

GILBERTO PASCHOAL BUCCIERI

**Sistemas Baseados em Conhecimento para aplicação de eficiência energética e
conservação de energia para plantas industriais.**

Guaratinguetá - SP
2018

GILBERTO PASCHOAL BUCCIERI

Sistemas Baseados em Conhecimento para aplicação de eficiência energética e conservação de energia para plantas industriais.

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica na área de Energia.

Orientador: Prof. Dr. José Alexandre Matelli
Co-orientador: Prof. Dr. Jose Antonio Perrella Balestieri

Guaratinguetá - SP
2018

B918s Buccieri, Gilberto Paschoal
Sistemas baseados em conhecimento para aplicação de eficiência energética e conservação de energia para plantas industriais / Gilberto Paschoal Buccieri – Guaratinguetá, 2018.
191 f. : il.
Bibliografia: f. 112-117

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2018.
Orientador: Prof. Dr. José Alexandre Matelli
Coorientador: Prof. Dr. José Antonio Perrella Balestieri

1. Energia elétrica – conservação. 2. Gestão do conhecimento.
3. Processo decisório. I. Título.

CDU 620.9(043)

GILBERTO PASCHOAL BUCCIERI

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
"DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA"

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: ENERGIA

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr.ª Ana Paula Rosifini Alves Claro
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. JOSÉ ALEXANDRE MATELLI
Coorientador / UNESP/FEG


Prof. Dr. RUBENS AEVÉS DIAS
UNESP/FEG


Prof. Dr.ª PALOMA MARIA SILVA ROCHA RIZOL
UNESP/FEG


Prof. Dr. JONNY CARLOS DA SILVA
Universidade Federal de Santa Catarina


Prof. Dr.ª ELISANGELA MARTINS LEAL
Universidade Federal de Ouro Preto/MG

Março de 2018

DADOS CURRICULARES

GILBERTO PASCHOAL BUCCIERI

NASCIMENTO	26.01.1965 – SÃO PAULO / SP
FILIAÇÃO	Ademar Brasil Buccieri Eni Domingos
1980/1983	Curso Técnico em Eletrônica Colégio Anchieta – São Bernardo do Campo.
1986/1989	Curso de Graduação Ciências da Computação, na Universidade Municipal de São Caetano Sul.
1997/1998	Curso de Pós-Graduação em Marketing Internacional, nível de Especialista, na Universidade Paulista / SP.
2001/2002	Curso MBA em Gestão Empresarial, nível de Especialista, na Fundação Getúlio Vargas / SP.
2003/2003	Curso MBA Internacional em Gestão de Negócios Empresariais, nível de Especialista, na Universidade de Ohio / USA.
2012/2014	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado, na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.
2015/2018	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Doutorado, na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.

à minha filha Bruna e aos meus pais Ademar e Eni, pois sempre apoiaram e acreditaram principalmente com paciência para dividir o tempo necessário para tal dedicação.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos,

ao meu orientador, *Prof. Dr. José Alexandre Matelli* e coorientador *Prof. Dr. José Antônio Perrella Balestieri* que jamais deixaram de me incentivar. Sem as suas orientações, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível.

aos meus pais *Ademar* e *Eni*, e minha filha *Bruna*, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos.

às funcionárias da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar,

aos funcionários da secretária da pós-graduação *Cristina*, *Renata*, *Rodrigo* e *Sidney*, pela dedicação e alegria no atendimento,

aos especialistas *Ana Carolina Andolpho*, *Antônio Carlos Messora*, *Antônio Carlos Santiago*, *Brasilino Pereira*, *Helano Santiago da Silva*, *José Maria da Gama*, *Luiz Fernando Cavalca*, *Moises Henrique de Andrade Costa*, *Pedro Kretchetoff* e *Reynaldo Paes Leme*, pelos conhecimentos compartilhados.

“Tudo o que temos de decidir é o que fazer com o tempo que nos é dado.”

