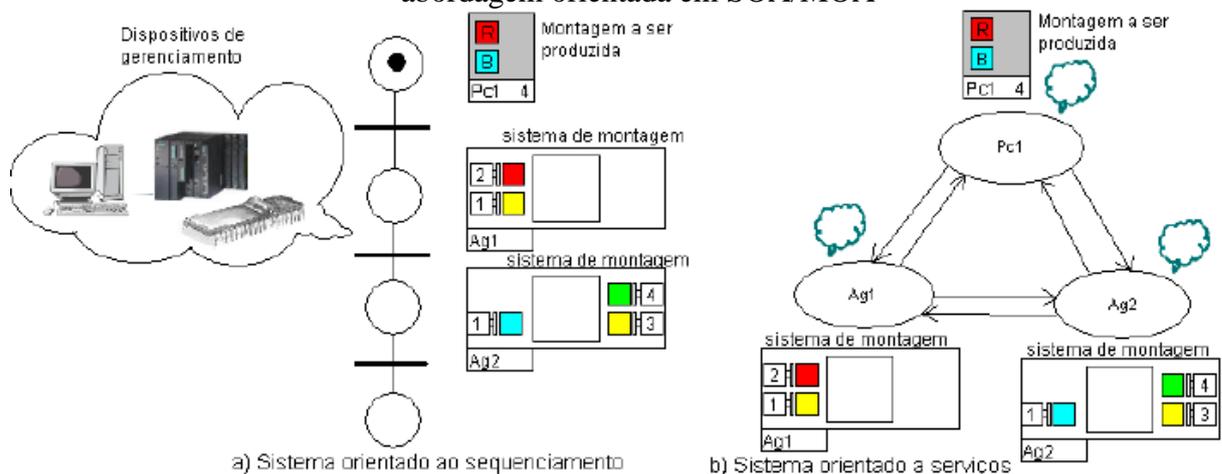
necessário, podendo ser utilizada em duas aplicações distintas em um mesmo ambiente industrial (CAVALCANTE, 2012).

3.2.4 Arquiteturas orientadas a serviços e sistemas multiagentes

As modificações mercadológicas dos últimos anos, tem desafiado as indústrias a procurarem alternativas eficientes para produzirem de formas mais sustentável, adaptável e barata, priorizando o gosto individual de cada um e o uso eficiente de seu parque fabril.

Peixoto (2012), descreve em sua dissertação de mestrado uma arquitetura que faz uso de multiagentes (MOA) para a implementação de um sistema orientado a serviço (SOA), buscando assim implementar e validar esta proposta em um sistema flexível de manufatura.

Figura 14 – Sistema de manufatura na abordagem sequencial e abordagem orientada em SOA/MOA



Fonte: Peixoto (2012).

Peixoto (2012), destaca em sua dissertação que os sistemas operacionais existente na época, não davam suporte a execução do sistema multiagente no chão de fábrica, porque os requisitos de execução por parte de um agente são muito alta. O mais adequado é realizar este tipo de execução em controladores lógicos programáveis (CLP), que tem por característica suportar ambientes fabris.

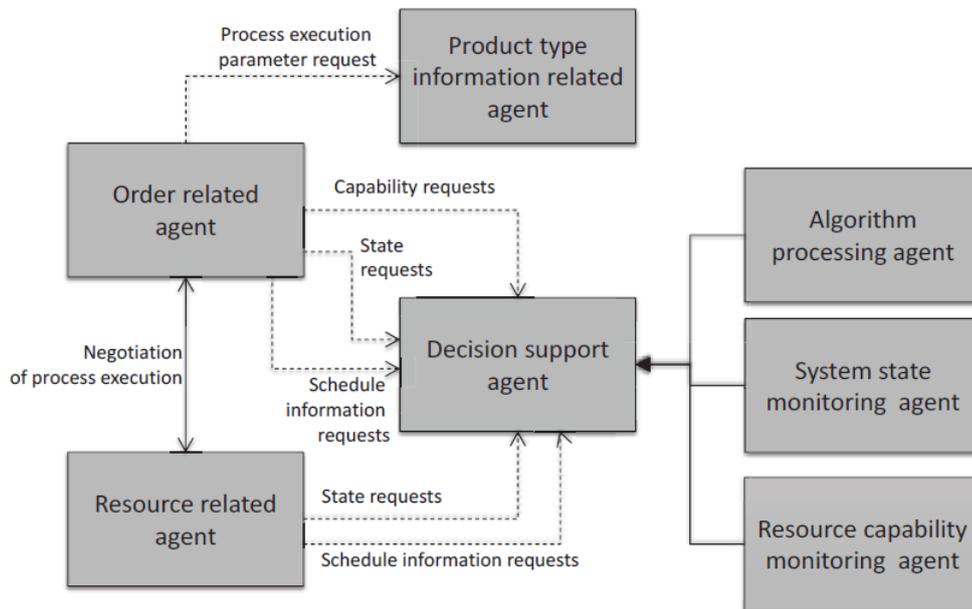
Peixoto (2012) destaca ainda, que apesar das diferenças conceituais entre SOA e MOA, os sistemas podem ser complementares, podendo ser implementados em conjunto para formar um sistema de manufatura. E, conclui que a arquitetura proposta utilizando a integração entre SOA/MOA mostrou-se eficaz, abrindo um caminho para que está arquitetura possa ser implementada em outras áreas e dispositivos de manufatura.

3.2.5 Arquiteturas de controle baseadas em MAS – Revisão para identificação de padrão

Após anos utilizando e estudando sistemas multiagentes, Luder *et al.* (2017) fizeram uma análise das principais arquiteturas baseadas em MAS, com o objetivo de encontrar padrões de design que possam orientar futuras implementações. Através desta análise, foram identificados dois padrões de design.

O primeiro padrão verificou que na maioria dos sistemas de produção os pedidos podem ser agrupados por características de produtos e por características de recursos de produção. Este padrão exige no mínimo a criação de dois tipos de agentes, o agente de pedido e o agente de recurso, que negociarão entre si procurando a melhor solução para a produção. O agente de pedido terá o suporte de outro agente que irá obter informações detalhadas sobre este pedido. Já o agente de recurso terá suporte do agente de decisão, que fará a comunicação entre os dois agentes principais, e será subsidiado por mais três agentes: agente matemático, monitoramento do sistema e monitoramento de capacidade (LUDER *et al.*, 2017). Conforme demonstrado na Figura 15.

Figura 15 – Padrão de design de alocação de recursos

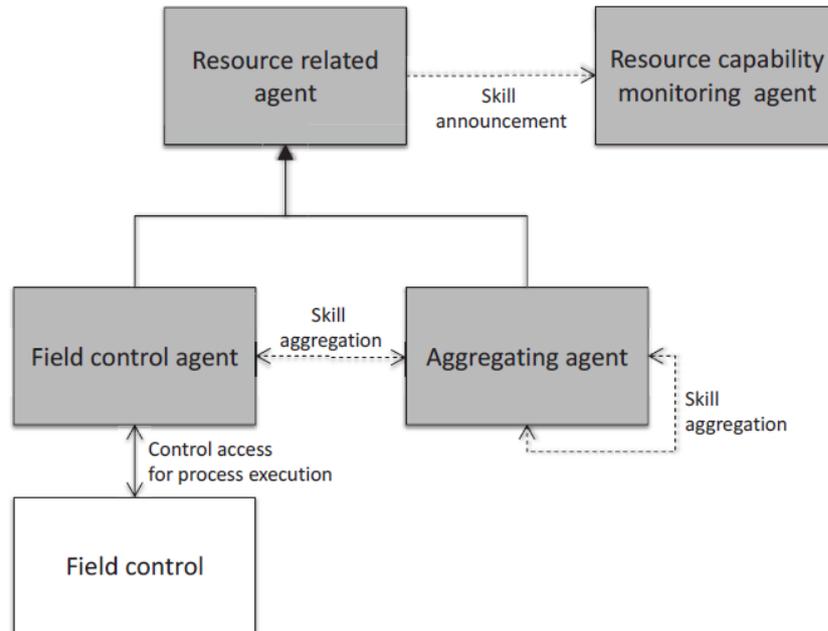


Fonte: Luder *et al.* (2017).

O segundo padrão trata de recursos que são comuns a vários produtos e podem ser controlados em conjuntos, inclusive dinamicamente. Como estes recursos estão alocados mais no nível fabril, eles são muito mais rápidos quando comparados a recursos controlados em nível de gestão. Para isso, precisa-se desassociar os recursos da camada de controle com os da

camada de execução (fabril). Assim, se tem um agente de controle de campo e os agentes agregadores, que não controlam diretamente um equipamento mas são capazes de coordenar habilidades (LUDER *et al.*, 2017). Conforme demonstrado na Figura 16.

Figura 16 – Padrão de design de acesso a recursos



Fonte: Luder *et al.* (2017).

Os autores concluem que esta padronização pode ser utilizada de duas formas, uma na implementação própria de sistemas multiagentes baseada em dados ou para a identificação de padrões adicionais que possam contribuir na solução do problema (LUDER *et al.*, 2017).

3.3 UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS MULTIAGENTES

Os sistemas multiagentes têm sido estudados e implementados de forma experimental em várias atividades diferentes buscando resultados e objetivos que possam justificar a sua utilização. Abaixo são apresentadas algumas destas implementações.

3.3.1 Produção em carga com Smart Grid

A geração distribuída vem demonstrando-se uma importante aliada nos sistemas de eficiência energética, principalmente pelas questões ligadas os processos de geração e ao aproveitamento mais eficiente da energia. O grande desafio dos sistemas distribuídos é tornar o consumo da energia gerada mais eficiente, implementando sistemas de carga e consumo que possam trabalhar com previsão além resiliência e robustez.

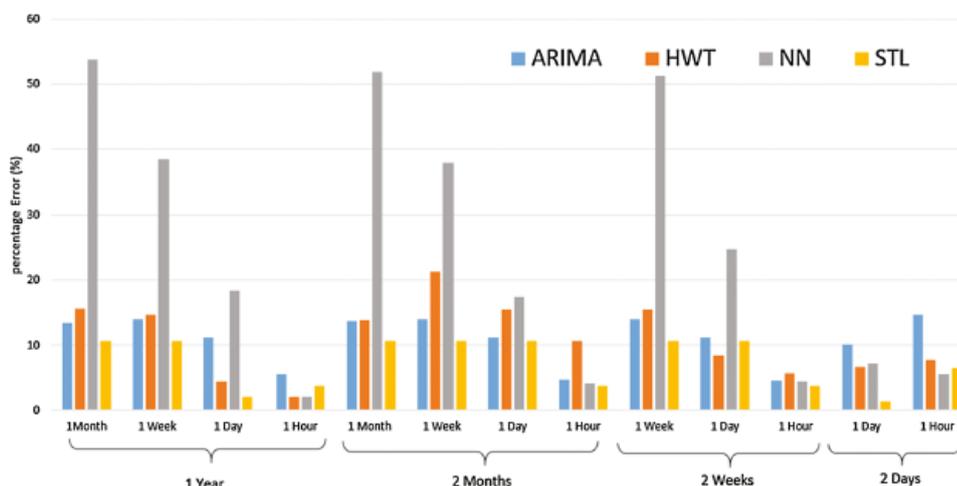
Neste sentido, Ferreira, Leitão e Barata (2017) realizaram um estudo com algumas técnicas de previsão de consumo de energia elétrica para verificar qual técnica seria ideal. Os autores utilizaram multiagentes por fornecerem características importantes como: modularidade, descentralização, flexibilidade, robustez, autonomia e adaptabilidade. Os agentes distribuídos, juntamente com seus recursos de raciocínios, comunicação e inteligência podem ser enriquecidos com capacidades de previsão de demanda e geração.

Foram estudados os algoritmos: *Auto-Regressive Integrated Moving Average* (ARIMA), em português Modelos de Séries Temporais Lineares; *Artificial Neural Networks* (ANN), em português Redes Neurais Artificiais; *Seasonal Decomposition of Time Series by Loess* (STL), em português Decomposição Sazonal de Séries Temporais de Loess; e *Triple Exponential Smoothing* (HWT), em português Suavização Exponencial Tripla. Sendo que estes quatro algoritmos foram escolhidos, porque estão entre os mais utilizados para *Very Short-Term Load Forecasting* (VSTLF), em português Previsão de Carga a Muito Curto Prazo e *Short-Term Load Forecasting* (STLF), em português Previsão de Carga a Curto Prazo. Cada um desses métodos foi usado através das bibliotecas existentes da plataforma R e executado na mesma máquina sobre certas condições quanto ao tamanho dos dados históricos e horizontes de previsão (FERREIRA; LEITÃO; BARATA, 2017).

O cenário estudado pelos autores foi uma residência de 4 pessoas com eletrodomésticos comuns a uma residência de médio padrão e com um *microgrid* alimentado por painéis solares.

Os resultados expressos no Gráfico 4, demonstraram que nenhum modelo é o ideal, cada um tem suas características e resultados. Porém, método de previsão STL proporcionaria uma melhor precisão geral, bem como um cálculo mais rápido.

Gráfico 4 – Resultados das comparações



Fonte: Ferreira, Leitão e Barata (2017).

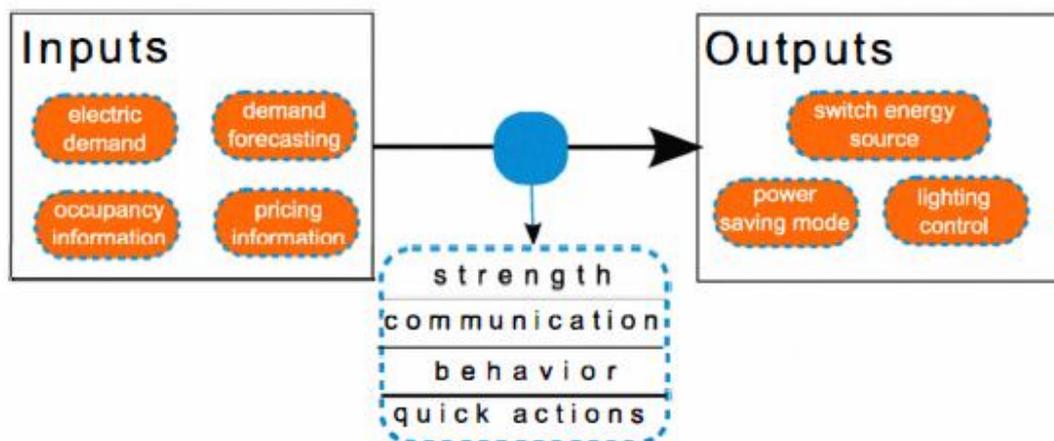
3.3.2 Multiagentes para edifícios comerciais

Simões e Bhattarai (2011) discutiram o uso de multiagentes para o controle de vários sistemas de um edifício comercial com o objetivo de alcançar a máxima eficiência energética, mantendo o conforto e com possibilidade de inserção num sistema de *smart grid*.

O sistema apresentado era capaz de receber várias informações, como por exemplo: temperatura, umidade, luminosidade, carga elétrica consumida, carga elétrica armazenada e geração instantânea de energia.

Os testes foram realizados num edifício onde o objetivo foi o controle térmico. Foram definidos alguns parâmetros iniciais, objetivos a serem atingidos, estados e ações a serem tomadas, conforme pode-se observar na Figura 17.

Figura 17 – Agente elétrico



Fonte: Simões e Bhattarai (2011).

Enquanto a Figura 18 demonstra os estados e ações que podem ocorrer.

Figura 18 – Estado do sistema e ações

State	Description
1	Ideal Temperature
2	Too Cold
3	Too Hot
4	Intermediate
Actions	Description
1	Decrease Temperature
2	Increase Temperature
3	Do Nothing

Fonte: Simões e Bhattarai (2011).

Para a realização dos testes, foram utilizados alguns parâmetros fundamentais, como exemplo um erro máximo e fator de desconto (parâmetro que define a depreciação do agente a

cada movimento). Durante os testes foi observado que o sistema aumenta o número de interações entre os estados conforme o fator de desconto é aumentado, depreciando menos o agente. Assim, conforme a depreciação diminui o número de interações aumenta (SIMÕES; BHATTARAI, 2011).

Para atingir o objetivo geral de controlar o consumo de energia, será necessária a implementação “*on line*”, onde os parâmetros serão constantemente monitoradas e a implementação dos demais controles elétrico, de sensoriamento e comunicação.

Simões e Bhattarai (2011) concluíram que o sistema atingiu os objetivos propostos, porém, pretendem implementar todo o sistema com o objetivo de obter melhores resultados. Quanto à ideia de utilizarem-se sistemas multiagentes na eficiência energética, é destacado que no futuro deverá se ter mais equipamentos que suportem a tecnologia de multiagentes e ambientes de simulação que possam proporcionar uma maior interação.

Por fim, Simões e Bhattarai (2011) apresentam uma solução promissora e plausível do ponto de vista técnico e econômico, com algumas barreiras a serem ultrapassadas, as quais pode-se destacar: implementação completa do sistema, geração, sensoriamento, controle de consumo e suporte a diferentes situações.

3.3.3 Sistema de gerenciamento de energia utilizando multiagentes

Zhao, Suryanarayanan e Simões (2013) propuseram em seu artigo a criação de um sistema semi-centralizado com o auxílio de MAS para a tomada de decisões e a melhora da eficiência energética em edifícios.

A proposta dos autores foi dividir o edifício em três zonas diferentes, sendo elas: zona elétrica, zona de aquecimento e zona de resfriamento. A zona elétrica é composta por sistemas de geração de energia (fotovoltaica e térmica) auxiliados por sistemas de armazenamento (baterias). A zona de aquecimento utiliza-se da energia solar para aquecer a água, sendo auxiliado por um sistema movido a gás. Já a zona de resfriamento utiliza-se de ar-condicionado central com auxílio de chillers. A Figura 20 demonstra esta organização.

Para cada zona foi criado um agente que tem por objetivo identificar a conservação de energia, armazenamento e consumo de energia. Respectivamente os agentes são chamados de: *E-agent* de eletricidade, *H-agent* para aquecimento e *C-agent* para resfriamento, conforme a Figura 19. Para um perfeito funcionamento há a previsão de comunicação entre eles (ZHAO; SURYANARAYANAN; SIMÕES, 2013).

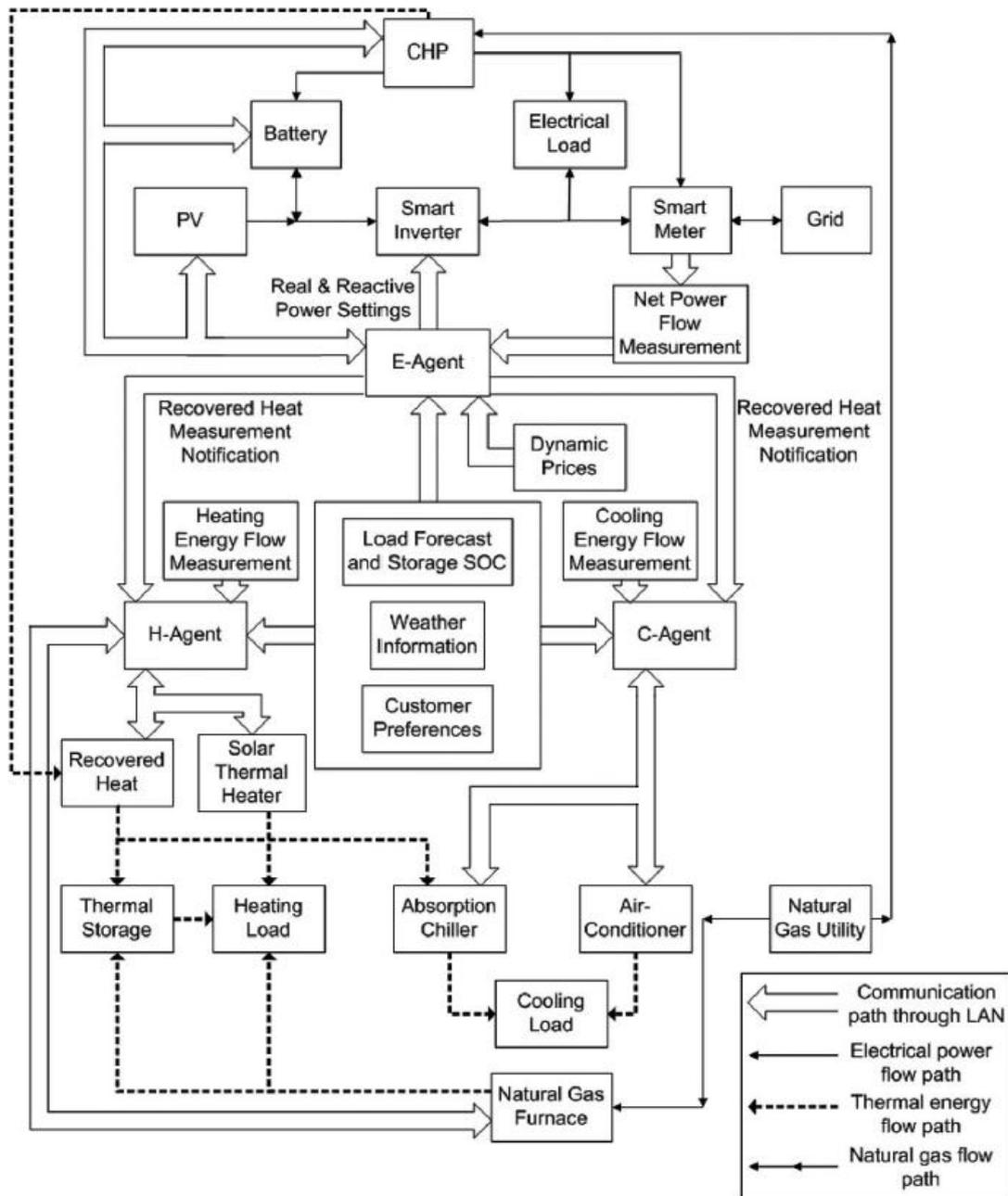


Figura 19 – Esquema de organização estrutural de análise

Fonte: Zhao, Suryanarayanan e Simões (2013).