John Ronald Reuel Tolkien

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de sistema especialista (SE) dotado de um módulo de geração de explicação (MGE) para diagnóstico preliminar de eficiência energética em plantas industriais, considerando as características fundamentais de operação e manutenção dessas plantas. Embora a capacidade de explicar processos de raciocínio distinga o SE de outros sistemas de apoio à decisão, disponibilizar um MGE ajuda a promover uma análise crítica das decisões tomadas pelo SE. Em adição, o MGE é muito útil também na validação da base de conhecimento, permitindo detectar erros semânticos do sistema e monitorar detalhes do processo de inferência, o que pode levar a uma redução de tempo de desenvolvimento e maior aceitação do sistema, aumentando dessa forma sua confiabilidade e principalmente, sua credibilidade. A base de conhecimento do sistema foi construída a partir da experiência de especialistas multidisciplinares da área de eficiência energética industrial, o que é certamente um recurso valioso em um contexto de gestão do conhecimento (GC) organizacional. A GC torna o conhecimento humano especializado em valor duradouro, criando uma memória corporativa por meio de ações de compartilhamento e retenção, o que pode contribuir para a melhoria contínua dos processos, criação de valor e manutenção de vantagens competitivas. Para demonstrar as possibilidades de melhoria de eficiência energética, os principais sistemas de utilidades de uma planta industrial são analisados de forma individual. Para tanto, tais sistemas são classificados como primário (energia elétrica, gás natural e água) e secundário (ar comprimido, ar condicionado, iluminação e sistemas de aquecimento). Estudos de caso são executados no protótipo SE para demonstrar como seu uso pode disseminar boas práticas de eficiência energética industrial, bem como de gestão de conhecimento, possibilitando criar uma memória corporativa permanentemente disponível nos computadores da organização e independente da disponibilidade de especialistas humanos.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema especialista. Eficiência energética. Módulo de geração de explicação. Gestão do conhecimento.

ABSTRACT

This work presents the development of an expert system prototype (ES) with an explanation facility module (EFM) for preliminary diagnosis of energy efficiency guidelines in industrial plants, considering the fundamental characteristics of operation and maintenance of these plants. Although the ability to explain its own reasoning distinguishes ES from other decision support systems, providing an EFM contributes to promote a critical analysis of the decisions taken by the ES. In addition, the EFM is also very useful in validating the knowledge base, because it facilitates the detection of semantic errors and allows a better monitoring of the inference process. Because of that, the EFM can reduce the development time and contribute to a broader acceptance of the system, which positively impacts its reliability and credibility. The knowledge base of the system was built on the experience of multidisciplinary experts in the field of industrial energy efficiency that is certainly a valuable resource in an organizational knowledge management (KM) context. The KM becomes the human knowledge in permanent value by creating a corporate memory through sharing and retention actions that may contribute to continuous improvement of processes, value creation and maintaining competitive advantage. In order to properly demonstrate the possibilities of energy efficiency improvement, the main utility systems of an industrial plant are analyzed individually. To do so, such systems are classified as primary (power, natural gas and water) and the secondary (compressed air, air conditioning, lighting and heating systems). Case studies are performed in the ES prototype in order to show how its use can disseminate good energy efficiency practices and good knowledge management practices as well, making it possible to create a corporate memory permanently available on the organization's computers and independent of the availability of human experts.

KEYWORDS: Expert system. Energy efficiency. Explanation facility module. Knowledge management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Elementos de um sistema especialista	37
Figura 2 - Exemplo de encadeamento direto	48
Figura 3 - Regras utilizadas no exemplo da Figura 2	49
Figura 4 - Exemplo de encadeamento reverso.....	49
Figura 5 - Ativação de métodos.....	53
Figura 6 - Comunicação baseada em mensagens	54
Figura 7 - Esquema de uma regra para seleção das utilidades	68
Figura 8 - Controle de fluxo de informações do protótipo SE	68
Figura 9 - Exemplo de controle de fluxo de informações do protótipo SE.....	69
Figura 10 – Relações entre as utilidades “Primárias” e “Secundárias”	70
Figura 11 - Relatório MGE – Saída 1	70
Figura 12 - Relatório MGE – Saída 2.....	71
Figura 13 - Janelas de comunicação do CLIPS	72
Figura 14 - Ciclo de vida do protótipo SE.....	73
Figura 15 - Tabela de ciclos de desenvolvimento do protótipo SE.....	74
Figura 16 - Investimento e o potencial de economia de energia previsto	76
Figura 17 – Perguntas do SE x percentual de eficiência energética.....	77
Figura 18 – Visão geral dos arquivos e suas relações	79
Figura 19 - Janelas do CLIPS: Seleção de Utilidades	80
Figura 20 - Janelas do CLIPS: Levantamento sobre Sistema de Medição Independente	81
Figura 21 - Janelas do CLIPS: Levantamento de Demanda Contratual de Água	82
Figura 22- Janelas do CLIPS: Tipos de abastecimento de água.....	83
Figura 23 - Janelas do CLIPS: Reservatório e tratamento para água captada.....	83
Figura 24 - Janelas do CLIPS: Definição de Projeto ou Manutenção	84
Figura 25 - Janelas do CLIPS: Fatores de dimensionamento de água pluvial	85
Figura 26 - Janelas do CLIPS: Cálculo de dimensionamento de reservatório	85
Figura 27 - Janelas do CLIPS: Final de encadeamento.....	86
Figura 26 - Relatório de Saída 2, gerado pelo MGE (Caso 1)	188
Figura 27 - Relatório de Saída 2, gerado pelo MGE (Caso 2)	188
Figura 28 - Relatório de Saída 2, gerado pelo MGE (Caso 3)	189
Figura 29 – Mapa da radiação global horizontal media anual.....	191