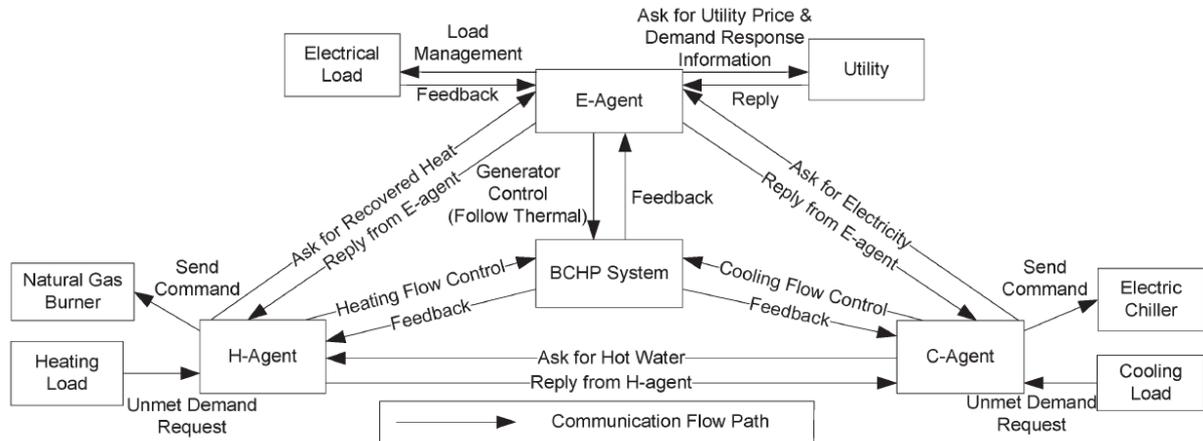
Segundo os autores, existe muita perda nos sistemas em virtude da utilização das diferentes zonas. Quando há uma geração maior de energia, o consumo é menor.

Quando o consumo aumenta, não há geração própria, e desta forma o sistema torna-se pouco eficiente.

Para a análise e simulação da situação proposta, Zhao, Suryanarayanan e Simões (2013) utilizaram o software Energy Plus, que analisa e simula a energia utilizada por um

edifício, podendo ser inseridos dados de aquecimento, resfriamento e consumo com base na descrição do edifício e sistema de energia. A Figura 20 demonstra o sistema adotado.

Figura 20 – Esquema de organização estrutural de análise



Fonte: Zhao, Suryanarayanan e Simões (2013).

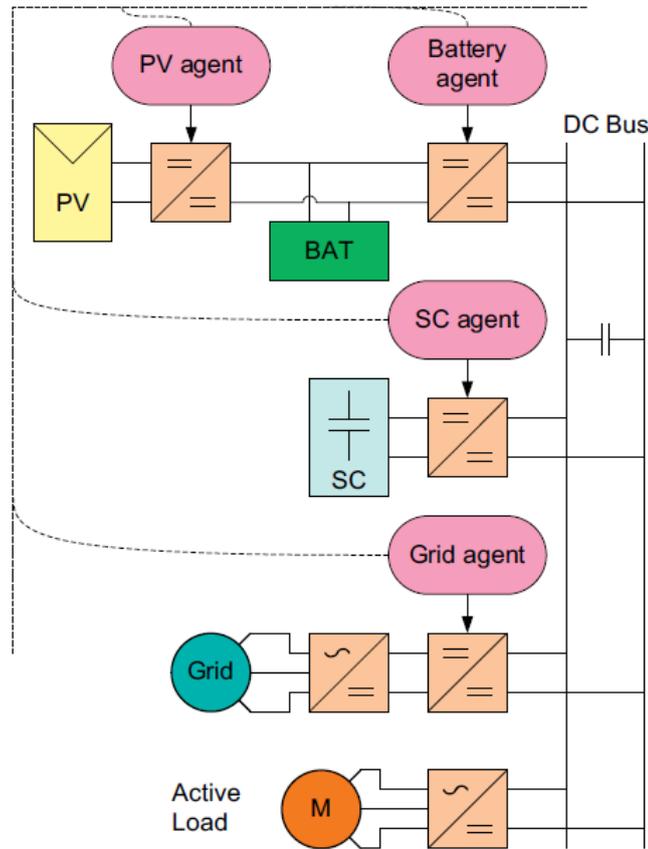
O sistema proposto fez a efficientização deste processo, aquecendo a água em momentos onde a geração de energia própria e resfriando outra água. Nos momentos onde não havia geração de energia e havia a necessidade de água gelada e quente, isso já havia sido feita, bastando apenas a conservação. Desta forma, foram percebidos significativos resultados na redução do consumo energético.

3.3.4 Sistemas multiagentes para o gerenciamento de fontes de geração de energia distribuídas

A forma mais comum de implementação de sistemas de geração de energia distribuída é a *Top-Down*, onde um sistema centraliza todas as informações vindas dos sistemas distribuídos e toma as decisões. É importante observar que apenas um sistema é responsável por gerir toda a geração, o que pode tornar o sistema ineficiente ou até mesmo inoperante.

Lagorse, Paire e Miraoui (2010) sugerem um sistema multiagentes como forma de melhorar a gestão da produção e armazenamento de energia. Cada sistema de geração e armazenamento é um sistema multiagentes que pode tomar decisões e controles, especialmente nas questões de tensão e corrente. Além disso, cada agente requer duas entradas, o tipo de controle (tensão ou corrente) e a referencia atual do barramento (tensão ou corrente). Com estas informações, o agente realiza o controle do sistema. Na Figura 21 pode-se observar esta estrutura.

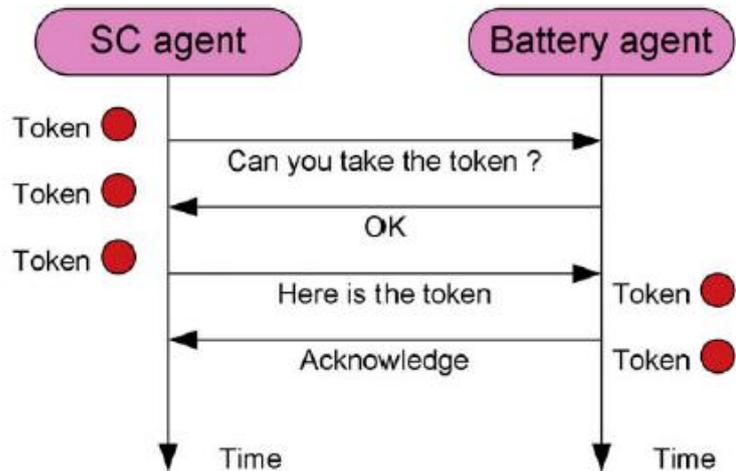
Figura 21 – Estrutura de controle do MAS



Fonte: Lagorse, Paire e Miraoui (2010).

Conforme Lagorse, Paire e Miraoui (2010), para permitir a comunicação é estabelecido um barramento de comunicação, que interliga todos os agentes. Neste tipo de comunicação é utilizada a passagem de *token* como forma de organização. O agente que está com o *token* é o responsável por controlar a tensão ou corrente e, quando terminado a sua interação, passar o *token* adiante, conforme observa-se na Figura 22.

Figura 22 – Comunicação entre agentes com passagem de *token*



Fonte: Lagorse, Paire e Miraoui (2010).

A solução apresentada pelos autores aborda uma série de problemas, incluindo tolerância a falhas e simplicidade no design do EMS. Outro ponto interessante é o fato do sistema ser mais confiável graças ao diálogo e cooperação estabelecido entre os agentes. A abordagem de baixo para cima simplifica o design e detalha os problemas de cada elemento, podendo o designer concentrar-se na gestão de um único elemento e não em todo o problema (LAGORSE; PAIRE; MIRAOU, 2010).

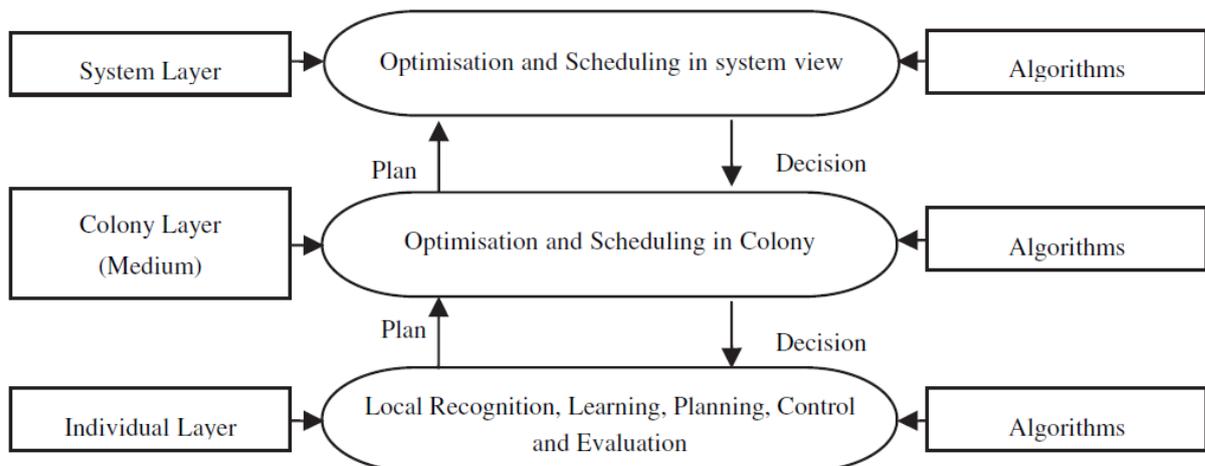
3.3.5 Multiagentes para controle de geração de energia renovável

A necessidade de novos sistemas de geração de energia elétrica, em especial geração de energia a partir de fontes renováveis, vem ocasionando problemas de controle de geração, principalmente, pelo grande número de geradores. Assim, é necessária a implementação de formas de controle que possibilitem a geração distribuída e que esta possa fazer parte do grande sistema.

Jun *et al.* (2010) propõem a criação de Sistemas de Gerenciamento de Energia (SEM) que possam otimizar as decisões e realizar reconfigurações do sistemas conforme as necessidades. Este sistema pode trocar informações a respeito da demanda de carga, tempo e geração além de informações recebidas da rede elétrica geral. Para atender estas demandas, foram criados dois algoritmos diferentes com funções de reorganização e otimização.

Os agentes são construídos em três camadas, agente individual, camada colonia e camada de sistema, conforme a Figura 23.

Figura 23 – Camadas de comunicação dos agentes



Fonte: Jun *et al.* (2010).

A informação é transferida da camada mais baixa para a mais alta integrando todo o sistema. As decisões globais são tomadas e transferidas aos agentes que tomam as decisões

locais. Conforme as situações vão ocorrendo, pode haver uma reorganização de todo o sistema como forma de aproveitar melhor os recursos naturais disponíveis (JUN *et al.*, 2010).

Os resultados obtidos através da solução apresentada demonstram ser um sistema adequado que maximiza os resultados e os recursos disponíveis.

3.4 SISTEMAS MULTIAGENTES PARA ENGENHARIA DE ENERGIA

A IEEE *Power Engineering Society* através do Grupo de Trabalho Multiagentes Systems (MAS) desenvolveu um artigo com o objetivo de examinar o valor potencial da tecnologia MAS para a indústria de energia. Em termos de contribuição, este artigo descreve conceitos e abordagens fundamentais no campo dos sistemas multiagentes que são apropriados para aplicações na engenharia de energia (MCARTHUR *et al.*, 2007b).

Porém, apesar de uma crescente conscientização sobre a tecnologia, algumas questões fundamentais geralmente surgem quando são discutidos os MAS e seu papel na engenharia de energia.

3.4.1 Modelagem

A representação natural do MAS é Orientados a Objetos (OO), onde entidades em um sistema são modeladas como objetos. O principal benefício da abordagem do objeto é o encapsulamento de dados: as estruturas de dados particulares usadas para armazenar atributos de um objeto estão ocultas de objetos externos, mas são indiretamente acessíveis através de chamadas de método e interfaces padrão.

Porém, quando se trabalha com agentes, adiciona-se outro nível de abstração para isso: não apenas as estruturas internas de dados são ocultas, mas os "métodos" (ações) que um agente pode executar também são ocultos, mas indiretamente acessíveis através de interfaces de mensagens padrão.

3.4.2 Aplicação do MAS na engenharia de energia

Foi realizada uma pesquisa em artigos e publicações que tratam da aplicação do MAS. Com base nisso, os sistemas multiagentes devem ser considerados para aplicações que tenham uma ou mais das seguintes características:

- a) interação entre entidades distintas, como diferentes subsistemas de controle e itens de plantas;
- b) um número muito grande de entidades deve interagir, onde seria impossível modelar explicitamente o comportamento geral do sistema;
- c) há dados/informações suficientes disponíveis localmente para realizar uma análise/decisão sem a necessidade de comunicação com um ponto central;
- d) novas funções precisam ser implementadas dentro de itens de plantas existentes e sistemas de controle;
- e) ao longo do tempo, existe um requisito para que a funcionalidade seja continuamente adicionada ou ampliada.

Com a implementação da tecnologia MAS, alguns benefícios são esperados, como:

- a) monitoramento e diagnóstico: o monitoramento de condições de equipamentos e itens de plantas oferece uma série de desafios: recolha de dados de uma variedade de sensores; interpretar os dados para extrair informações significativas; combinando evidências e informações de diferentes algoritmos de interpretação para gerar uma conclusão diagnóstica geral; entrega das informações de diagnóstico no formato correto para engenheiros relevantes; e alteração automática do sistema de energia e as configurações da planta com base na condição da planta;
- b) diagnóstico pós-falha do sistema de energia: a tecnologia do sistema multiagentes pode ser usada para integrar ferramentas de análise de dados já utilizadas para aprimorar o suporte de diagnóstico, dando uma visão holística do desempenho de sistemas de energia com base em uma variedade de fontes de dados;
- c) controle distribuído: com a introdução da geração de energia distribuída, controle de carga, operações de mercado, crescente complexidade na rede de distribuição e um maior número de interconexões, a operação de um sistema de energia moderno é extremamente complexa. Os sistemas MAS fornecem uma tecnologia para controlar de forma flexível os sistemas de energia modernos. Vários pesquisadores estão considerando abordagens baseadas em agentes como uma alternativa ao gerenciamento e controle centralizado do sistema de energia;

- d) modelagem e simulação: normalmente o comportamento geral do sistema é muito complexo, várias operações são muito complicadas para modelar e simular utilizando métodos tradicionais. Para facilitar a modelagem e simulação, vários MAS modelam fornecedores, corretores, geradores e clientes, conseguindo assim uma modelagem e simulação rápida e precisa;
- e) proteção: os pesquisadores estão investigando a tecnologia MAS como forma de desenvolver novos esquemas de proteção que são tolerantes a falhas e auto coordenados.

Nas redes de distribuição de energia elétrica também se pode utilizar os MAS, porém há necessidade de implementar novos sistemas de gerenciamento para dar suporte as novas aplicações, como por exemplo: levar em considerações os sistemas distribuídos de geração, controles de tensão e corrente bem como de frequência, interações com outras entidades existentes no sistema e a segurança das informações (KIRAN; CHANDRAKALA; NAMBIAR, 2017).

3.4.3 Aplicações de sistemas multiagentes em problemas de otimização de energia

Briones *et al.* (2018), demonstram em seu artigo que um problema de otimização consiste em encontrar a melhor solução, de acordo com uma série de critérios, dentro de um conjunto de soluções possíveis. Para isso, os autores utilizaram sistemas multiagentes e subsidiaram-se em outros artigos publicados recentemente.

Inicialmente realizaram uma revisão da aplicação de sistemas multiagentes nas três principais áreas de otimização de energia: resposta à demanda, simulação de comportamento humano e gerenciamento de redes de sensores sem fio para tomada de decisão de otimização. Embora possam parecer três áreas completamente independentes, os MAS são perfeitamente adequados para o desenvolvimento de soluções em cada uma delas, devido à capacidade de se comunicar, cooperar e se adaptar ao ambiente dos agentes.

Com base nos estudos realizados, os autores propuseram a utilização de tecnologias com o objetivo de proporcionar ao usuário um menor consumo de energia sem sacrificar o conforto, tudo de forma não invasiva. O sistema deve se concentrar em três aspectos: (I) conhecimento e aprendizado; (II) análise, adaptação e comunicação com o meio ambiente; e (III) tomada de decisão.

Os autores enfatizam que é muito importante decompor o problema em subproblemas. No caso, esses subproblemas são os indicados anteriormente: conhecimento e aprendizado, análise, adaptação e comunicação com o ambiente e tomada de decisão, para as quais foram criadas cinco estruturas organizacionais, denominadas camadas. Cada uma dessas camadas são formadas por diferentes agentes.

Camada de simulação: Camada que permite simular o comportamento do sistema. Essa camada permite estabelecer os termos segundo os quais a otimização de energia será realizada, usando o agente otimização de energia/conforto, onde priorizamos a otimização de energia ou o conforto do usuário. O Agente de Contexto coleta as características do ambiente em que o sistema foi implantado. O agente PCA nos permite definir uma série de parâmetros nos quais o sistema baseará suas decisões de otimização, e esse agente obtém os parâmetros que mais influenciam para melhorar os resultados. Essa camada possui agentes que implementam técnicas de IA como o agente que implementa um sistema de raciocínio baseado em casos.

Gerenciar camada de fluxo de trabalho: esse agente é responsável por coordenar o restante dos agentes que compõem o sistema, estabelecendo a comunicação entre diferentes partes para permitir a ordem correta da atividade de cada agente. A inclusão desse agente responde à necessidade de automatizar ações que respondem a eventos frequentes.

Camada de aquisição de dados dos sensores da rede sem fio: essa camada é responsável pela coleta de dados do ambiente. Os agentes dessa camada obtém dados externos de temperatura exterior ou interior e presença. O *Data Acquisition Agent* permite definir a frequência da coleta de dados e estabelecer comunicação com os sensores por meio de um middleware.

Camada de informações de conhecimento: essa camada que possui o conhecimento necessário para modelar as atividades de otimização. Essa camada obtém dados da *WSN Data Acquisition Layer*, em relação à temperatura e presença, mas, nessa camada, são obtidos valores sobre o calendário de trabalho (permite identificar um padrão no comportamento do usuário). O Agente de Análise de Comportamento do Usuário analisa os padrões de comportamento dos usuários, estabelecendo um cronograma para cada pessoa (hora da partida do prédio, hora da entrada, períodos de permanência).

Camada de ação: essa camada toma decisões com base nas informações recebidas das outras camadas. É formado pelos agentes que configuram o sistema HVAC (aquecimento ou resfriamento), iluminação (ignição, desligamento ou atenuação da luz) e agente

configurador de aparelhos (ignição ou desligamento de aparelhos) e configuração do modo de consumo (dos aparelhos que possuem isto).

O experimento realizado pelos autores consistiu em duas fases. Na primeira fase, chamada período de linha de base, o MAS proposto monitorou o consumo elétrico, aprendeu os horários de cada pessoa em casa e registrou a temperatura externa, temperatura interna e iluminação na habitação de cada dia para gerar os casos utilizados. A segunda fase, denominada período de simulação, consistiu em recriar as condições do mês do período da linha de base para avaliar a eficiência do MAS da proposta. Na segunda fase, as condições da primeira fase foram recriadas para que o sistema, nas mesmas condições.

Desta forma verificou-se a eficácia do sistema por simulação do estudo de caso, quando obteve-se um consumo de 26,19 Wh. Recriando as mesmas condições climáticas e comportamento do usuário (mesma entrada, saída e tempo de residência), foram realizadas quatro simulações, nas quais o MAS alcançou uma taxa máxima de economia de 20,58% na quarta simulação, referente ao consumo do período de referência (26,19 Wh).

3.4.3 Eficiência energética em sistemas de manufatura discreto

Cannata, Karnouskos e Taisch (2009), apresentam um procedimento para a análise de energia e de processos de produção, destinados a apoiar efetivamente a análise, gerenciamento e controle de fabricação discreta, com um sistema de eficiência energética e / ou ambiental.