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BC	Base de Conhecimento
CLIPS	C Language Integrated Production System
EC	Engenheiro do Conhecimento
EE	Eficiência Energética
GC	Gestão do Conhecimento
LHS	Lado Esquerdo da Regra (do inglês left-hand side)
MGE	Módulo de Geração de Explicação
NASA	National Aeronautics and Space Administration
RHS	Lado Direito da Regra (do inglês right-hand side)
SE	Sistema Especialista
SHELL	Ferramenta computacional para implantação de um SE

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
1.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	16
1.2	GESTÃO DO CONHECIMENTO	17
1.3	SISTEMA ESPECIALISTA	18
1.4	OBJETIVO	18
1.5	CONTRIBUIÇÕES.....	19
1.6	LIMITAÇÕES DA PESQUISA	20
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2.	REVISÃO DA LITERATURA	22
2.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	22
2.2	GESTÃO DO CONHECIMENTO	28
2.3	SISTEMA ESPECIALISTA	30
3.	MATERIAL E MÉTODO	35
3.1	SISTEMA ESPECIALISTA	35
3.1.1	Elementos de um SE	36
3.1.2	Módulo de Geração de Explicação	38
3.1.3	Vantagens de um SE	39
3.1.4	Desvantagens de um SE	40
3.1.5	Características desejáveis em um SE	41
3.2	DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA	42
3.2.1	Processo de desenvolvimento de um SE	42
3.2.2	Engenharia do Conhecimento	43
3.2.3	Aquisição do conhecimento	45
3.2.3.1	Abordagem direta	45
3.2.3.2	Abordagem Observacional	46
3.2.3.3	Abordagem Indireta	46
3.2.3.4	Processamento de documentos	47
3.2.4	Representação do conhecimento	47
3.2.5	Base do Conhecimento	50
3.2.5.1	Regras	50
3.2.5.2	Orientação a Objetos.....	52
3.2.6	Implantação de um SE	55
3.2.7	Verificação e Validação	56

4.	DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO SE	59
4.1	AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO	59
4.1.1	Seleção das empresas	60
4.1.2	Seleção dos especialistas	60
4.1.3	Processamento de documentos.....	62
4.1.4	Abordagem direta	63
4.1.5	Abordagem observacional.....	64
4.1.6	Abordagem indireta.....	65
4.1.7	Reuniões com especialistas	65
4.2	REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO	67
4.3	IMPLANTAÇÃO COMPUTACIONAL.....	71
4.3.1	Escolha do Shell.....	71
4.3.2	Ciclo de desenvolvimento versus Ciclo de vida	73
4.3.3	Características do Protótipo SE	74
4.3.4	Escopo do projeto.....	77
4.3.5	Funções do protótipo SE	78
4.3.6	Funcionamento do protótipo SE.....	79
4.4	VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO	87
5	ESTUDO DE CASO E DISCUSSÃO.....	92
5.1	ESTUDO DE CASO 1	92
5.2	ESTUDO DE CASO 2.....	95
5.3	ESTUDO DE CASO 3.....	100
5.4	DISCUSSÃO	105
6	CONCLUSÃO	108
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	111
	REFERÊNCIAS.....	112
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	118
	APÊNDICE A – LISTA DE VALIDAÇÃO INICIAL (PARCIAL).....	119
	APÊNDICE B – Lista de VALIDAÇÃO VERSÃO 1 (PARCIAL)	125
	APÊNDICE C – LISTA DE VALIDAÇÃO VERSÃO 2 (parcial)	141
	APÊNDICE E – RELATÓRIO de SAÍDA 1	184
	APÊNDICE F – ARQUIVOS DE SAÍDA 2 (CASOS 1,2,3).....	188
	APÊNDICE G – DIMENSIONAMENTO DE AQUECIMENTO SOLAR.....	190

1. INTRODUÇÃO

Apesar do Brasil se destacar por ser um país que concentra a maior parte da sua geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, a situação atual do setor elétrico é preocupante. Após sérias consequências do racionamento de energia em 2001 e da grande seca ocorrida em 2015, que resultou em longos períodos de despacho das geradoras termoelétricas, a presente preocupação com os custos, preservação do meio ambiente e desenvolvimento sustentável, o uso eficiente de energia (elétrica, em particular) tornou-se tema de discussões e estudos na indústria, buscando alternativas que viabilizem a economia de energias sem prejuízos à produção ou às condições adequadas para o funcionamento das instalações. Para suprir a demanda necessária em um futuro próximo, é necessário investir em geração e também adotar políticas para utilização racional da energia, ou seja, adotar de forma mais abrangente e objetiva a eficiência energética (VIANA; BEZERRA, 2009; ELETROBRAS, 2016).