Com o foco no domínio discreto de fabricação, os autores fazem duas premissas: tornar sistemas e seus componentes como entidades que podem apresentar diferentes estados discretos (por exemplo, ocioso, operacional, fase de configuração, etc.) e identificar e avaliar cada estado (por exemplo, ocioso, funcionando etc.) em termos de sua contribuição para a produção final.

O foco dos autores está especificamente no controle e gerenciamento da operação dos sistemas de manufatura. Seis etapas principais foram identificadas: definição objetiva, identificação, certificação, avaliação, medição de energia / emissões, análise, reação.

Ainda hoje, existe uma lacuna de integração entre TI de negócios e o nível de controle de sistemas e produção. Atualmente, essa lacuna é preenchida através de soluções proprietárias rígidas ou através de intervenção humana (compilação de planilhas, etc.). Para controlar e gerenciar a integração

Entre a camada de produção e de negócios, são necessárias abordagens de software baseadas no paradigma SOA. Com essa infraestrutura, a produção torna-se sensível ao controle, reengenharia contínua de processos de negócios e rapidez na reconfiguração das linhas de produção. Do ponto de vista da eficiência energética, uma arquitetura de camada pode aumentar a eficiência energética devido ao aumento do monitoramento quase em tempo real.

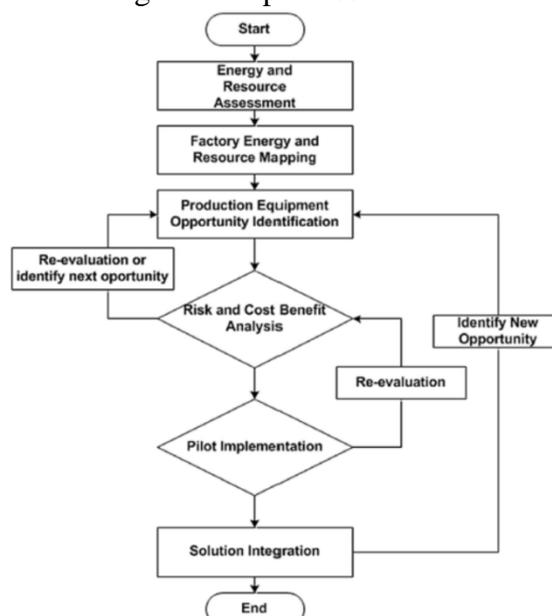
Além disso, a adoção de uma infraestrutura de várias camadas permite decisões de controle de produção com base em informações de tempo real sobre o estado dos sistemas de produção ou sobre o ambiente contextual. Isso pode ser usado para reduzir a energia consumida.

Os autores concluíram que as fábricas do futuro será altamente acoplada a infraestrutura de TIC, abrindo novas possibilidades de eficiência energética em nível da planta, ou nível de máquina.

3.5 ECONOMIA DE ENERGIA EM ATIVIDADES DE FABRICAÇÃO

Aughney e O'donnell (2015) destacam a necessidade de controle no consumo da energia elétrica como forma de garantir o abastecimento e a redução nos custos de produção. Como forma de resolver este problema, os autores propuseram uma estrutura de ações em eficiência energética dentro de uma instalação fabril. A Figura 24 apresenta o fluxograma do processo:

Figura 24 – Fluxograma do processo e eficiência energética



Fonte: Aughney e O'donnell (2015).

Como forma de entendimento serão descritas as etapas:

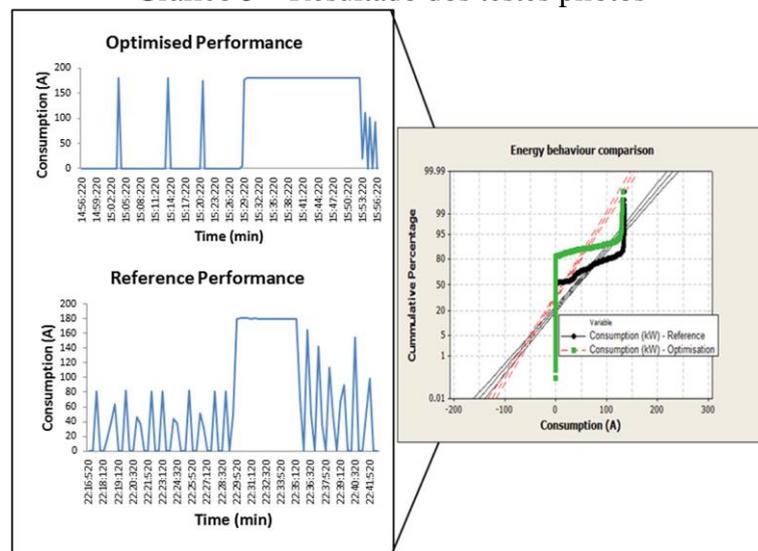
- a) avaliação de energia e recursos (*energy and resource assessment*): o objetivo desta fase é identificar e classificar as formas de consumo de energia na indústria;
- b) mapeamento de energia e recursos de fábrica (*factory energy and resource mapping*): O objetivo desta fase é entender o comportamento do consumo energético e do processo produtivo de pontos específicos da indústria;
- c) identificação de oportunidades de equipamento de produção (*production equipment opportunity identification*): a fim de facilitar o aprofundamento da compreensão sobre como a energia é consumida, os mapas de energia do equipamento com componentes principais ou módulos identificados são desenvolvidos;
- d) análise de risco e de custo-benefício (*risk and cost benefit analysis*): esta fase se concentra em identificar a capacidade de produção do equipamento, procurando relacionar a produção e o consumo energético;
- e) implementação piloto (*pilot implementation*): a implementação do projeto piloto torna-se necessária para a identificação dos impactos potenciais provenientes da mudança realizadas no consumo da energia;
- f) integração de fábrica (*factory integration*): como forma de integração da solução, podem ser utilizadas três formas distintas: solução automatizada, semi-automatizado e manual;

Como caso de estudo, os autores utilizaram uma fábrica de medicamentos onde são operadas cinco linhas de produção em fabricação contínua. Nesta empresa já há uma cultura de melhoria contínua e de melhor aproveitamento dos recursos. Abaixo são descritos os resultados obtidos:

- a) avaliação de energia e recursos (*energy and resource assessment*): os autores fizeram mapas do consumo do sistema de produção através de medições manuais e medições autônomas;
- b) mapeamento de energia e recursos de fábrica (*factory energy and resource mapping*): dentro do sistema de produção, o maior consumidor de energia está relacionado diretamente aos estados de fabricação;
- c) identificação da oportunidade de equipamento de produção (*production equipment opportunity identification*): a ferramenta de *autoclave* é um processo

- constante e necessário no processo, no qual pode-se destacar o fato de não haver troca de calor interno/externo;
- d) análise de risco e custo benefício (*risk and cost benefit analysis*): neste item foram analisadas as métricas do *autoclave*;
- e) implementação piloto e integração de fábrica (*pilot implementation & factory integration*): o teste piloto foi concluído utilizando-se a energia ociosa, confirmando uma redução de 51% no consumo.

Gráfico 5 – Resultado dos testes pilotos



Fonte: Aughney e O'donnell (2015).

A estrutura proposta e implementada por Aughney e O'donnell (2015) identificou equipamentos que possibilitaram uma otimização e experimentação de resultados, além de permitir uma compreensão do consumo energético nos diferentes estágios da fabricação. Como benefícios para a indústria, os autores tiveram uma compreensão aprimorada do consumo energético e do processo produtivo, demonstrando que é possível diminuir o consumo energético sem modificar os índices produtivos. Os resultados podem ser observados no Gráfico 5.

3.6 ANÁLISE DOS MÉTODOS PESQUISADOS

É observado que existem muitos trabalhos tratando de sistemas multiagentes, de eficiência energética com o uso de sistemas multiagentes e outros tantos que tratam de previsões no setor elétrico (Tabela 3).

Porém, não foi localizado nenhum trabalho que trate de uma arquitetura que utiliza sistemas multiagentes para o controle da não ultrapassagem da demanda contratada, tendo por

base uma previsão de consumo observado passado. Também não localizamos nenhum trabalho que trata da adaptabilidade do sistemas na escolha de equipamentos que possam ser desligados/religados conforme as condições gerais de consumo e oferta.

Assim sendo, este trabalho procura abordar uma lacuna existente, como forma de provocar discussões e avanços científicos que possam contribuir no desenvolvimento de novas arquiteturas e tecnologias.

A Tabela 3 apresenta o comparativo entre os artigos estudados e os principais assuntos abordados, que são as premissas desta dissertação.

Tabela 3 – Comparativo entre os trabalhos estudados

Trabalho	Previsões no setor elétrico	Multiagentes	Eficiência energética	Multiagentes adaptativos
Gontijo <i>et al.</i> (2017)	*			
Vieria (2016)	*			
Gomes (2017)	*			
Paulos (2017)	*			
Bezerra (2017)	*			
Cao <i>et al.</i> (2017)	*			
Leitão e Resistivo (2001)		*		
Barata, Camarinha-Matos e Onori (2005)		*		
Cavalcante (2012)		*		
Peixoto (2012)		*		*
Luder <i>et al.</i> (2017)		*		*
Ferreira, Leitão e Barata (2017)	*	*		
Simões e Bhattarai (2011)		*	*	
Zhao, Suryanarayanan, Simões (2013)		*	*	
Lagorse, Paire e Miraoui (2010)		*	*	
Jun <i>et al.</i> (2010)		*	*	
McArthur <i>et al.</i> (2007)		*	*	
Kiran; Chandrakala; Nambiar (2017)		*	*	
Briones et al. (2018)		*	*	*
Aughney e O'donnell (2015)			*	

4 PROPOSTA DE ARQUITETURA DE GESTÃO DO CONSUMO DE ENERGIA

O consumo de energia elétrica tem demandado especial atenção pelas empresas, principalmente pelo alto custo e pela possível escassez. Diminuir o consumo de energia elétrica é um dos pontos centrais quando se busca a eficiência energética, principalmente no momento atual, onde aspectos ambientais, sociais e econômicos, afloram em discursões e tomadas de decisão por parte dos consumidores.

A proposta a ser apresentada baseia-se nestas premissas, buscando contribuir no controle do consumo de energia elétrica por parte da indústria, possibilitando assim a redução de custos e o atendimento de anseios ligados às questões ambientais, sociais e econômicas.

A arquitetura proposta baseia-se principalmente na utilização de sistemas multiagentes através das características de autonomia, habilidade social, reatividade e pró-atividade, além de utilizar-se também de sistemas de previsão de demanda elétrica e sistemas de controle da produção.

4.1 PROPOSTA CONCEITUAL

Os sistemas existentes para o gerenciamento do consumo de energia elétrica tem por característica serem inflexíveis, previsíveis e muitas vezes dependentes da intervenção humana, ou seja, necessitam de interação para comandar e ditar as regras promovendo a redução do consumo. Esta intervenção humana resulta em vários problemas, como por exemplo: erros de interpretação, demora na tomada de decisões, decisões erradas e até mesmo intervenções que podem aumentar o consumo.

Desta forma, está sendo proposta uma arquitetura baseada em sistemas multiagentes capaz de prever o aumento do consumo e a aproximação da demanda contratada, tomando assim decisões de desligamento de equipamentos para promover a redução do consumo de energia elétrica.

Inicialmente a proposta pode ser especificada em seis etapas, descritas a seguir.

4.1.1 Etapa de identificação dos equipamentos que irão participar da arquitetura

Nesta etapa identifica-se no ambiente os equipamentos que dispõem de características para funcionar num ambiente autônomo.

4.1.2 Etapa de verificação da possibilidade dos equipamentos identificados na etapa anterior, serem desligados a qualquer tempo ou terem o seu *setpoint* modificado

Para que a arquitetura possa ser implementada, é necessário que os equipamentos possam ser desligados e religados a qualquer tempo ou terem o seu *setpoint* modificado, mesmo que participem do processo fabril. Porém, alguns cuidados devem ser tomados, como por exemplo: equipamentos essenciais ao processo fabril não podem participar deste grupo, equipamentos que fazem parte dos sistemas de prevenção e emergência não podem compor o grupo e equipamentos que demandam muito tempo para o seu religamento também devem ser evitados.

4.1.3 Etapa de consideração de cada potencial equipamento participante da arquitetura como um EA ou EAR

Após a análise da possibilidade de participação dos equipamentos na arquitetura, cada um destes equipamentos passa a ser um Equipamento Agente (EA) ou um Equipamento Agente com Redução de Consumo (EAR), com todas as características, regras e comportamentos próprios de sistemas agentes proposto.

Este EA ou EAR é um elemento que dispõem de serviços, sendo capaz de comunicar-se com os demais agentes, verificar e modificar suas prioridades bem como permitir o desligamento, religamento ou alteração de seu *setpoint*.

4.1.4 Etapa de construção do sistema multiagentes

Nesta etapa os EA's e EAR's identificados são concebidos como software, onde recebem basicamente dois módulos: módulo lógico e de comunicação.

O módulo lógico é responsável por executar as rotinas dos agentes de forma autônoma. Também foi definido neste momento o comportamento do agente, a forma com que recebe as mensagens, trata elas e retorna.

Cada agente inicializa-se de forma própria executando todos os procedimentos exigíveis, como por exemplo: cadastrar-se no agente de identificação, postar os serviços que são capazes de executar e dispor-se a atender as solicitações de outros agentes.

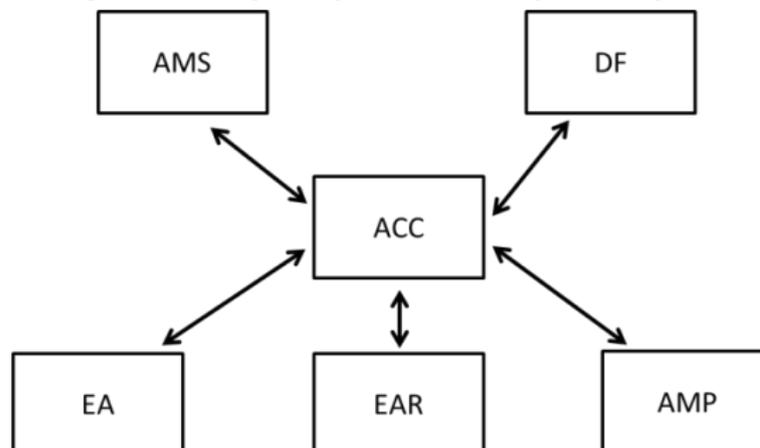
O módulo de comunicação é responsável por promover a troca de mensagens deste agente com os demais agentes do sistema a fim de que serviços sejam disponibilizados ou alocados. Neste módulo definimos também o meio de comunicação a ser adotado.

Além dos EA's são implementados outros agentes, o Gerenciador de Agentes (AMS), o Agente de Identificação de Serviço (DF), o Agente de Comunicação (ACC) e o Agente de Monitoramento e Previsão (AMP). O AMS tem por função receber a identificação de cada agente que se conecta na plataforma, mantendo assim a informação de todos os agentes existentes nesta plataforma. Já o DF mantém uma lista com todos os serviços disponibilizados pelos agentes, possibilitando assim a consulta para a requisição futura (também conhecido como agente das páginas amarelas). O ACC é responsável pela comunicação interna e externa dos agentes.

Também é implementado o AMP, que tem por atribuição principal monitorar e prever o consumo de energia elétrica, com o objetivo de não ultrapassar a demanda contratada.

A Figura 25 apresenta um esquema de interligação entre os agentes.

Figura 25 – Organização e comunicação dos agentes



Fonte: adaptado de FIPA (2017).

4.1.5 Etapa de definição da prioridade inicial de desligamento do EA ou EAR

No momento de inicialização do EA ou EAR, este recebe uma prioridade de desligamento, que pode variar de 4 a 1, onde 4 é o de menor prioridade podendo ser desligado sem prejuízo ao sistema produtivo, os de prioridade 3 acarretarão em poucos prejuízos a produção, os de prioridade 2 que trarão alguns prejuízos ao sistema produtivo e por fim os equipamentos com prioridade 1 que são equipamentos que não podem ser desligados.

Após o processo de inicialização, esta prioridade pode ser alterada, conforme será explicado mais a frente.

4.1.6 Etapa de monitoramento e previsão do consumo

O monitoramento do consumo de energia elétrica é feito de forma instantânea através de sensores instalados na entrada geral de energia. A demanda contratada é informada no primeiro início do sistema.

A previsão de consumo é realizada através de algoritmo baseado em Série Temporal, tendo por base os estudos desenvolvidos por Gontijo *et al.* (2017) e descritos de forma mais ampla no item 4.4.

4.2 ORDEM DE DESLIGAMENTO E RELIGAMENTO

Existem duas ordens disponíveis no sistema: a ordem de desligamento e a ordem de religamento. A ordem de desligamento pode variar de 4 a 2, iniciando em 4. A ordem de religamento pode variar de 2 a 4, iniciando em 2.

Quando os EA's consultam o AMP estas ordens são informadas, para que o EA possa verificar se ele está inserido no grupo que contém as ordens em execução ou não. Para um melhor entendimento, foi imaginado uma situação onde há uma previsão de ultrapassagem da demanda contratada. O EA solicita algumas informações ao AMP e recebe a ordem de execução de desligamento que é 4. Com esta informação, o EA verifica se a sua ordem de prioridade é igual a 4. Sendo, este inicia a negociação com o demais EA's de mesma prioridade para iniciar o procedimento de desligamento, onde é identificado o EA com menor tempo de desligamento. Para a etapa de religamento, a ideia é parecida, porém a ordem é inversa, de 2 a 4. Cabe ao AMP, manter a informação das ordens sempre atualizada para poder informar aos EA's.

O AMP verifica constantemente se ainda existem equipamentos ligados (no caso da ordem de desligamento) ou desligados (no caso da ordem de religamento) na ordem atual, se não houver, ele decresce em um inteiro o valor da ordem atual de desligamento (até 2) e/ou acresce em um inteiro o valor da ordem atual de religamento (até 4).

4.3 PRIORIDADE DOS EQUIPAMENTOS AGENTES (EA)

Conforme mencionado no item 4.2, os EA são dotados de uma prioridade de desligamento, sendo que no momento de inicialização, cada um recebe a ordem de prioridade de desligamento, que pode variar de 4 a 1, onde 4 é o de menor e 1 de maior prioridade, quando os equipamentos não podem ser desligados.

Durante a execução do EA esta prioridade pode ser alterada, tendo por base as informações recebidas do MES que fornece valores que são utilizados como pesos, sendo estes decrescidos da prioridade inicial. Estes pesos podem ser observados nas Tabelas 5 e 6.

Pedido em execução:

Tabela 4 – Peso para pedidos em execução

Pedido Execução	Peso
Sim	1
Não	0

Prioridade no processo de execução:

Tabela 5 – Pesos para pedidos em prioridade

Prioridade	Peso
Sim	1
Não	0

Para facilitar o entendimento, são apresentados alguns exemplos:

- no primeiro caso um equipamento inicia com prioridade 2, e ao longo da sua vida ele recebe um pedido de execução, e é prioridade no processo de execução. Sua nova prioridade passa a ser 0 ($2-1-1=0$). Porém, como a menor prioridade é 1, mantem-se o valor 1;
- no segundo caso, o equipamento inicia com prioridade 3 e recebe um pedido de execução, mas não é prioritário no processo. Sua nova prioridade será 2 ($3-1-0$).

Desta forma, é apresentada a fórmula 1:

$$NP = P - PE - PP \quad \text{onde} \quad NP \geq 1 \quad (1)$$

Onde:

- NP = nova prioridade
- P = prioridade inicial
- PE = pedido em execução
- PP = Prioridade no processo

A cada atualização das informações recebidas do MES, esta prioridade é recalculada tendo por base sempre a prioridade inicial (criação) do EA. Assim, o EA pode manter a sua nova prioridade, se for o caso, ou retornar à sua prioridade inicial.

Sempre que está prioridade é alterada, o EA deve ser removido e em seguida registrado novamente no DF, para que os seus serviços possam ficar disponíveis com a nova prioridade. Este procedimento faz-se necessário, para que não haja uma procura de um serviço de um EA que não pertence mais aquela prioridade desejada.

4.4 MONITORAMENTO E PREVISÃO DE CONSUMO (AMP)

Tendo por objetivo principal a não ultrapassagem da demanda contratada, faz-se necessário realizar o monitoramento do consumo de energia elétrica e paralelamente realizar-se a previsão deste consumo. O monitoramento é realizado através de sensores instalados na entrada da unidade consumidora, a fim de monitorar o consumo instantâneo.

Para a realização da previsão de consumo da energia elétrica, optou-se pela utilização de série temporal, a qual utiliza o histórico recente de consumo para prever o futuro. As previsões baseadas em séries temporais partem do princípio de que a demanda futura será uma projeção dos seus valores passados, assumindo que os padrões de dados passados, como tendência e sazonalidade, permanecerão inalteradas, não sofrendo influência de outras variáveis. É o método mais simples e usual para previsões de curto prazo e com a utilização de uma pequena série histórica, que, quando bem elaborado, oferece bons resultados.