A aplicação da eficiência energética na indústria, de forma geral, requer conhecimento especializado na área, participação de todos os níveis de colaboradores da empresa, além de investimentos diversos que, se aplicados de forma coerente e gradativa, podem trazer muitas vantagens e reduções de custo. Contudo, o conhecimento especializado nem sempre está disponível na empresa, sendo necessário investimento adicional em consultorias que, em muitos casos, pode desestimular sua aplicação.

O presente trabalho apresenta o protótipo de sistema computacional inteligente capaz de realizar o diagnóstico preliminar de eficiência energética em plantas industriais, disponibilizar relatório com recomendações técnicas de especialistas da área, além de promover análise crítica das decisões tomadas pelo sistema. Devido à natureza heurística da análise de eficiência energética em utilidades industriais e à exigência de conhecimento especializado envolvido nessa atividade, é utilizada técnica de Inteligência Artificial chamada Sistema Baseado em Conhecimento, também conhecido como Sistema Especialista. Devido a este caráter fortemente multidisciplinar, três áreas distintas são pesquisadas para o desenvolvimento do sistema. A primeira delas é a eficiência energética na indústria, em que se destacam: conceituação e mercado (VIANA; BEZERRA, 2009; SANTOS; SOUZA, 2012; ELETROBRAS, 2016; HENRIQUES; CATARINO, 2016); seleção de especialistas (BUCCIERI, 2014); modelo de maturidade em gerenciamento de energia ISO 50.001 (JOVANOVI; FILIPOVI, 2016); gestão e controle de energia (JOVANOVI; FILIPOVI, 2016; SCHULZE; HEIDENREICH, 2016; SCHULZE et al., 2016); e benefícios diretos e indiretos

(PARAMONOVA; THOLLANDER; OTTOSSON, 2015; HROVATIN; DOLSAK; ZORIC, 2016; KANG; LEE, 2016; NEHLER; RASMUSSEN, 2016; PETEK; GLAVIC; KOSTEVEK, 2016; ROY; KHASTAGIR, 2016).

A segunda área pesquisada é a gestão de conhecimento, voltada à retenção do conhecimento de especialistas para o estabelecimento de critérios e métodos para assegurar a gestão efetiva (SIEMIENIUCH; SINCLAIR, 2004; CHEN; HUANG; CHENG, 2009; CHANG; CHUANG, 2011; LI; TARAFDAR; RAO, 2012; XU; BERNARD, 2013; MURA et al, 2016).

A terceira é a área de sistemas especialistas, destacando-se a conceituação geral, princípios e programação (GIARRATANO; RILEY, 1998), aplicação na área de projetos de cogeração e eficiência (MATELLI, 2008), análise de falhas em tubulações de óleo e gás (CASTELLANOS et al., 2011a, 2011b), construção e explicação do raciocínio lógico (HAKIMA; OPPACHER, 1990; DHALIWAL; TUNG, 2000; LACAVE; ONIS'KO; DI'EZ, 2006; MATELLI, 2008; GARCIA et al., 2013; HORRIDGE et al., 2013), criação de estratégias, estatística, sistema de gestão e planejamento (BRAHAN et al., 1998; KIRIS et al., 2010; LENDEL; VARMUS, 2010; GUERRERO, et al., 2014).

1.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Eficiência energética é uma atividade que busca melhorar o uso das fontes de energia, ou seja, consiste em usar a energia de modo racional para se obter um determinado resultado. Por definição, a eficiência energética consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização. Em uma visão prática, uma instalação industrial é mais eficiente energeticamente que outra quando proporciona as mesmas ou até melhores condições operacionais, com menor consumo de energia (ELETROBRAS, 2017).