Dentro das séries temporais existem vários métodos possíveis, como por exemplo: algoritmo de janela móvel, método das retas de cargas ou retas inclinadas, método preditivo adaptativo, média móvel: simples e ponderada, suavização exponencial e modelo autoregressivo de média móvel (ARMA).

Conforme o item 2.6.1.6, para Gontijo *et al.* (2017) o modelo ARMA foi o mais adequado para a previsão de demanda energética industrial no Brasil, uma vez que o modelo apresentou o menor valor do erro médio, tornando o modelo aderente para o tipo de série estudada. Os autores destacaram ainda que o consumo industrial de energia elétrica tem natureza complexa, devido a fatores exógenos, ou seja, é comum observar a existência de comportamentos que caracterizam a sazonalidade em diferentes horizontes de observações.

Desta forma, optou-se por utilizar o modelo de previsão de série temporal ARMA principalmente pelos resultados apresentados e pela característica de trabalhar com poucos

dados históricos, podendo realizar as previsões considerando somente os dados históricos recentes.

Assim, será utilizada a equação 4 citada no capítulo 2, item 2.6.1.6.

$$Z_t = \Phi_1 Z_{t-1} + \Phi_2 Z_{t-2} + \dots + \Phi_p Z_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (4)$$

Onde:

- ϕ_i = Parâmetros da estrutura Auto Regressiva, $i=1, \dots, p$
- θ_i = Parâmetros da estrutura média móvel, $i=1, \dots, q$
- a_t = Ruído branco

Tendo por base os estudos desenvolvidos por Gontijo *et al.* (2017) adota-se que a série é estacionária, ou seja, os dados flutuam ao redor de uma média, sem grandes explosões nos valores.

4.5 PROCESSO DE CRIAÇÃO DE UM EA

O processo de criação de um EA está alicerçado na ideia de inserir um equipamento físico no sistema lógico de controle de consumo, ou seja, virtualizar este equipamento para que possamos controlá-lo e manipulá-lo com vista ao seu consumo e ao consumo de todo o sistema.

Quando um EA é criado logicamente, este recebe um nome, uma prioridade de desligamento inicial (que pode ser alterada durante o processo), uma estimativa de tempo de desligamento e religamento, consumo nominal, estado atual (ligado ou desligado) e o momento de criação (horário).

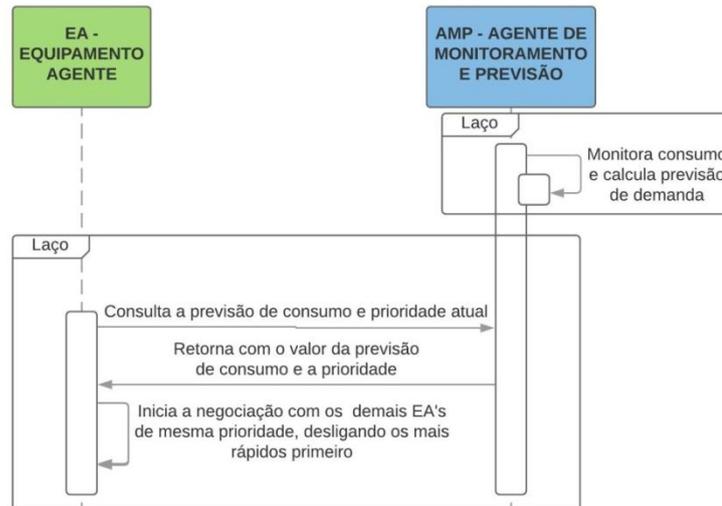
Através destas informações iniciais, o EA criado poderá interagir com os demais agentes com o objetivo de trocar informações e se auto gerenciar durante a sua vida lógica. Este EA poderá alterar o seu estado de ligado para desligado ou vice-versa, tendo por base a relação entre o consumo instantâneo de energia elétrica e a demanda contratada.

4.5.1 Procedimento de desligamento do EA

Considerando o monitoramento instantâneo e a previsão de consumo realizado pelo AMP, os EA's solicitam constantemente ao AMP o valor da demanda contratada e da previsão de consumo, além da prioridade de desligamento (4, 3 ou 2) em execução naquele momento, que indica o grupo de EA's a serem desligados naquele momento.

Os próprios EA's verificam se há possibilidade de ultrapassagem de demanda (demanda contratada < previsão de consumo) e tomam a decisão de manter-se ligados ou iniciam uma negociação com os demais EA's para encontrar o EA com menor tempo de desligamento, desligando-o. A Figura 26 apresenta de forma conceitual a forma com que este processo ocorre.

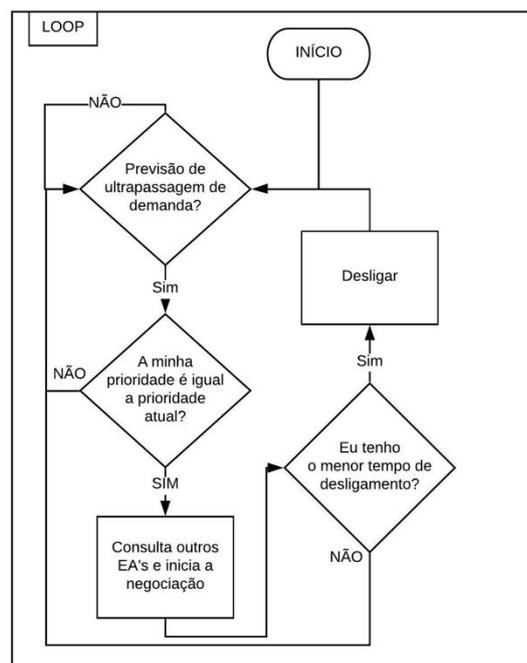
Figura 26 – Diagrama de sequencia de comunicação para desligamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando o EA verifica que pode haver uma ultrapassagem da demanda contratada, este inicia o próprio procedimento de desligamento. Este procedimento pode ser observado através do fluxograma da Figura 27.

Figura 27 – Fluxograma de desligamento do EA

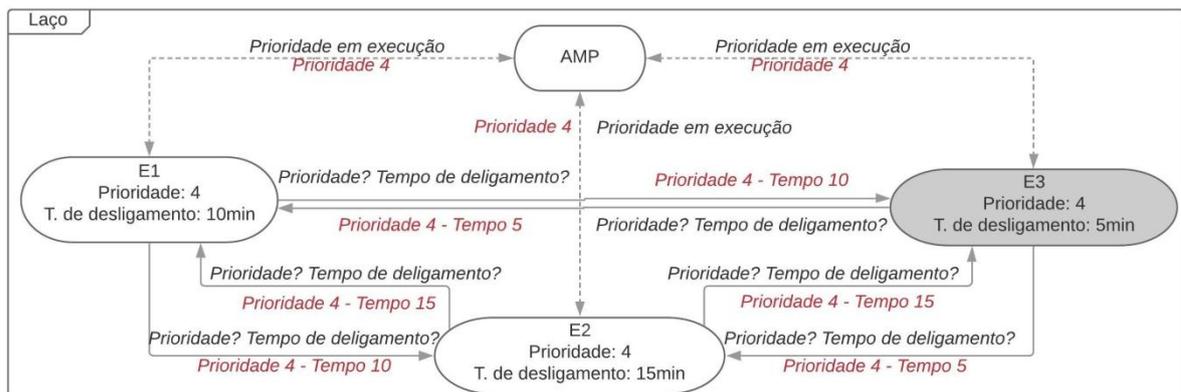


Fonte: Elaborado pelo autor.

Inicialmente cada EA verifica se a sua prioridade é igual à prioridade de execução de desligamento informada pelo AMP. Caso seja, este EA inicia a troca de mensagens com os demais EA's para descobrir se estes também pertencem à mesma prioridade. Somente responderão os EA's da mesma prioridade, informando o seu tempo de desligamento. Caso o tempo de desligamento do EA de origem seja menor do que dos outros EA's, este irá se desligar. Na Figura 28 é possível visualizar um esboço da troca de informações entre os agentes, onde em preto se tem os pedidos e em vermelho as respostas. Observa-se que o EA E3 foi desligado por atender o requisito da prioridade em execução e menor tempo de desligamento.

Quando o equipamento é desligado, este deve permanecer neste estado por no mínimo 15min, evitando assim que um determinado equipamento seja ligado e desligado com muita frequência.

Figura 28 – Esboço da troca de informações



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5.2 Procedimento de religamento do EA

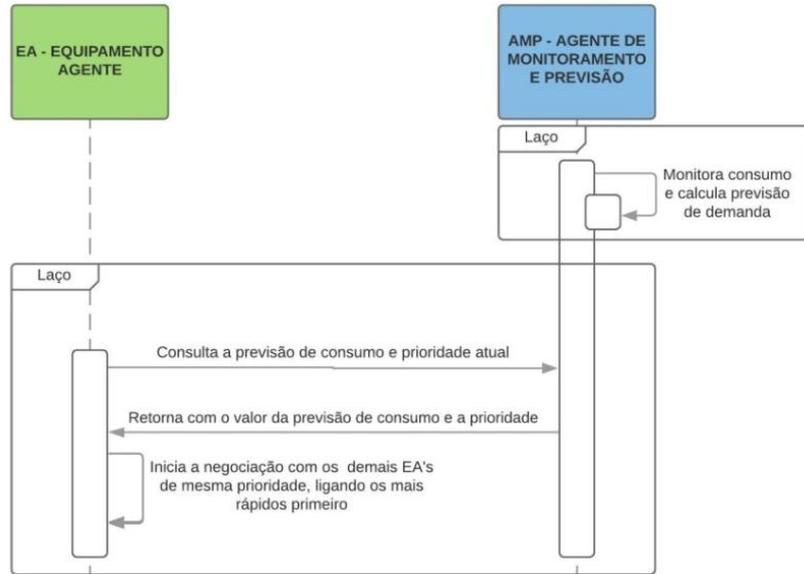
Quando há sobra de energia, ou seja, a demanda contratada está maior que o consumo/previsão de consumo, existe a possibilidade de religamento/ligamento de EA's, conforme interesse do MES.

Como já mencionado anteriormente, os EA's solicitam constantemente ao AMP o valor da demanda contratada e da previsão de consumo, além da prioridade de ligamento (2 ou 3 ou 4) em execução naquele momento.

Quando houver a possibilidade de religar equipamentos (demanda contratada > previsão de consumo) inicia-se a negociação entre os EA's para verificar se há algum da prioridade em execução e com o equipamento desligado a mais de 15min. Sempre será

priorizado o EA que tiver o menor tempo de ligamento. A Figura 29 apresenta de forma conceitual a forma com que este processo ocorre.

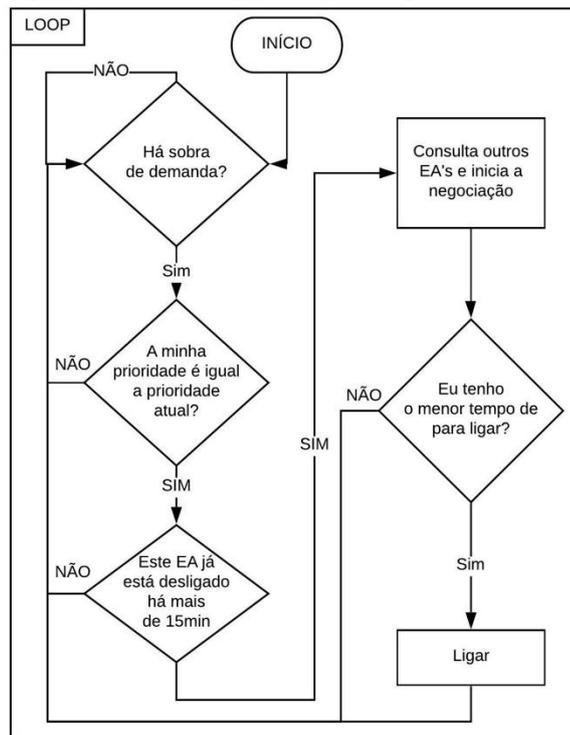
Figura 29 – Diagrama de sequencia de comunicação para religamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o religamento de um EA, é necessário que este esteja desligado a mais de 15min (para evitar constantes liga/desliga do equipamento) e que haja demanda contratada disponível para este procedimento. A Figura 30 apresenta um fluxograma demonstrando este procedimento.

Figura 30 – Fluxograma de religamento do EA



Fonte: Elaborado pelo autor.

Atendendo as premissas de necessidade, prioridade e margem de demanda liga-se o EA com o menor tempo de ligamento, priorizando a rapidez de resposta do sistema.

4.6 PROCESSO DE CRIAÇÃO DE UM EAR

As variáveis de processo são grandezas físicas obtidas de um processo em execução, que mudam seus valores em virtude de condições internas ou externas ao longo do tempo. Para atingir o objetivo do processo, realizou-se a medição da variável de processo, a comparação com o valor de *setpoint* (valor desejado) e atuou-se sobre a variável manipulável (MV). A diferença entre o valor da variável de processo (PV) e o *setpoint* (SP) é chamada de erro.

Desta forma, quanto maior o erro, maior poderá ser a atuação do sistema. Pensou-se num sistema de transferência de líquidos que deve manter o tanque principal com 50% de seu nível. Se a variável de processo indicar um nível de 40%, há 10% de erro que deve ser corrigido, exigindo uma atuação do sistema (variável manipulável) e o consumo de energia para se obter o resultado esperado.

Portanto, se modificar o valor do *setpoint* pode-se reduzir o consumo de energia, porém, isto pode afetar a produção, reduzindo principalmente os resultados desejados. É necessário um estudo mais aprofundado para verificar o quão grande é este impacto.

Como forma de exemplificar esta solução, foi proposta a criação de um tipo diferente de EA que não simplesmente liga/desliga, mas que possa interagir com o sistema, modificando o seu valor de *setpoint*.

A solução encontrada foi modificar os parâmetros iniciais de criação de um EA, incluindo um valor a ser multiplicado ao *setpoint* do equipamento.

Assim, o EAR passa a contar com mais um parâmetro, a porcentagem a ser multiplicada pelo *setpoint*. Os demais parâmetros continuam iguais e com as mesmas funcionalidades, porém o tempo de desligamento/religamento passa a ser entendido como o tempo de resposta do sistema.

É importante destacar que no momento em que os equipamentos são concebidos como agentes (descrição no item 4.1.4) deve-se optar pela criação de um EA liga/desliga ou um EAR.

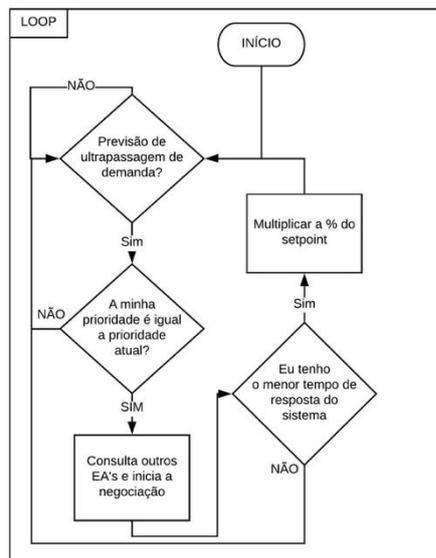
Para facilitar o entendimento, imaginou-se que um determinado equipamento tem a possibilidade de modificar o seu *setpoint* remotamente, e está com a PV em 40 pontos e com

o SP em 50 pontos. Desta forma, tem-se um erro de 10 pontos. Após 15 minutos, o *setpoint* original é retomado.

Com um EA liga/desliga haveria somente a possibilidade de desligar o equipamento, mas com o EAR tem-se a possibilidade de modificar o parâmetro “% *setpoint*” para 10%, fazendo com que o SP reduza para 45 pontos, reduzindo o erro em 5 pontos, fazendo com que o equipamento necessite de menos tempo e energia para que a PV seja igual a SP.

A negociação entre os EAR's para a escolha de qual agente reduzirá seu *setpoint* ocorre de forma semelhante aos EA's, porém ao invés de observar o menor tempo de desligamento, observa-se o menor tempo de resposta. A Figura 31 apresenta um fluxograma demonstrando este procedimento.

Figura 31 – Fluxograma de diminuição de consumo de um EAR



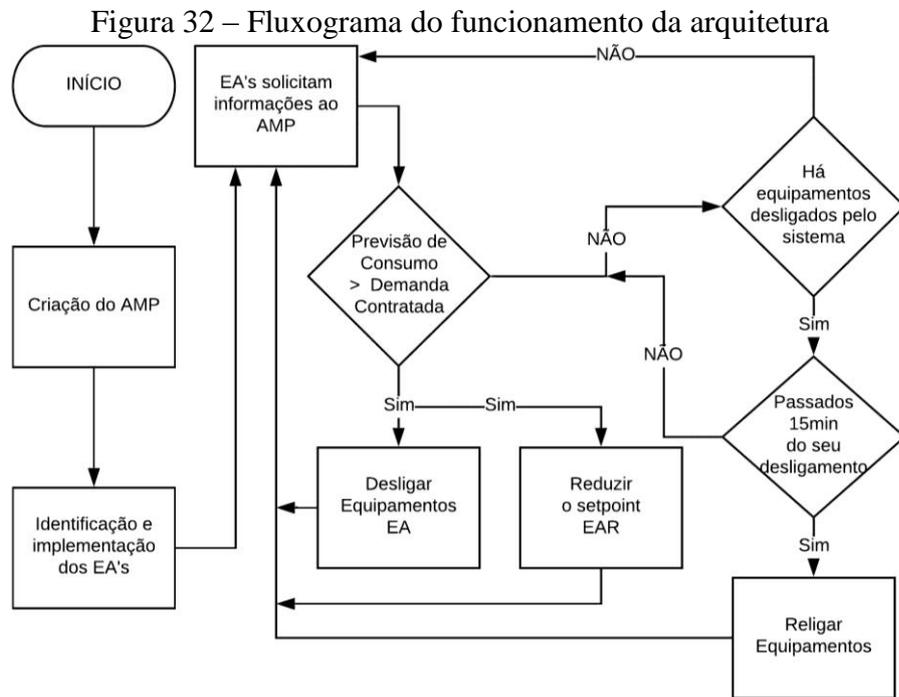
Fonte: Elaborado pelo autor.

O procedimento de comunicação do agente EAR com os demais agentes continua como descrito anteriormente, modificando apenas o entendimento de um EA, onde não se tem mais as classes Liga() e Desliga(), mas sim a classe Modifica_Setpoint().

4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta seção foi apresentada a arquitetura proposta que tem por objetivo evitar a ultrapassagem da demanda contratada. A arquitetura é composta por etapas de implementação e posterior funcionamento que foram descritas de forma teórica com a possibilidade de serem implementadas de diferentes formas.

A Figura 32 apresenta o fluxograma da arquitetura como forma de exemplificar o funcionamento integrado das diferentes etapas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como principais contribuições da arquitetura com relação aos trabalhos existentes, pode-se destacar:

- previsão da ultrapassagem da demanda contratada;
- redução nos custos de energia elétrica, uma vez que se evitará a ultrapassagem da demanda contratada;
- integração da arquitetura com outros sistemas de gerenciamento, como o MES;
- flexibilidade na prioridade do EA conforme a necessidade produtiva;
- possibilidade de dois diferentes EA's, um on/off e outro com variação de consumo.

O capítulo 5 trará a implementação da arquitetura como forma de testar e validar a sua aplicação.

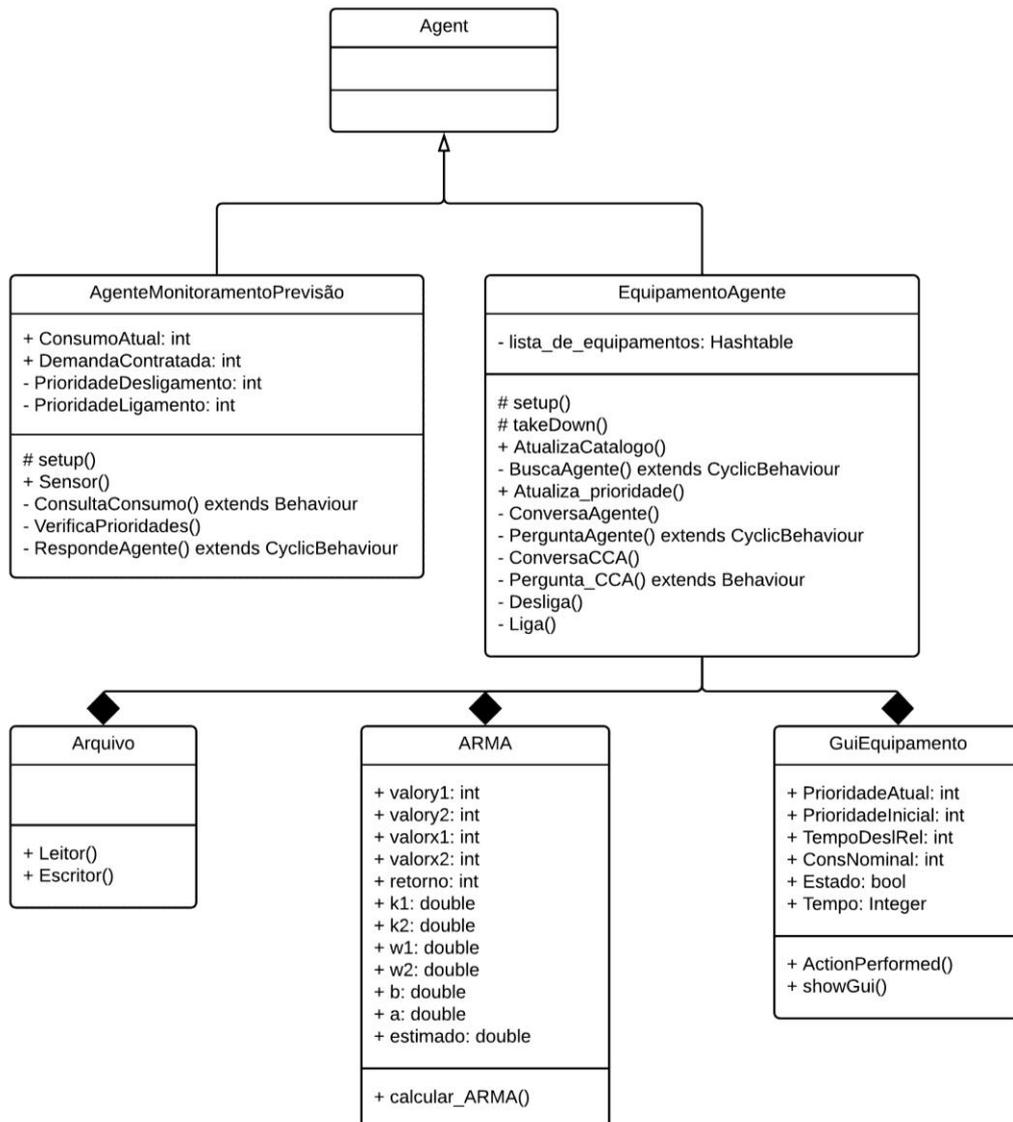
5 IMPLEMENTAÇÃO DA ARQUITETURA UTILIZANDO MULTIAGENTES

Este capítulo apresenta a etapa de implementação da arquitetura de controle do consumo de energia em linguagem Java, utilizando a plataforma JADE que dá suporte a implementação de agentes.

5.1 COMPONENTES DA ARQUITETURA

Na Figuras 33 são apresentadas as classes EA, AMP, Arquivo, ARMA e GuiEquipamento.

Figura 33 – Diagrama de classe



Fonte: Elaborado pelo autor.

A classe EA é responsável por armazenar e disponibilizar os serviços prestados pelos equipamentos. A classe AMP é responsável por realizar o monitoramento do consumo e a previsão de consumo, além de manter atualizada as ordens de desligamento e religamento. A classe Arquivo é responsável por ler os dados recebidos do MES e realizar o registro das ações. A classe ARMA realiza o cálculo de previsão de consumo que será utilizado pela classe AMP. Por fim, a classe GuiEquipamento é responsável pela janela de cadastro dos EA's. As classes EA e AMP estendem a classe principal do projeto, classe Agent, que faz parte do *framework* JADE, ou seja, trazem todas as premissas e características de um agente.

5.2 IMPLEMENTAÇÃO DO EA

Os EA's são implementados utilizando a classe Agent que está disponível na plataforma JADE. Como forma de armazenar as informações do EA, utiliza-se uma *hashtable*, recurso disponível no JAVA.

Uma *hashtable* é uma tabela *hash* que permite associar uma chave a um valor, e quando necessário, acessar estes valores através da chave associada. Em JAVA, os principais métodos de manipulação de uma *hashtable* são: *put()*, que armazena um par de objetos especificados na tabela, *get()*, que retorna o objeto valor associado ao objeto chave especificado, e *remove()*, que remove o par de objetos com a chave especificada.

No caso específico, a chave associada é a prioridade do EA, e o valor é composto por uma prioridade de desligamento inicial, uma estimativa de tempo de desligamento e religamento, consumo nominal, estado atual (ligado ou desligado) e o momento de criação/alteração (capturado automaticamente, contado em milissegundos desde 1970).

Na Tabela 6 pode-se observar de forma mais didática esta composição:

Tabela 6 – Composição da *hashtable*

Chave		Valor			
Prioridade Atual	Prioridade inicial	Tempo desligamento / religamento	Consumo Nominal	Estado	Tempo
4	4	10	015	1	1566408047825

a) chave

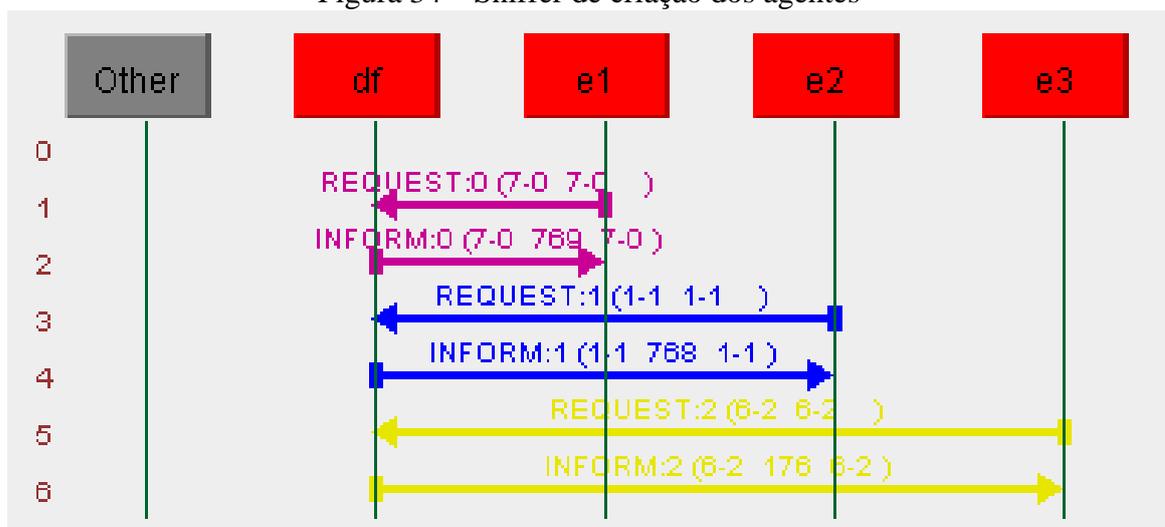
- prioridade: é a chave de acesso à *hashtable* e à prioridade de desligamento e religamento do EA. Pode ser alterada durante a execução do sistema, conforme dados do MES.

b) valor

- prioridade inicial: copia a prioridade de criação do agente e não pode ser modificada, é utilizada como base para retorno do EA a sua prioridade inicial. É composta por 1 dígito;
- tempo de desligamento / religamento: estimativa de tempo atribuída na criação do EA, necessário para o desligamento e religamento. É composta por 2 dígitos expressa em minutos;
- consumo nominal: consumo nominal do equipamento expresso em kW/h retirado da etiqueta do equipamento. É utilizado principalmente na simulação do sistema. O valor é inteiro composto por 3 dígitos;
- estado: expressa o estado atual do EA, 1 para ligado e 0 para desligado. É atribuído um valor inicial e pode ser alterado durante a execução do sistema, tendo por base as informações recebidas do MES. É composto por 1 dígito;
- tempo: valor expresso em milissegundos tendo por base a data de 1º de janeiro de 1970. É iniciado com o tempo no momento de sua criação e pode ser alterado posteriormente, principalmente quando ocorrem modificações no agente, como: troca de prioridade, desligamento, religamento.

Quando os EA's são inseridos, estes realizam seus registros no DF a fim de colocar à disposição os seus serviços. Também são adicionados os comportamentos disponíveis pelo EA, representado na Figura 34.

Figura 34 – Sniffer de criação dos agentes



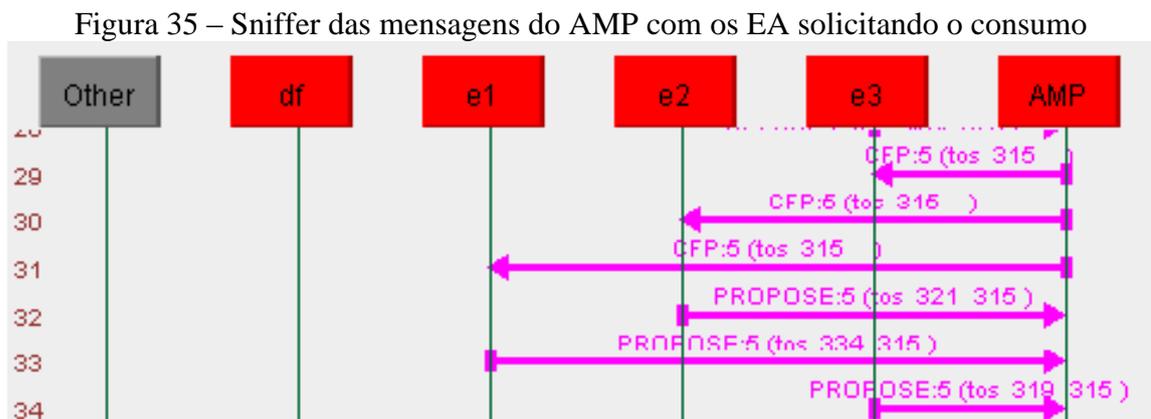
Fonte: Elaborado pelo autor.

As classes BuscaAgente, Liga e Desliga estendem a classe Behaviour e o método CyclicBehaviour que é a implementação de uma classe SimpleBehaviour com o método done() sempre retornando false, ou seja, nunca terminando o comportamento.

É necessária a inserção dos EA's somente uma vez. Enquanto estão sendo inseridos, os EA's são registrados no DF e passam a estar prontos para o uso.

5.3 IMPLEMENTAÇÃO DO AMP

O AMP é o agente responsável pelo monitoramento do consumo, previsão de consumo e manter atualizada a prioridade de desligamento e religamento (Figura 35). Em ambiente de simulação, este monitoramento é realizado somando-se todos os consumos nominais dos EA's que se encontram ligados no momento. No caso de ambiente fabril, este monitoramento será realizado através de sensores instalados na entrada da unidade consumidora.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como os EA's, o AMP também é registrado no DF, disponibilizando assim os seus serviços. Nesta inicialização deve ser informada a demanda contratada pelo usuário. A demanda contratada é utilizada no cálculo como ponto base para o desligamento e religamento dos EA's.

No agente AMP segue em destaque a classe ConsultaConsumo que estende a classe Behaviour, ou seja, prover a estrutura de comportamentos para os agentes, principalmente com os métodos action() e done().

A classe RespondeAgente que estende o método CyclicBehaviour mantém estas ações cíclicas durante a execução do processo. Nesta mesma ideia, se tem a classe VerificaPrioridade.

5.4 MÉTODO DE PREVISÃO DE CONSUMO

A previsão de consumo é realizada para que se possa antever uma possível ultrapassagem da demanda contratada, e desta forma, iniciar o desligamento dos EA's antes da ultrapassagem propriamente dita.

O AMP é responsável por informar o consumo atual à classe ARMA que realizará os cálculos para a previsão de demanda. Conforme já mencionado no item 4.4, a previsão de demanda é realizada utilizando-se de série temporal auto regressiva de média móvel.

O método ARMA está baseado na equação 5 onde se utiliza o método dos mínimos quadrados para achar os valores dos coeficientes:

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (5)$$

Onde:

- \bar{y} é a média amostral de y
- \bar{x} a média amostral de x

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n x_i (x_i - \bar{x})} \quad (6)$$

Onde:

- X_i é o elemento x a ser considerado
- Y_i é o elemento y a ser considerado
- \bar{y} é a média amostral de y
- \bar{x} a média amostral de x

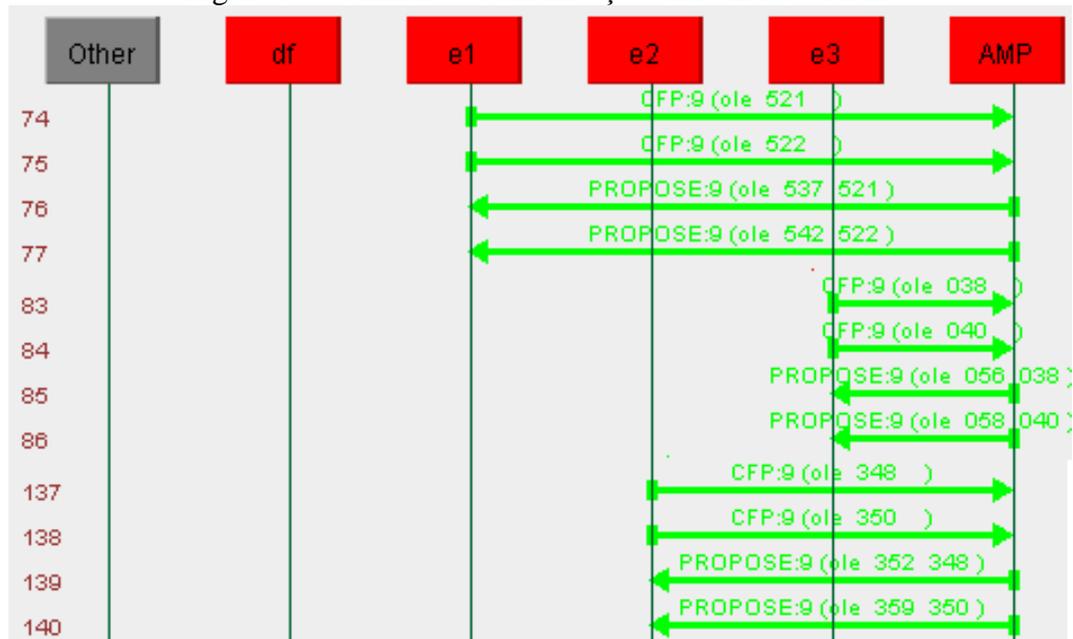
Após calculados os coeficientes, insere-se os mesmos na equação 6 e obtém-se a previsão de consumo a curto prazo.

5.5 COMUNICAÇÃO ENTRE OS AGENTES

A comunicação entre os agentes é realizada utilizando-se o protocolo FIPA-ACL, que permite a configuração de vários parâmetros da mensagem de forma a garantir uma comunicação eficaz e funcional.

Utilizando a ferramenta Sniffer disponibilizada pelo JADE, pode-se observar como a comunicação é realizada entre os EA's e o AMP.

Figura 36 – Sniffer de comunicação entre EA's e AMP



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.6 INTERAÇÃO COM O MES E TROCA DE PRIORIDADE

Segundo a MESA (2019), o MES é responsável por programar o sequenciamento das operações, facilitando o sequenciamento e sincronização das operações, além de facilitar e agilizar a programação / reprogramação da produção e o retorno de informações acerca dos produtos.

Desta forma, optou-se pela integração com o MES para a decisão de troca de prioridade, conforme os parâmetros execução do pedido e prioridade de execução. Quando é detectada a necessidade de atualização da prioridade, está é feita alterando-se a chave do EA em sua *hashtable*.

5.7 NECESSIDADE DE DESLIGAMENTO DE EQUIPAMENTOS

Quando o agente EA identifica que a previsão de consumo de energia elétrica ultrapassa a demanda contratada, ele verifica se a prioridade de desligamento em execução no momento (informação recebida do AMP) é igual à sua. Caso não seja, não é executada nenhuma ação.

Se a prioridade de desligamento atual for igual à sua, o EA inicia a comunicação com os demais EA's de mesma prioridade, procurando negociar qual dos EA's será desligado

primeiro. Como critério, optamos por utilizar o menor tempo de desligamento, ou seja, quem tem o menor tempo de desligamento, inicia o processo de desligamento primeiro.

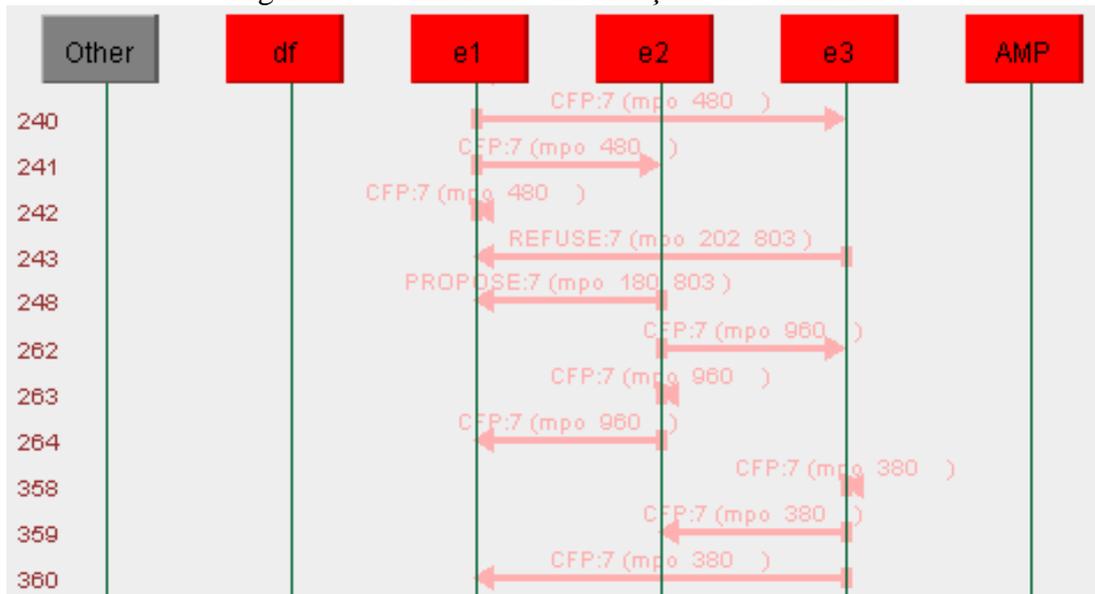
Logo após, é verificado com os demais agentes, se estes também tem a mesma prioridade. Esta mensagem é recebida pelos EA's que analisam a sua prioridade, verificando se atendem aos requisitos e respondem.

Caso atendam à exigência de prioridade, respondem através de uma proposta à mensagem, utilizando o parâmetro Performative, e informam o seu consumo nominal.

Caso o EA seja o de menor tempo de desligamento entre os que EA's que se comunicaram, este procede com o desligamento do equipamento alterando na sua *hashtable* na propriedade valor o seu estado (7º dígito) de 1 para 0, além de atualizar o tempo em que está sendo desligado.

A Figura 37 apresenta o Sniffer, onde é possível ver a comunicação entre os EA's e a negociação.

Figura 37 – Sniffer de comunicação entre os EA's



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.8 POSSIBILIDADE DE AUMENTO DE CONSUMO

Quando a previsão de consumo indicar uma redução, abre-se a possibilidade de religamento dos equipamentos desligados anteriormente. Assim, o EA ao realizar a troca de informações com o AMP, percebe que há espaço para o religamento de algum equipamento. Caso a ordem atual de religamento seja a mesma dele, ele inicia o processo de negociação

com os demais EA's, procurando descobrir quem mais satisfaz a condição de atendimento à prioridade. Este processo já foi demonstrado no item anterior.

Duas premissas deverão ser observadas antes de religarmos/ligarmos um equipamento: estar mais de 15 minutos desligado e estar com pedido de religamento realizado pelo MES.

5.9 REGISTROS DOS DADOS EM ARQUIVOS

Durante a execução do programa, tem-se a necessidade de registrar algumas informações, com o objetivo de criar um *big data* para futuras análises e comparações. Desta forma foi criado alguns pontos de escrita de dados em arquivos do tipo .csv.

Através deste código registramos o horário, nome do equipamento, prioridade atual, valor de sua *hashtable* e o consumo simulado. O APÊNDICE A traz um exemplo deste arquivo complementado com as duas últimas colunas para efeitos de comparação.

6 ESTUDOS DE CASO

Neste capítulo são apresentados os estudos de casos utilizados para validar a proposta. Os resultados são apresentados após a descrição das premissas que subsidiaram os estudos.

Além dos estudos de caso que serão apresentados, realizamos experimentos com outros dados e situações hipotéticas como forma de testar a arquitetura e simular as mais diferentes situações que a mesma poderá ser submetida.

6.1 ESTUDO DE CASO 1 – VALIDAÇÃO DO ARMA

Para a realização de testes com o objetivo de validar a utilização do ARMA, utilizou-se dados de consumo de uma indústria metalúrgica da cidade de São Leopoldo/RS. Estes dados foram obtidos através da memória de massa do medidor da concessionária de energia e referem-se ao período de 03/08/2017 a 04/09/2017. É importante destacar que a empresa realiza suas atividades de segunda-feira a sexta-feira das 8h às 12h e das 13h15min às 17h15min, e aos sábados das 8h às 12h.

Como já mencionado anteriormente, a utilização da ARMA pressupõe o uso de dados de curto prazo, no nosso caso poucas horas. Observa-se ainda, que deve ser levado em consideração somente o período produtivo da empresa, descartando as horas de descanso, almoço, folgas, domingos e feriados.

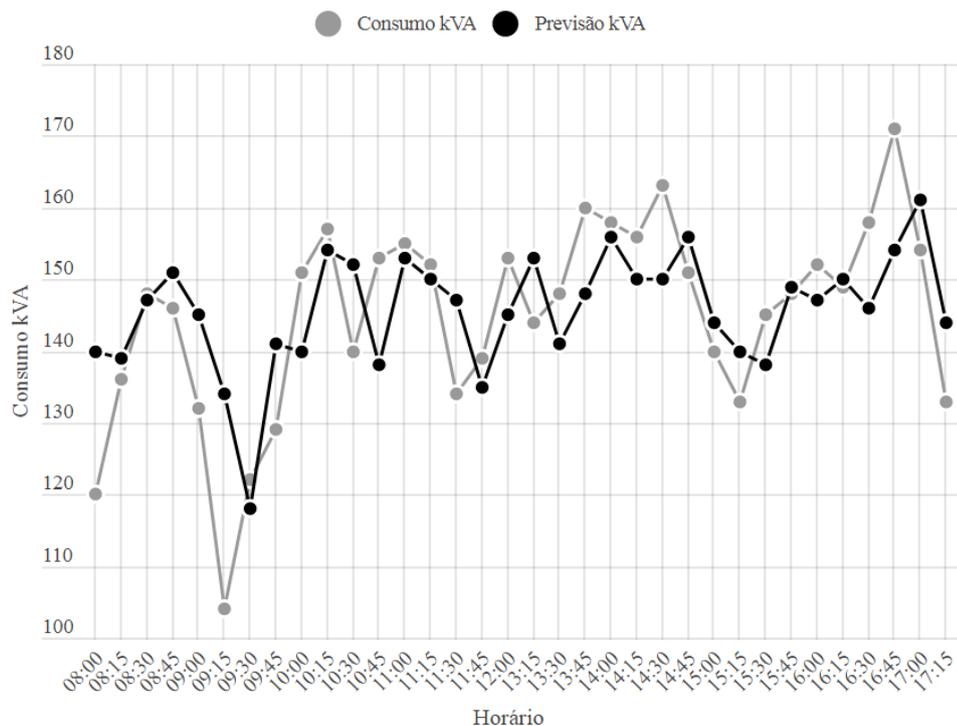
Como primeiro teste realizaram-se os cálculos utilizando-se os dados de um dia de trabalho, descartando o horário de almoço.

Tabela 7 – Dados de um dia de trabalho com previsão

Horário	Consumo kVA	Previsão kVA	Horário	Consumo kVA	Previsão kVA
08:00	120,96	140,82	13:15	144,53	153,86
08:15	136,76	139,70	13:30	148,63	141,90
08:30	148,16	147,44	13:45	160,92	148,75
08:45	146,90	151,64	14:00	158,37	156,71
09:00	132,02	145,61	14:15	156,40	150,48
09:15	104,84	134,68	14:30	163,04	150,20
09:30	122,67	118,51	14:45	151,56	156,04
09:45	129,90	141,69	15:00	140,80	144,60
10:00	151,05	140,28	15:15	133,58	140,39
10:15	157,42	154,90	15:30	145,11	138,16
10:30	140,97	152,66	15:45	148,56	149,47
10:45	153,28	138,10	16:00	152,45	147,89
11:00	155,39	153,78	16:15	149,75	150,08
11:15	152,06	150,60	16:30	158,43	146,68
11:30	134,58	147,61	16:45	171,07	154,59
11:45	139,59	135,09	17:00	154,56	161,38
12:00	153,62	145,11	17:15	133,59	144,19

Como se pode observar na Tabela 7 e no Gráfico 6, a previsão de uma série muito longa apresenta distorções consideráveis, com uma diferença média entre o consumo realizado e a previsão de 8,16kVA o que representa um erro de 6%, acima da tolerância máxima definida pela ANEEL.

Gráfico 6 – Comparação entre consumo real e o previsto



Fonte: Elaborado pelo autor.

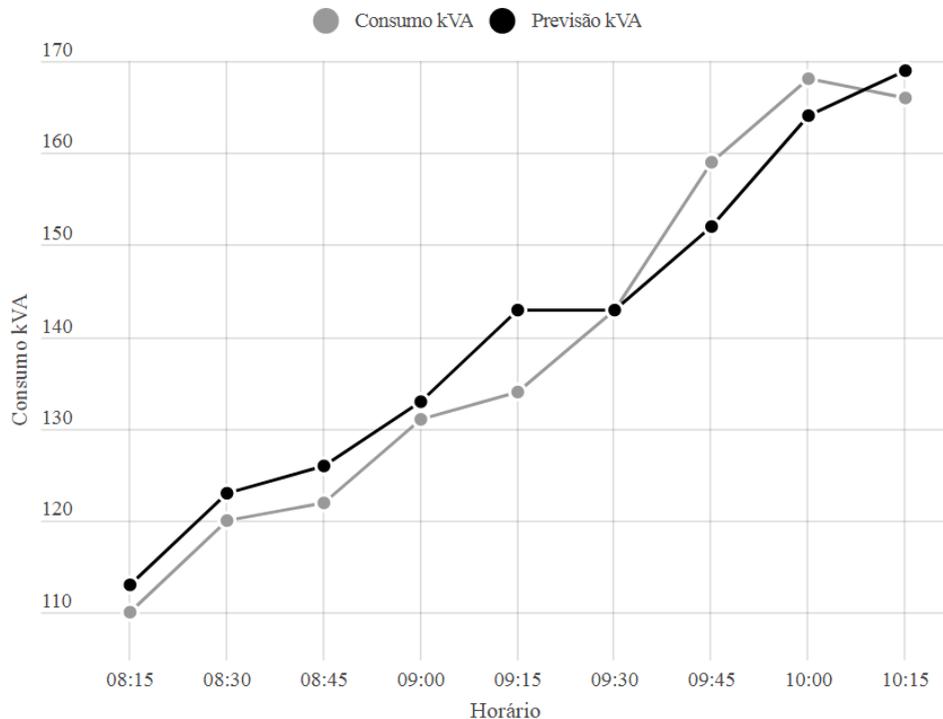
Como já mencionado, o ARMA trabalha com previsões a curto prazo. O segundo teste realizado, concentrou-se nesta questão, onde foram coletados dados de duas horas de trabalho da empresa, conforme Tabela 8 e Gráfico 7.

Tabela 8 – Dados de duas horas de trabalho com previsão

Horário	Consumo kVA	Previsão kVA
08:15	110,00	113,12
08:30	120,00	123,49
08:45	122,00	126,76
09:00	131,14	133,17
09:15	134,70	143,13
09:30	143,90	143,43
09:45	159,32	152,69
10:00	168,72	164,87
10:15	166,09	169,75

Nesta previsão se obteve uma diferença média entre o consumo realizado e a previsão de 4,05kWh, o que representa um erro de 2,94%, abaixo da tolerância máxima estabelecida pela ANEEL.

Gráfico 7 – Comparação entre o consumo real e previsto em poucas horas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Desta forma, pode-se observar a eficácia do método ARMA aplicado a previsão de demanda de energia elétrica a curto prazo.

6.2 ESTUDO DE CASO 2 – AMBIENTE CONTROLADO

O objetivo com este estudo de caso, é demonstrar a eficiência da arquitetura e do sistema implementado, tendo como foco principal a troca de prioridade dos equipamentos, o desligamento e religamento dos equipamentos, o funcionamento do sistema e a não ultrapassagem da demanda contratada.

Para a realização deste estudo, idealizou-se uma empresa onde constam cinco equipamentos, onde foram criadas situações distintas e inesperadas que podem vir a acontecer no dia-a-dia. Simulou-se o ambiente durante 40min, o equivalente para se realizar 10 coletas a cada 4min.

Tabela 9 – Equipamentos cadastrados

Equipamento	Prioridade	Tempo Ligamento / Desligamento (min)	Consumo (kWh)	Estado Funcionamento
e1	4	10	010	1
e2	3	20	020	1
e3	2	30	030	1
e4	4	40	040	0
e5	3	50	050	0

Como se pode observar na Tabela 9, caso se tenha que ligar todos os equipamentos, o consumo total será de 150kWh. Para efeitos de simulação, utilizou-se uma demanda contratada de 70kWh, o que significa que na maior parte do tempo estar-se-ia pagando multa por excesso de demanda contratada, conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Consumo nominal de energia elétrica

Equipamento	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.6	T.7	T.8	T.9	T.10
e1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
e2	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
e3	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
e4		40	40	40	40	40	40	40	40	40
e5		50	50	50	50	50	50	50	50	50
Total Nominal kWh	60	150	150	150	150	150	150	150	150	150

Nota: T. = Tempo, onde: T.1: 09:00; T.2: 09:15; T.3: 09:30; T.4: 09:45; T.5: 10:00; T.6: 10:15; T.7: 10:30; T.8: 10:45; T.9: 11:00; T.10: 11:15.

6.2.1 Simulação da Arquitetura

A simulação da arquitetura proposta é realizada com o auxílio de sistemas multiagentes e o *framework* JADE. Para a realização da simulação são criados os cinco EA's, respeitando seus aspectos e características. Também é necessário criar um AMP para realizar o monitoramento do consumo e previsão de ultrapassagem da demanda.

A inicialização do ambiente de simulação, bem como a criação dos EA's encontra-se registrado no APÊNDICE B, onde pode ser observado o momento de inicialização do JADE e de todo o sistema, os momentos de inclusão dos EA's com as suas respectivas informações. No momento de criação do AMP é necessário informar a demanda contratada da empresa com a concessionária de energia elétrica. Neste caso em específico, a demanda contratada é de 70kWh.

Se tratando de um ambiente de simulação, onde não se tem sensores para a leitura real da potência consumida, será adotada como consumo a soma de todos os valores nominais de consumo dos EA's (equipamentos) ligados a cada momento de simulação.

Uma vez inicializado o sistema de gerenciamento de energia, este inicia a execução da arquitetura tendo como uma das bases os dados informados pelo MES. Levando em consideração que estamos simulando uma indústria, optou-se por manipular manualmente o arquivo de troca de informações entre o MES e o sistema.

A leitura do consumo por parte da concessionária de energia elétrica é realizada a cada 15min, conforme já comentado anteriormente. Para fins de simulação, reduzimos este tempo para 4min, facilitando e agilizando o processo de simulação e captura dos resultados.

Na Tabela 11 é demonstrado o conteúdo do arquivo MES para a troca de informações com o sistema. Deve-se observar que a primeira coluna de cada momento traz a informação de quando há existência de um pedido aguardando execução e a segunda coluna informa se este pedido é prioritário.

Tabela 11 – Conteúdo arquivo MES

ID	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.6	T.7	T.8	T.9	T.10										
e1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	
e2	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0
e3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
e4	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1
e5	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0

Nota: T. = Tempo, onde: T.1: 09:00; T.2: 09:15; T.3: 09:30; T.4: 09:45; T.5: 10:00; T.6: 10:15; T.7: 10:30; T.8: 10:45; T.9: 11:00; T.10: 11:15.

Com o sistema em funcionamento, conjuntamente com a leitura do MES, os equipamentos foram trocando suas prioridades e ligado/desligado conforme as regras impostas pela arquitetura. Na Tabela 12 pode-se observar como ficou o consumo após a execução da arquitetura. Os valores na cor vermelha indicam que os equipamentos estão desligados naquele momento.

Tabela 12 – Resultado simulação

Equipamento	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.6	T.7	T.8	T.9	T.10
e1	10	10	10			10		10		
e2	20	20	20	20	20		20		20	
e3	30		30			30				30
e4		40					40			40
e5				50	50			50	50	
Total nominal kWh	60	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Total sistema kWh	60	70	60	70	70	40	60	60	70	70

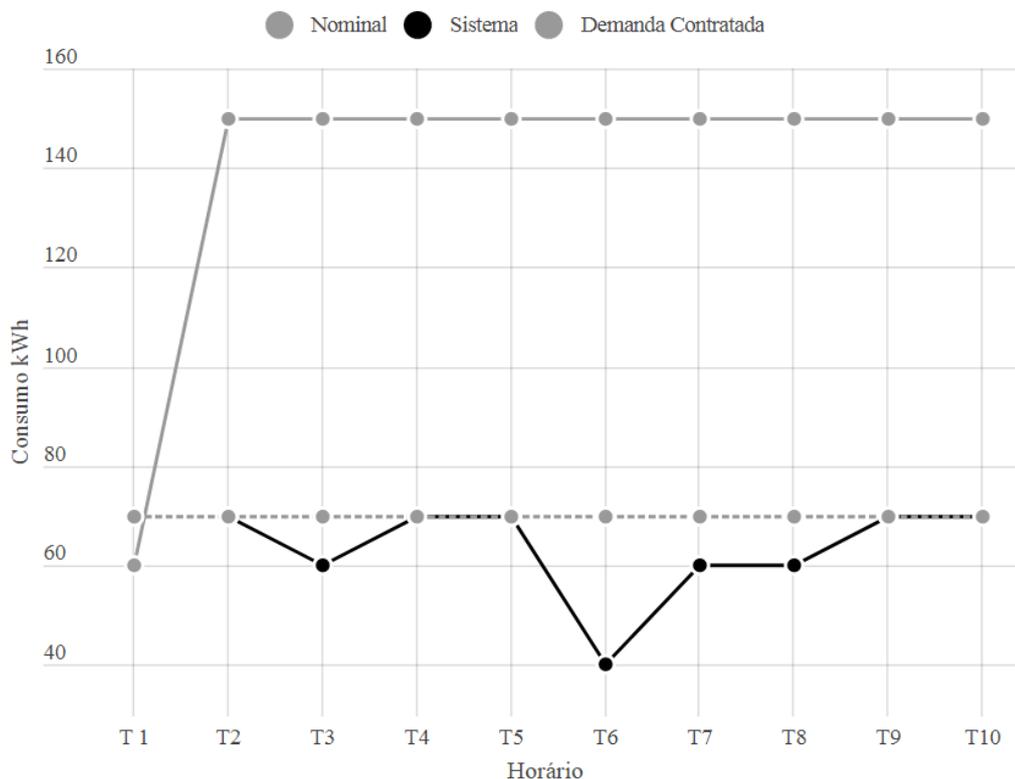
Nota: T. = Tempo, onde: T.1: 09:00; T.2: 09:15; T.3: 09:30; T.4: 09:45; T.5: 10:00; T.6: 10:15; T.7: 10:30; T.8: 10:45; T.9: 11:00; T.10: 11:15.

Com o intuito de facilitar a compreensão, foi plotado o Gráfico 8 com os dados do consumo nominal e do consumo após a interação do sistema.

Para ilustrar ainda mais o funcionamento do sistema, no APÊNDICE C foi incluído uma tabela onde é demonstrada a prioridade prevista (levando em consideração os dados do MES), a prioridade executada pelo sistema e o estado do equipamento (ligado/desligado). Esta tabela nos mostra como o sistema reage em diferentes situações, procurando sempre atender as premissas para o qual foi projetado.

Assim, concluímos através de estudo deste caso, que o sistema atendeu às expectativas, dentre as quais pode-se destacar a não ultrapassagem da demanda contratada, a manipulação correta das prioridades e o estado do equipamento (ligado/desligado).

Gráfico 8 – Comparação entre valores nominais com e sem a interação do sistemas



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.3 ESTUDO DE CASO 3 – INDÚSTRIA GRÁFICA

Para a realização do estudo de caso, utilizou-se uma indústria gráfica que realiza a impressão de catálogos comerciais, folders, livros, banner e etc. Nesta indústria encontram-se os setores administrativo/comercial, pré-impressão, CTP, Impressão digital, impressão *offset*, impressão flexográfica e acabamento.

O setor administrativo/comercial é responsável por todas as rotinas administrativas, comerciais e financeiras da indústria.

No setor de pré-impressão são desenvolvidos digitalmente todas as artes que posteriormente serão impressos.

O CTP é responsável pela preparação da arte a ser impressa e pela gravação das chapas que serão utilizadas nas máquinas de impressão.

O setor de impressão digital é responsável pela impressão de pequenas tiragens e impressões em papéis especiais. Neste setor também se tem a impressão de banners e lonas, além de letreiros.

No setor de impressão *offset* são realizadas as impressões em papel, principalmente de grandes tiragens.

No setor de impressão flexográfica é realizada a impressão de embalagens plásticas, utilizadas principalmente para embalar produtos ensacados.

Por fim, o setor de acabamento é responsável pela dobradura, colagem, corte entre outras funções.

Inicialmente, os equipamentos foram inseridos conforme a Tabela 13.

Tabela 13 – Equipamentos cadastrados

ID	Equipamento	Prioridade	Tempo Ligamento / Desligamento	Consumo (kW)	Estado Funcionamento
Administrativo / Comercial					
c1	Computador tipo Desktop	2	10	001	1
ar1	Ar-Condicionado Split	4	01	001	1
Pré-Impressão					
c2	Computador tipo Desktop	2	10	001	1
c3	Computador tipo Desktop	2	10	001	1
c4	Computador tipo Desktop	2	10	001	1
ar2	Ar-Condicionado Split	4	01	001	1
CTP					
chapa	Impressora Chapa Heildeberg	3	05	002	1
c5	Computador tipo Desktop	2	10	001	1
ar3	Ar-Condicionado Split	4	01	001	1
ID	Equipamento	Prioridade	Tempo Ligamento / Desligamento	Consumo (kW)	Estado Funcionamento
Impressão Digital					
id1	Impr Digital Heildeberg	4	05	005	0
ip1	Impr Ploter Digital HP	4	05	003	0
ar4	Ar-Condicionado Split	4	01	001	1
Impressão Offset					
io1	Ryobi 4 cores	3	30	014	0
io2	Heildeberg 2 cores	3	30	015	0
io3	Heildeberg 4 cores	3	30	024	0
ar5	Ar-Condicionado Split	4	01	002	1
Impressão Flexográfica					
fl1	Etirama 6 cores	3	15	009	0
ar6	Ar-Condicionado Split	4	01	001	0
Acabamento					
g	Guilhotina	4	01	005	1
p	Passadeira cola	4	01	004	1
d	Dobradeira	4	01	005	1
f	Furadeira	4	01	001	1
ar7	Ar-Condicionado Split	4	01	001	1

Como se pode observar na Tabela 15, caso haja a necessidade de ligar todos os equipamentos ao mesmo tempo, o consumo total da empresa é algo em torno de 100kWh.

Levando em consideração que em poucas situações todos os equipamentos são ligados simultaneamente, realizou-se o monitoramento *in loco* dos equipamentos ligados e do consumo real durante três horas.

Para a realização da medição do consumo real, foi utilizado o analisador de qualidade de energia da marca Fluke 435-II que tem a capacidade de realizar medidas elétricas e armazená-las para posterior verificação, conforme pode-se observar na Tabela 15.

Também foram realizadas anotações referentes aos tempos de funcionamentos dos equipamentos, momentos em que são ligados e desligados e diagnóstico com os colaboradores da empresa para se mensurar qual a importância do equipamento no processo produtivo da empresa. Na Tabela 14 pode-se observar as medições reais em diferentes momentos.

Tabela 14 – Medições reais do consumo de energia elétrica (kWh)

ID	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.6	T.7	T.8	T.9	T.10	T.11	T.12	T.13
Total	25,45	63,2	80,9	96,1	97,3	66,5	58,2	56,4	71,3	58,9	95,8	93,3	93,5

Nota: T. = Tempo, onde: T.1: 09:00; T.2: 09:15; T.3: 09:30; T.4: 09:45; T.5: 10:00; T.6: 10:15; T.7: 10:30; T.8: 10:45; T.9: 11:00; T.10: 11:15; T.11: 11:30; T.12: 11:45; T.13: 12:00.

Já o consumo nominal foi feito levando em consideração o consumo informado na etiqueta do equipamento e nas mesmas três horas que foram feitas as medidas reais. Pode-se observar na Tabela 15 estes valores.

Tabela 15 – Consumo nominal de energia elétrica

ID	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.6	T.7	T.8	T.9	T.10	T.11	T.12	T.13
ar1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ar2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ar3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ar4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ar5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0
ar6		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ar7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
c1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
c2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
c3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
c4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
c5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
chapa	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
d	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

continua...

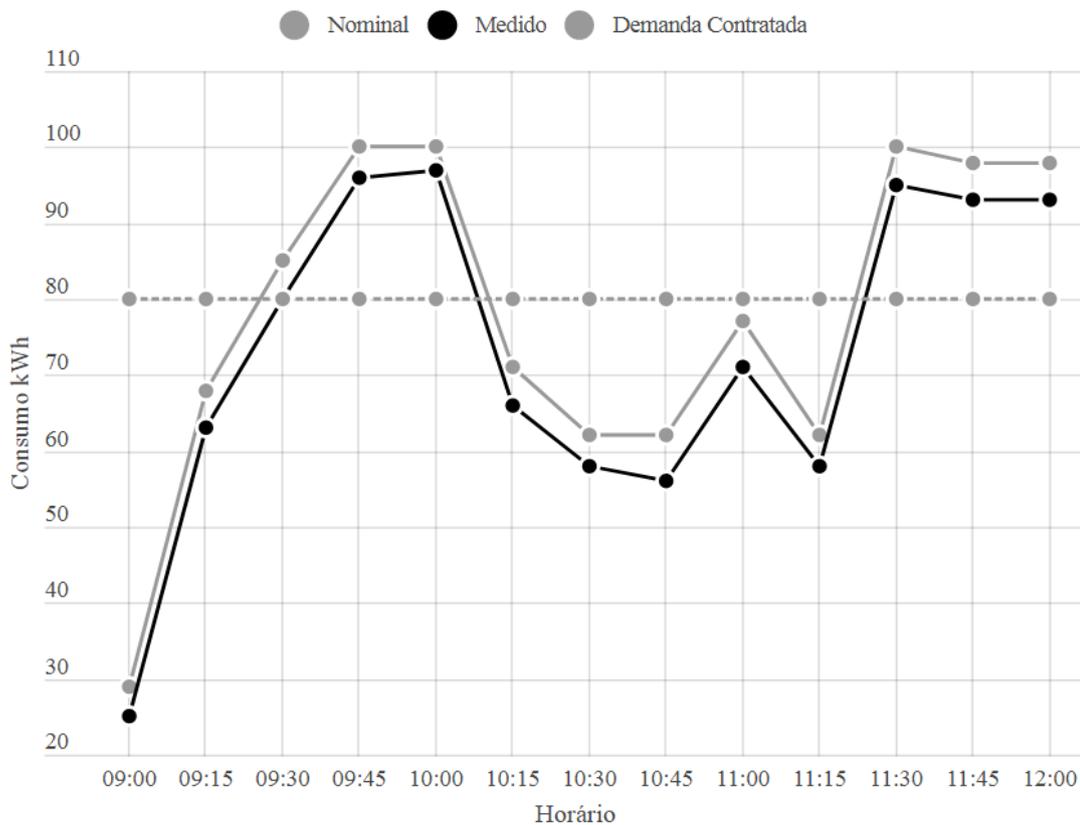
Tabela 15 – Consumo nominal de energia elétrica

ID	conclusão												
	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.6	T.7	T.8	T.9	T.10	T.11	T.12	T.13
f	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
fl1		9	9	9	9	9				0	9	9	9
g	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
id1		5	5	5	5				5	5	5	5	5
io1			14	14	14	14	14	14		0	14	14	14
io2				15	15	15	15	15	15		15	15	15
io3		24	24	24	24				24	24	24	24	24
ip1			3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
p	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Total	29	68	85	100	100	71	62	62	77	62	100	98	98

Nota: T. = Tempo, onde: T.1: 09:00; T.2: 09:15; T.3: 09:30; T.4: 09:45; T.5: 10:00; T.6: 10:15; T.7: 10:30; T.8: 10:45; T.9: 11:00; T.10: 11:15; T.11: 11:30; T.12: 11:45; T.13: 12:00.

Para se realizar a primeira comparação, plotou-se o Gráfico 9 baseado nas medições do consumo real no período das 9h às 12h, e o consumo nominal dos equipamentos ligados no mesmo intervalo de tempo.

Gráfico 9 – Comparação entre o consumo real e o consumo nominal



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado, em alguns momentos o consumo real estava muito próximo do nominal, porém, em outros momentos o distanciamento foi mais considerável.

Essa diferença ocorre em função da carga com que o equipamento trabalha, do tipo do equipamento que estava ligado no dado momento e pelo desgaste do equipamento.

6.3.1 Simulação da Arquitetura

A arquitetura proposta é simulada em software com o auxílio de sistemas multiagentes e o *framework* JADE. Para a realização da simulação são criados todos os equipamentos descritos na Tabela 15 como EA's, respeitando todos os seus aspectos e características já descritas na mesma tabela. Também foi necessário criar um AMP para realizar o monitoramento do consumo e previsão de ultrapassagem da demanda.

Os registros de inicialização do ambiente de simulação, bem como a criação dos EA's encontram-se no APÊNDICE D, onde observamos o momento de inicialização do JADE e de todo o sistema, os momentos de inclusão dos EA's com as suas respectivas informações, considerando a formatação explicada na Tabela 15.

No momento de criação do AMP é necessário informar a demanda contratada da empresa com a concessionária de energia elétrica. Neste caso em específico, a demanda contratada é de 80kWh. Tratando-se de um ambiente de simulação, onde não se tem sensores para a leitura real do consumo instantâneo, será adotada como consumo a soma de todos os valores nominais de consumo dos EA's ligados a cada momento de simulação.

Uma vez inicializado o sistema de gerenciamento de energia, este inicia a execução da arquitetura tendo como uma das bases os dados informados pelo MES. Como na indústria estudada não há um sistema MES implementado, optou-se por alimentar manualmente o arquivo de troca de informações entre o MES e o sistema. Destacamos que esta alimentação é realizada tendo por base os dados coletados na indústria, ou seja, observamos individualmente cada equipamento e anotamos o momento em que este era ligado, entrava em produção e posteriormente desligado.

A leitura do consumo por parte da concessionária de energia elétrica é realizada a cada 15min, conforme já comentado anteriormente. Para fins de simulação, reduzimos este tempo para 2min, facilitando e agilizando o processo de simulação e captura dos resultados.

Na Tabela 16 é demonstrado o conteúdo do arquivo que seria produzido pelo MES (no caso específico da simulação, produzimos manualmente o arquivo, baseado nas informações coletadas na empresa) para a troca de informações com o sistema. Deve-se observar que a primeira coluna de cada momento traz a informação de quando há existência

de um pedido aguardando execução, a segunda coluna informa se este pedido é prioritário e a terceira coluna se o equipamento estar religado.

Tabela 16 – Conteúdo arquivo MES

ID	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.6	T.7	T.8	T.9	T.10	T.11	T.12	T.13
ar1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ar2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ar3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ar4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ar5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ar6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ar7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
chapa	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
d	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
f	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fl1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1
g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
id1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
io1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
io2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
io3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1
ip1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
p	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: T. = Tempo, onde: T.1: 09:00; T.2: 09:15; T.3: 09:30; T.4: 09:45; T.5: 10:00; T.6: 10:15; T.7: 10:30; T.8: 10:45; T.9: 11:00; T.10: 11:15; T.11: 11:30; T.12: 11:45; T.13: 12:00.

Com o sistema em funcionamento e a leitura do arquivo MES, diferentes equipamentos foram ligados e desligados, além de trocarem as suas ordens de prioridade. Vale destacar, que alguns equipamentos foram desligados por decisão do sistema, sem intervenção do operador. A Tabela 17 demonstra os resultados desta simulação, tempo a tempo e destacando individualmente cada equipamento.

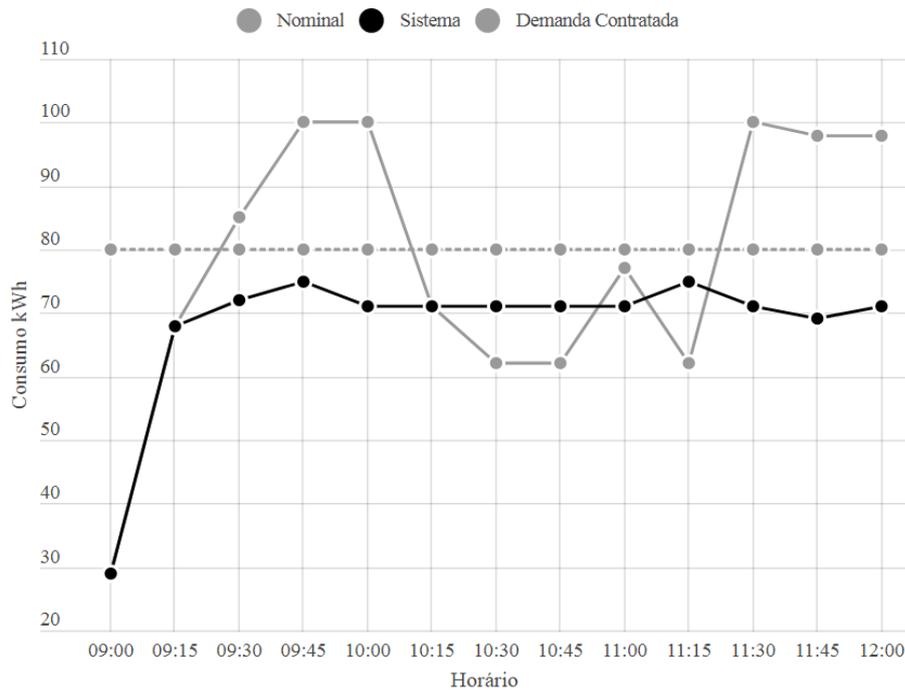
Tabela 17 – Resultado simulação

ID	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.6	T.7	T.8	T.9	T.10	T.11	T.12	T.13
ar1	1	1	1				1		1		1		1
ar2	1	1	1	1	1	1		1		1	1		1
ar3	1	1			1								
ar4	1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1
ar5	2	2										0	0
ar6		1			1						1		
ar7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
c1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
c2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
c3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
c4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
c5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
chapa	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
d	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
f	1	1	1			1	1	1	1	1		1	1
fl1		9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
g	5	5		5						5			
id1		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
io1			14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
io2													
io3		24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
ip1			3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
p	4	4											
Total	29	68	72	75	71	71	71	71	71	75	71	69	71

Nota: T. = Tempo, onde: T.1: 09:00; T.2: 09:15; T.3: 09:30; T.4: 09:45; T.5: 10:00; T.6: 10:15; T.7: 10:30; T.8: 10:45; T.9: 11:00; T.10: 11:15; T.11: 11:30; T.12: 11:45; T.13: 12:00.

Para efeitos de comparação, foi plotado o Gráfico 10 que apresenta uma curva dos valores nominais gastos pelos equipamentos sem a interação do sistema (valores coletados *in loco*), e outra curva com os valores gerados pelo sistema com a interação do MES e suas próprias tomadas de decisão de desligamento e religamento de equipamentos.

Gráfico 10 – Comparação entre valores nominais com e sem a interação do sistemas



Fonte: Elaborado pelo autor.

O APÊNDICE E apresenta uma tabela onde pode-se observar os parâmetros de ordem de serviço e prioridade de execução vindos do MES, bem como a prioridade prevista para o EA no início da sua existência e a nova prioridade atribuída pelo sistema durante a execução e as condições de liga/desliga.

Por fim, pode-se concluir que teve-se uma redução no consumo nominal de aproximadamente 127kWh e nenhuma ultrapassagem da demanda contratada, o que contribui para a redução do gasto com energia elétrica. Por tratar-se de um sistema simulado com dados reais de uma indústria, não pode-se mensurar de forma precisa os impactos na produção. Porém, analisando os tempos de funcionamento dos equipamentos e a ordem com que foram desligados e ligados, o responsável pela gráfica acredita que haverá um pequeno incremento no tempo produção do pedido.

7 CONCLUSÃO

Os custos com energia elétrica nas indústrias pode representar 40% dos custos produtivos, o que demonstra o quanto a energia elétrica pode influenciar na composição final do preço do produto. Quanto mais caro for o produto, maior será a dificuldade de inserção no mercado consumidor frente aos seus concorrentes.

A tarifação da energia elétrica nas indústrias segue um modelo que pressupõe a contratação de uma demanda fixa que deve ser paga, utilizando-a ou não. Por outro lado, se a demanda contratada for ultrapassada, deve-se pagar o excesso e as multas provenientes.

Observações indicam que industriários desconhecem este sistema de tarifação e não compreendem a conta de energia elétrica, o que leva a um aumento desnecessário nos custos de produção.

A arquitetura proposta utiliza-se de sistemas multiagentes com o auxílio do *framework* JADE implementada em linguagem Java. Na arquitetura são criados três agentes principais, sendo eles: o AMP, EA e o EAR. O AMP é responsável por monitorar e realizar a previsão de consumo de energia elétrica. O EA é o tipo de equipamento que pode ser ligado/desligado a qualquer momento, influenciando diretamente no consumo de energia elétrica. O EAR é um tipo de equipamento que aceita a modificação do valor de *setpoint* de forma remota, quando houver a necessidade de redução de consumo, reduz-se o *setpoint*, reduzindo assim, o consumo de insumos, inclusive de energia elétrica.

A troca de informações com o MES torna-se necessária, uma vez que sistemas produtivos modernos são controlados e programados com base nos pedidos realizados pelos clientes. Desta forma, o próprio MES, determina a ordem e prioridade de execução baseado em premissas que a ele foram determinadas.

Nas visitas realizadas na indústria estudada, observou-se que não havia um sistema MES implementado, também não havia uma rede de comunicação entre os diferentes dispositivos e muitos não contavam com controle automático. Desta forma, uma implementação da arquitetura nesta empresa seria difícil, pois demandaria um investimento e adequações no processo produtivo.

Já nos testes, observou-se que a arquitetura implementada exige muita capacidade de processamento e troca de informações entre os dispositivos, o que no “chão de fábrica” pode ser um empecilho.

A validação experimental teve como foco principal a criação de equipamentos virtuais (agentes) tendo por base os equipamentos reais existentes na indústria estudada, considerando suas características e tempos de funcionamento. Através da observação *in loco* pode-se criar um arquivo MES, que serviu de base para execução do sistema.

Durante a validação experimental da arquitetura, pode-se observar uma economia de energia e principalmente um controle para a não ultrapassagem da demanda contratada. Porém, pela análise realizada, se pode ter um incremento no tempo de produção.

A arquitetura mostra-se promissora, necessitando de ajustes, testes e validações, como forma de torna-la mais assertiva e de fácil implementação na indústria.

É sabido que uma indústria não pode basear-se somente numa métrica (custo de energia elétrica) como forma de balizar suas ações e tomadas de decisão, mas sendo esta métrica uma das mais influenciáveis no preço do produto final, pode ser um bom início para atingirmos os índices de competitividade exigidos pelo mercado atual.

7.1 CONTRIBUIÇÕES DESTA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação apresenta como contribuição o desenvolvimento de uma arquitetura capaz de estimar o consumo de energia elétrica e reagir diante desta previsão, selecionado o equipamento a ser desligado/religado ou alterado o *setpoint*, com base em critérios estabelecidos anteriormente e informações obtidas em tempo real do MES.

Quando comparada com as demais arquiteturas estudadas, observa-se que há uma tendência natural da utilização de MAS como sistema de eficiência energética em consumidores residenciais ou comerciais. Poucos estudos apresentam soluções de MAS com foco na indústria para o controle do consumo de energia elétrica, onde deve-se levar em consideração muitas características peculiares a esta atividade.

Pode ser destacada a criação de parâmetros para a integração do MES com os equipamentos agentes, com o objetivo principal de modificar a ordem de prioridade nos processos de desligamento, religamento e alteração de *setpoint*.

E ainda, a conceituação do EAR, que ao invés de desligar/religar um determinado equipamento, promove a alteração do valor do *setpoint* como forma de reduzir o consumo energético diminuindo o impacto no processo produtivo, além de possíveis oscilações/interferências na rede elétrica.

Esta arquitetura poderá ser utilizada em outras simulações, bem como trechos de seu código, como forma de facilitar e subsidiar futuros estudos.

Para uma implementação prática desta arquitetura, será necessária a observação de todas as ações propostas nesta dissertação, bem como a utilização de hardwares que possibilitem a execução de sistemas multiagentes descentralizados, ou seja, cada equipamento deverá receber um hardware acompanhado de software para que este possa tornar-se um EAR. Ao mesmo tempo, será necessário implementar o AMP em outro hardware, para que o sistemas possa operar dentro das premissas propostas.

7.2 TRABALHOS FUTUROS

Como trabalhos futuros, sugere-se:

- a) melhorias na implementação da arquitetura com a utilização de alguns EAR, visto que neste trabalho não houve tempo hábil para tal implementação;
- b) testes com outros algoritmos de previsão de consumo com o intuito de tornar o sistema mais ágil e mais preciso em suas previsões;
- c) integração real com um sistema MÊS;
- d) testes em outros segmentos industriais, levando em consideração os impactos na produção que esta arquitetura possa causar;
- e) implementação prática da arquitetura.

REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, R.; AGRAWAL, R. K. **An introductory study on time series modeling and forecasting**. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2013.
- ALVAREZ, L. O. Introdução aos sistemas multiagentes. *In: JORNADA DE ATUALIZAÇÃO EM INFORMÁTICA*, 16., 1997, Brasília. **Anais [...]** Brasília: UnB, 1997. p. 1-37.
- AMANDI, A. A. **Programação de agentes orientada a objetos**. 1997. Tese (Doutorado em Informática) – Programa Pós-graduação em Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 1997.
- AMORIM, D. G. **Redes ART com categorias internas de geometria irregular**. Tese (Doutorado em Física) – Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, 2006.
- ANEEL. Resolução normativa nº 745, de 22 de novembro de 2016. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, seção 1, v. 228, p. 27, 29 nov. 2016. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2016/038/resultado/ren2016745.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2019.
- ANEEL. Resolução normativa nº 414, de 09 de setembro de 2010. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, seção 1, v. 147, n. 177, p. 115, 15 set. 2010. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2019.
- ANTOINE, J. Y. *et al.* **Vers une taxinomie du vocabulaire pour les systèmes multi-agents**. *In: JOURNÉE SYSTÈMES MULTI-AGENTS DU PRC-GDR INTELLIGENCE ARTIFICIELLE*, 1ère., 1992, Nancy. **Actes [...]**. Paris: PRC-GDR, 1992. [n.p.].
- AUGHNEY, N.; O'DONNELL, G. E. The energy saving opportunity in targeting non-value added manufacturing activities e a structured approach. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 86, p. 191-200, Jan. 2015.
- BARATA, J.; CAMARINHA-MATOS, L.; ONORI, M. A multiagent based control approach for evolvable assembly systems. *In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL INFORMATICS*, 3rd., 2005, Perth. **Proceedings [...]**. Perth: IEEE, 2005. p. 478-483.
- BELLIFEMINE, F.; RIMASSA, G.; POGGI, A. JADE – A FIPA-compliant agent framework. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE PRACTICAL APPLICATION OF INTELLIGENT AGENTS AND MULTI-AGENT TECHNOLOGY*, 4., 1999, London, UK. **Proceedings [...]**. Blackpool: The Practical Application, 1999. p. 97-108.
- BELLIFEMINE, F. *et al.* **Developing multi-agent systems with JADE**. Chichester: Wiley, 2007.
- BEZERRA, F. E. **Uma abordagem computacional para previsão de demanda de energia elétrica e apoio à tomada de decisão no mercado de curto prazo no Brasil**. 2017. 96 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2017.

BORGES NETO, M. R. **Geração de energia elétrica: fundamentos**. São Paulo: Érica, 2012.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. **Time series analysis: forecasting and control**. New Jersey: HoldenDay, 2015.

BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. C. P. L. F.; LUDERMIR, T. B. **Redes neurais artificiais: teoria e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano decenal de expansão de energia 2027**. Brasília: MME/EPE, 2018. Disponível em: http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202027_aprovado_OFICIAL.pdf. Acesso em: 10 set. 2019.

BRIONES, A. G. B. *et al.* Multi-Agent Systems Applications in Energy Optimization Problems: A State-of-the-Art Review. **Journal of Energies**, Basel, v. 11, n. 8, Jul. 2018

CANNATA, A.; KARNOUSKOS, S.; TAISCH, M. Energy efficiency driven process analysis and optimization in discrete manufacturing. **Annual Conference of IEEE Industrial Electronics**, Porto, v. 35, p. 4449-4454, 2009.

CAO, S. *et al.* Conditional density forecast of China's energy demand via QRNN model. **Applied Economics Letters**, St. Louis, v. 25, n. 12, p. 867-875, 2017.

CARPENTER, G. A.; GROSSBERG, S. A self-organizing neural network for supervised learning, recognition and prediction. **IEEE Communications Magazine**, Piscataway, v. 30, n. 9, p. 38-49, 1992.

CNI. **A indústria em números**. Brasília: CNI, 2017.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. **Planejamento, programação e controle da produção**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2019: ano base 2018**. Rio de Janeiro: EPE, 2019.

FERNANDES, U. B. *et al.* Controle de demanda de energia de um sistema elétrico. *In: CEEL, IX, 2011, Uberaba. Anais [...]*. Uberaba: UFU, 2011. [n.p.].

FERREIRA, A.; LEITÃO, P.; BARATA, J. Prediction models for short-term load and production forecasting in smart electrical grids. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL APPLICATIONS OF HOLONIC AND MULTI-AGENT SYSTEMS, 8th, 2017, Lyon. Proceedings [...]*. Oklahoma: Springer. p. 186-199.

FIPA. **The intelligent physical agents**. Disponível em: <http://www.fipa.org/>. Acesso em: 10 abr. 2017.

FIRJAN. **Pesquisa de estudos sócio econômicos**. 3. ed. Rio de Janeiro, fev. 2017. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-economia/quanto-custa-a-energia-eletrica.htm>. Acesso em: 10 jan. 2018.

GOMES, L. C.; JOTA, P. R. S. Metodologia para processamento de dados para previsão de energia e curva de carga em edificações. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS FUZZY, 4., 2016, Campinas, SP. **Anais [...]**. Campinas, SP: Unicamp, 2016. [n.p.].

GOMES, T. T. **Rede ARTMAP Euclidiana utilizada na solução do problema de previsão de carga elétrica**. 2017. 75f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP, 2017.

GONTIJO, T. S. *et al.* Consumo industrial de energia elétrica: um estudo comparativo entre métodos preditivos. **Brazilian Journal of Production Engineering**, São Mateus, ES, v. 3, n. 3, p. 31-45, 2017.

HAYKIN, S. **Neural network**: a comprehensive foundation. São Paulo: Pearson, 2004.

JENNINGS, N. R. *et al.* ADEPT: managing business processes using intelligent agents. *In*: BCS EXPERT SYSTEMS CONFERENCE (ISIP Track), 1996, Cambridge, UK. **Proceeding [...]**. Cambridge: ISIP Track, 1996. [n.p.].

JENNINGS, N. R.; WOOLDRIDGE, M. Agent-oriented software engineering. *In*: BRADSHAW, Jef. (ed.). **Handbook of agent technology**. New York: MIT/AAAI Press, 2001.

JUN, Z. A. B. *et al.* A multi-agent solution to energy management in hybrid renewable energy generation system. **Renewable Energy**, Amsterdam v. 36, p.1352-1963, 2011.

JUNEJA, D.; JAGGA, A.; SINGH, A. A review of FIPA standardized agent communication language and interaction protocols. **Journal of Network Communications and Emerging Technologies**, India, v. 5, n. 2, p. 179–191, Dec. 2015.

KIRAN, P.; CHANDRAKALA, K. R. M. V.; NAMBIAR, T. N. P. Multi-agent based systems on micro grid – a review. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT COMPUTING AND CONTROL (I2C2), 2017, Coimbatore, India. **Proceedings [...]**. New York: IEEE, 2017. p. 1-6.

KLETTI, J. (ed.). **Manufacturing Execution Systems – MES**. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.

KOENKER, R.; BASSETT, G. W. Regression quantiles. **Econometrica**, Cleveland, v. 46, n. 1, p. 33-50, Jan. 1978.

KROSE, B.; SMAGT, P. V. **An introduction to neural networks**. 8 th. ed. Amsterdam: University of Amsterdam, 1996. *E-Book*.

LAGORSE, J.; PAIRE, D.; MIRAOU, A. A multi-agent system for energy management of distributed power sources. **Renewable Energy**, Amsterdam, v. 35, n. 1, p. 174-182, Jan. 2010.

LEITÃO, P.; RESISTIVO, F. An agile and cooperative architecture for distributed manufacturing system. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ROBOTIC AND MANUFACTURING*, 2001. Cancun, México. **Proceeding [...]**. Cancun: IASTED, 2001. p. 188-193.

LOPES, M. L. M. **Desenvolvimento de redes neurais para previsão de cargas elétricas de sistemas de energia elétrica**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, SP, 2005.

LUDER, A. *et al.* Design pattern for agent based production system control – A survey. *In: IEEE CONFERENCE ON AUTOMATION SCIENCE AND ENGINEERING (CASE)*, 2017. Xi'an, **Proceedings [...]**. Xi'an: IEEE, 2017. [n.p.].

LUSTOSA, O. *et al.* **Planejamento e controle da produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

MARCHIORI, S. C. **Desenvolvimento de um sistema para análise da estabilidade transitória de sistema de energia elétrica via redes neurais**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, SP, 2006.

MCARTHUR, S. D. J. *et al.* Multi-agent systems for power engineering applications. Part I: concepts, approaches, and technical challenges. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 22, n. 4, p. 1743-1752, Nov. 2007a.

MCARTHUR, S. D. J. *et al.* Multi-agent systems for power engineering applications. Part II: technologies, standards, and tools for building multi-agent systems. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 22, n. 4, p. 1753-1759, Nov. 2007b.

MEDEIROS, L. F. de. **Inteligência artificial aplicada: uma abordagem introdutória**. Curitiba: InterSaberes, 2018.

MELLO, A. C. S.; BOTINHÃO, C. V. MES (Manufacturing Execution System): uma abordagem histórica, conceitual e funcional. **Revista InTech**, São Paulo, n. 141, p. 38-45, 2012.

MESA. **Model strategic initiatives**. 2. ed. Chandler, 2008. Disponível em: <http://www.mesa.org/en/modelstrategicinitiatives/MESAModel.asp>. Acesso em: 23 jan. 2019.

MITCHELL, T. M. **Machine learning**. Ithaca: McGraw-Hill Science, 1997.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. 3. ed. São Paulo: Blücher, 2018.

NOGUEIRA, L. A. H.; CARDOSO, R. B. Perspectivas da matriz energética mundial e no Brasil. **Revista O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 2, n. 22, p. 32-43, nov. 2007.

O'BRIEN, P. D.; NICOL, R. C. Fipa – towards a standard for software agents. **BT Technology Journal**, Basel, v. 16, n. 3, p. 51–59, Jul. 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1009621729979>. Acesso em: 15 nov. 2017.

OZUR, F. S.; PEREIRA, T. H.; CORREA, J. S. Controle de demanda de energia elétrica. **3e-xacta**, Belo Horizonte, v. 4, n. 3, p. 191-202, 2011.

PAULOS, J. P. F. P. **Previsão de consumo de energia elétrica e do preço da eletricidade através de redes neuronais de regressão generalizada**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: Unicenp, 2007.

PEIXOTO, J. A. **Desenvolvimento de sistemas de automação da manufatura usando arquiteturas orientadas a serviços e sistemas multi-agentes**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2012.

RITZMAN, L.; KRAJEWSKI, L. J. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

RUMELHART, D. E.; MCCLELLAND, J. L. **Parallel Distributed Processing**, Cambridge, USA: MIT Bradford Press, 1986. v. 1.

SENAI. **Desenvolvimento industrial e qualificação dos trabalhadores**. Brasília, 2009.

SILVA, L. A. de M. **Estudo e desenvolvimento de sistemas multiagentes usando JADE: Java Agent Development framework**. 2003. 97f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Informática) – Centro de Ciências Tecnológicas – CCT, Universidade de Fortaleza – UNIFOR. Fortaleza, 2003. Disponível em: <http://https://jade.tilab.com/papers/2003/monografia.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2017.

SIMOES, M. G.; BHATTARAI, S. Multi agent based energy management control for commercial buildings. *In: IEEE INDUSTRY APPLICATIONS SOCIETY ANNUAL MEETING*, 2011. Orlando, FL. **Proceedings [...]**. Orlando: IEEE, 2011. [n.p.].

TAYLOR, J. W. A quantile regression neural network approach to estimating the conditional density of multiperiod returns. **Journal of Forecasting**, Oxford, v. 19, n. 4, p. 299-311, Oct.-Dec. 2000.

VIEIRA, M. C. **Controle de demanda de energia utilizando inteligência computacional**. 2016. 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas e Automação) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2016.

VUSKOVIC, M.; DU, S. Classification of EMG patterns with simplified fuzzy ARTMAP networks. *In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS*, 2002, Honolulu. **Proceeding [...]**. New York: IEEE, 2002.

WOOLDRIDGE, M. Intelligent Agents. *In: WEISS, G. (ed.). Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence*. Massachusetts: MIT Press, 1999.

WOOLDRIDGE, M. **An introduction to multi agent systems**. New York: John Wiley & Sons, 2002. 461 p.

WOOLDRIDGE, M.; JENNINGS, N. R. **Intelligent agents: theory and practice. The Knowledge Engineering Review**, Cambridge, v. 10, n. 2, p. 115-152, 1995.

ZHANG, Y. H. *et al.* An extensible event-driven manufacturing management with complex event processing approach. **International Journal of Control**, New York, v. 2, n. 3, p. 1-12, Sept. 2009.

ZHAO, P.; SURYANARAYANAN, S.; SIMÕES, M. G. An energy management system for building structures using a multi-agent decision-making control methodology. **IEEE Transactions on Industry Applications**, Piscataway, v. 49, n. 1, Jan.- Feb. 2013.

APÊNDICE A – REGISTRO DOS DADOS DE SAÍDA DO SISTEMA

Hora simulação	Equipamento	Prioridade Atual	Valor da <i>Hashtable</i>	Consumo Simulação	Consumo Nominal	Hora leitura Consumo Nominal
20:44:07	io3	1	33002411566947200000	71	98	12:00
20:44:07	io2	1	33001501566946800000	71	98	12:00
20:44:07	fl1	1	31500911566947100000	71	98	12:00
20:44:07	chapa	2	30500211566946700000	71	98	12:00
20:44:07	c3	2	21000111566946600000	71	98	12:00
20:44:07	c4	2	21000111566946600000	71	98	12:00
20:44:07	c5	2	21000111566946700000	71	98	12:00
20:44:07	c1	2	21000111566946500000	71	98	12:00
20:44:07	c2	2	21000111566946600000	71	98	12:00
20:44:07	io1	2	33001411566947400000	71	98	12:00
20:44:07	d	3	40100511566946900000	71	98	12:00
20:44:07	ip1	3	40500311566947400000	71	98	12:00
20:44:07	ar5	4	40100201566949100000	71	98	12:00
20:44:07	ar7	4	40100101566949000000	71	98	12:00
20:44:07	p	4	40100401566949400000	71	98	12:00
20:44:07	ar3	4	40100101566949400000	71	98	12:00
20:44:07	ar6	4	40100101566949400000	71	98	12:00
20:44:07	g	4	40100501566949400000	71	98	12:00
20:44:07	ar1	4	40100111566949400000	71	98	12:00
20:44:07	id1	4	40500511566947200000	71	98	12:00
20:44:07	ar4	4	40100111566949000000	71	98	12:00
20:44:07	f	4	40100111566949100000	71	98	12:00
20:44:07	ar2	4	40100111566949300000	71	98	12:00

APÊNDICE B – REGISTRO DE INICIALIZAÇÃO DO SISTEMA E CADASTRO DOS EA'S – CASO 1

run:

set 12, 2019 2:07:14 PM jade.core.Runtime beginContainer

INFORMAÇÕES: -----

This is JADE 4.5.0 - revision 6825 of 23-05-2017 10:06:04
downloaded in Open Source, under LGPL restrictions,
at <http://jade.tilab.com/>

set 12, 2019 2:07:15 PM jade.imtp.leap.LEAPIMTPManager initialize

INFORMAÇÕES: Listening for intra-platform commands on address:

- jicp://10.201.161.89:1099

set 12, 2019 2:07:16 PM jade.core.BaseService init

INFORMAÇÕES: Service jade.core.management.AgentManagement initialized

set 12, 2019 2:07:16 PM jade.core.BaseService init

INFORMAÇÕES: Service jade.core.messaging.Messaging initialized

set 12, 2019 2:07:16 PM jade.core.BaseService init

INFORMAÇÕES: Service jade.core.resource.ResourceManagement initialized

set 12, 2019 2:07:17 PM jade.core.BaseService init

INFORMAÇÕES: Service jade.core.mobility.AgentMobility initialized

set 12, 2019 2:07:17 PM jade.core.BaseService init

INFORMAÇÕES: Service jade.core.event.Notification initialized

set 12, 2019 2:07:17 PM jade.mtp.http.HTTPServer <init>

INFORMAÇÕES: HTTP-MTP Using XML parser com.sun.org.apache.xerces.internal.jaxp.SAXParserImpl\$JAXPSAXParser

set 12, 2019 2:07:17 PM jade.core.messaging.MessagingService boot

INFORMAÇÕES: MTP addresses:

<http://ProfDirlei-PC:7778/acc>

set 12, 2019 2:07:17 PM jade.core.AgentContainerImpl joinPlatform

INFORMAÇÕES: -----

Agent container Main-Container@10.201.161.89 is ready.

Bem vindo agente equipamento e1@10.201.161.89:1099/JADE

Prioridade: 4 disponivel consumindo: 41001011568308104539 kWh

Bem vindo agente equipamento e2@10.201.161.89:1099/JADE

Prioridade: 3 disponivel consumindo: 32002011568308130757 kWh

Bem vindo agente equipamento e3@10.201.161.89:1099/JADE

Prioridade: 2 disponivel consumindo: 23003011568308149177 kWh

Bem vindo agente equipamento e4@10.201.161.89:1099/JADE

Prioridade: 4 disponivel consumindo: 44004001568308168624 kWh

Bem vindo agente equipamento e5@10.201.161.89:1099/JADE

Prioridade: 3 disponivel consumindo: 35005001568308185127 kWh

Digite a demanda contratada:

70

APÊNDICE D – REGISTRO DE INICIALIZAÇÃO DO SISTEMA E CADASTRO DOS EA'S – CASO 2

run:

ago 27, 2019 7:55:17 PM jade.core.Runtime beginContainer

INFORMAÇÕES: -----

This is JADE 4.5.0 - revision 6825 of 23-05-2017 10:06:04
downloaded in Open Source, under LGPL restrictions,
at <http://jade.tilab.com/>

ago 27, 2019 7:55:18 PM jade.imtp.leap.LEAPIMTPManager initialize

INFORMAÇÕES: Listening for intra-platform commands on address:

- jicp://10.200.118.17:1099

ago 27, 2019 7:55:19 PM jade.core.BaseService init

INFORMAÇÕES: Service jade.core.management.AgentManagement initialized

ago 27, 2019 7:55:19 PM jade.core.BaseService init

INFORMAÇÕES: Service jade.core.messaging.Messaging initialized

ago 27, 2019 7:55:19 PM jade.core.BaseService init

INFORMAÇÕES: Service jade.core.resource.ResourceManagement initialized

ago 27, 2019 7:55:19 PM jade.core.BaseService init

INFORMAÇÕES: Service jade.core.mobility.AgentMobility initialized

ago 27, 2019 7:55:19 PM jade.core.BaseService init

INFORMAÇÕES: Service jade.core.event.Notification initialized

ago 27, 2019 7:55:19 PM jade.mtp.http.HTTPServer <init>

INFORMAÇÕES: HTTP-MTP Using XML parser com.sun.org.apache.xerces.internal.jaxp.SAXParserImpl\$JAXPSAXParser

ago 27, 2019 7:55:19 PM jade.core.messaging.MessagingService boot

INFORMAÇÕES: MTP addresses:

<http://ProfDirlei-PC:7778/acc>

ago 27, 2019 7:55:19 PM jade.core.AgentContainerImpl joinPlatform

INFORMAÇÕES: -----

Agent container Main-Container@10.200.118.17 is ready.

Bem vindo agente equipamento c1@10.200.118.17:1099/JADE
Prioridade: 2 disponivel consumindo: 21000111566946592661 kWh
Bem vindo agente equipamento ar1@10.200.118.17:1099/JADE
Prioridade: 4 disponivel consumindo: 40100111566946619567 kWh
Bem vindo agente equipamento c2@10.200.118.17:1099/JADE
Prioridade: 2 disponivel consumindo: 21000111566946636659 kWh
Bem vindo agente equipamento c3@10.200.118.17:1099/JADE
Prioridade: 2 disponivel consumindo: 21000111566946653804 kWh
Bem vindo agente equipamento c4@10.200.118.17:1099/JADE
Prioridade: 2 disponivel consumindo: 21000111566946685080 kWh
Bem vindo agente equipamento ar2@10.200.118.17:1099/JADE
Prioridade: 4 disponivel consumindo: 40100111566946705303 kWh
Bem vindo agente equipamento chapa@10.200.118.17:1099/JADE
Prioridade: 3 disponivel consumindo: 30500211566946728190 kWh
Bem vindo agente equipamento c5@10.200.118.17:1099/JADE
Prioridade: 2 disponivel consumindo: 21000111566946742173 kWh
Bem vindo agente equipamento ar3@10.200.118.17:1099/JADE
Prioridade: 4 disponivel consumindo: 40100111566946756464 kWh
Bem vindo agente equipamento id1@10.200.118.17:1099/JADE
Prioridade: 4 disponivel consumindo: 40500501566946781380 kWh
Bem vindo agente equipamento ip1@10.200.118.17:1099/JADE
Prioridade: 4 disponivel consumindo: 40500301566946797757 kWh
Bem vindo agente equipamento ar4@10.200.118.17:1099/JADE
Prioridade: 4 disponivel consumindo: 40100111566946816598 kWh
Bem vindo agente equipamento io1@10.200.118.17:1099/JADE

Prioridade: 3 disponivel consumindo: 33001401566946841238 kWh
Bem vindo agente equipamento io2@10.200.118.17:1099/JADE
Prioridade: 3 disponivel consumindo: 33001501566946856119 kWh
Bem vindo agente equipamento io3@10.200.118.17:1099/JADE
Prioridade: 3 disponivel consumindo: 33002401566946875429 kWh
Bem vindo agente equipamento ar5@10.200.118.17:1099/JADE
Prioridade: 4 disponivel consumindo: 40100211566946892305 kWh
Bem vindo agente equipamento fl1@10.200.118.17:1099/JADE
Prioridade: 3 disponivel consumindo: 31500901566946909334 kWh
Bem vindo agente equipamento ar6@10.200.118.17:1099/JADE
Prioridade: 4 disponivel consumindo: 40100101566946927298 kWh
Bem vindo agente equipamento g@10.200.118.17:1099/JADE
Prioridade: 4 disponivel consumindo: 40100511566946940789 kWh
Bem vindo agente equipamento p@10.200.118.17:1099/JADE
Prioridade: 4 disponivel consumindo: 40100411566946955108 kWh
Bem vindo agente equipamento d@10.200.118.17:1099/JADE
Prioridade: 4 disponivel consumindo: 40100511566946970083 kWh
Bem vindo agente equipamento f@10.200.118.17:1099/JADE
Prioridade: 4 disponivel consumindo: 40100111566946991734 kWh
Bem vindo agente equipamento ar7@10.200.118.17:1099/JADE
Prioridade: 4 disponivel consumindo: 40100111566947012773 kWh

Digite a demanda contratada:

80

APÊNDICE E – TABELA COMPARATIVA DOS PARÂMETROS DE LEITURA DO MES E INTERAÇÃO DO SISTEMA – CASO 2

Equipamento	Prioridade Inicial	09:00				09:15				09:30				09:45				10:00				10:15				10:30				10:45				11:00				11:15				11:30				11:45				12:00			
		Ordem Serviço	Prioridade Serviço	Prioridade Prevista	Prioridade Realizada	Ordem Serviço	Prioridade Serviço	Prioridade Prevista	Prioridade Realizada	Ordem Serviço	Prioridade Serviço	Prioridade Prevista	Prioridade Realizada	Ordem Serviço	Prioridade Serviço	Prioridade Prevista	Prioridade Realizada	Ordem Serviço	Prioridade Serviço	Prioridade Prevista	Prioridade Realizada	Ordem Serviço	Prioridade Serviço	Prioridade Prevista	Prioridade Realizada	Ordem Serviço	Prioridade Serviço	Prioridade Prevista	Prioridade Realizada	Ordem Serviço	Prioridade Serviço	Prioridade Prevista	Prioridade Realizada	Ordem Serviço	Prioridade Serviço	Prioridade Prevista	Prioridade Realizada	Ordem Serviço	Prioridade Serviço	Prioridade Prevista	Prioridade Realizada												
ar1	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4								
ar2	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4								
ar3	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4								
ar4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4								
ar5	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4								
ar6	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4								
ar7	4	0	0	4	2	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4								
c1	2	0	0	2	4	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2								
c2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2								
c3	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2								
c4	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2								
c5	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2								
chapa	3	1	0	2	2	1	0	2	2	1	0	2	2	1	0	2	2	0	0	3	3	0	0	3	3	0	0	3	3	0	0	3	3	0	0	3	3	0	0	3	3	1	0	2	2	1	0	2	2				
d	4	1	0	3	3	1	0	3	3	1	0	3	3	1	0	3	3	1	0	3	3	1	0	3	3	1	0	3	3	1	0	3	3	1	0	3	3	1	0	3	3	1	0	3	3								
f	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4								
fl1	3	0	0	3	2	1	0	2	2	1	0	2	2	1	0	2	2	1	0	2	2	1	0	2	2	0	0	3	3	0	0	3	3	0	0	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
g	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4								
id1	4	0	0	4	3	1	0	3	3	1	0	3	3	1	0	3	3	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4								
io1	3	0	0	3	2	0	0	3	2	1	0	2	2	1	0	2	2	1	0	2	2	1	0	2	2	1	0	2	2	1	0	2	2	0	0	3	3	0	0	3	3	1	0	2	2	1	0	2	2				
io2	3	0	0	3	1	0	0	3	1	0	0	3	3	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
io3	3	0	0	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
ip1	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	1	0	3	3	1	0	3	3	1	0	3	3	1	0	3	3								
p	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4								