A indústria é responsável por cerca de 50% do consumo mundial de energia, em que as pequenas e médias empresas representam uma parcela muito expressiva do setor, constituindo 99% das empresas e fornecendo cerca de 60% dos postos de trabalho. Assim sendo, aumentar a eficiência energética industrial representa um incremento de valor considerável para a economia, a sociedade e as próprias empresas. Dessa forma, o mercado de eficiência energética no setor industrial se apresenta como oportunidade de redução de custos para as empresas. Juntamente com a redução de custos, a eficiência energética pode também

contribuir com a melhoria da produtividade, rentabilidade, competitividade e qualidade do produto (SANTOS; SOUZA, 2012; HENRIQUES; CATARINO, 2016).

Apesar do interesse das empresas em investir em projetos de eficiência energética, estas enfrentam outras dificuldades além das econômicas, que vão desde a correta identificação dos investimentos necessários para melhorar a eficiência energética até a avaliação do risco para estes investimentos (ARAGÓN; PAMPLONA; MEDINA, 2013). O conhecimento especializado na área nem sempre está disponível na empresa, sendo necessário investimento adicional em consultorias, que em muitos casos pode desestimular sua aplicação. Assim sendo, a utilização de uma base de conhecimento, concebida a partir de um grupo de especialistas com conhecimento multidisciplinar, formado a partir de empresas do setor industrial de uma mesma região, para identificar oportunidades de eficiência energética (BUCCIERI, 2014; CASTELLANOS et al., 2011a, 2011b), passa a ser uma alternativa interessante que atende aos requisitos do presente trabalho.

1.2 GESTÃO DO CONHECIMENTO

A gestão do conhecimento (GC) é o processo sistemático de identificação, criação, renovação e aplicação dos conhecimentos que são estratégicos na vida de uma organização. Esse conceito ainda pode ser complementado como um processo de criar continuamente novos conhecimentos, disseminando-os amplamente e incorporando-os velozmente em novos produtos e serviços. A GC parte da premissa de que todo o conhecimento existente nas organizações, na cabeça das pessoas, nos processos e nos departamentos, pertence também à organização. De forma empírica, conhecimento é o fato ou a condição do saber, obtido por meio da vivência, da experiência ou de uma associação (CORSATTO; HOFFMANN, 2013).

A principal diferença entre o conhecimento e a GC é que o conhecimento muda algo ou alguém, provocando uma ação que torna um indivíduo ou uma instituição mais eficiente, ou seja, agrega valor a uma organização, contribuindo para seus produtos, processos e pessoas, enquanto a GC transforma este conhecimento em valor duradouro, identificando o conhecimento útil para ações de gestão. O sucesso e os benefícios na implantação de uma GC em qualquer tipo de organização só são possíveis se a cultura organizacional for positiva em relação à geração, partilha, socialização e transferência de conhecimento. GC é, sobretudo, um exercício de reflexão; consiste em processos que facilitam a aplicação e desenvolvimento do conhecimento organizacional, a fim de criar valor e sustentar uma vantagem competitiva.

De um ponto de vista acadêmico, as pesquisas em GC procuram identificar fatores que contribuem para uma efetiva transferência de conhecimento (PATIL; KANT, 2014).

Neste cenário, em que a utilização da inteligência artificial é um método bem-sucedido para reter o conhecimento de forma confiável em uma organização (MATELLI, 2008; CASTELLANOS et al., 2011a, 2011b) e o conhecimento é considerado cada vez mais um elemento essencial em qualquer nível de atividade organizacional, a busca pelo aprimoramento organizacional atende aos requisitos do presente trabalho.

1.3 SISTEMA ESPECIALISTA

O Sistema Especialista (SE), também conhecido como Sistema Baseado em Conhecimento, é o mais bem-sucedido ramo da inteligência artificial. Criado no final dos anos 1960, o Sistema Especialista (SE) atingiu seu pico de popularidade na década de 2000 e se tornou uma das mais difundidas técnicas da inteligência artificial (GIARRATANO; RILEY, 1998).

Nessa técnica, o conhecimento humano altamente especializado é adquirido e representado de tal modo que seja possível manipulá-lo computacionalmente, reproduzindo o raciocínio do especialista. O SE é uma solução aproximada muito bem-sucedida para o problema de se programar inteligência, pois reflete as habilidades que especialistas humanos possuem para resolver problemas pertencentes a um dado domínio e que, além disso, se utiliza dessas habilidades do mesmo modo que os especialistas humanos o fazem (MATELLI, 2008). Como a análise de eficiência energética é fortemente baseada em conhecimento humano, essa técnica é adequada para abordagem do problema e atende plenamente aos requisitos deste trabalho.

1.4 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é desenvolver um protótipo de sistema especialista (SE), dotado de um módulo de geração de explicação (MGE), para diagnóstico preliminar e avaliação de eficiência energética em plantas industriais. A base de conhecimento do protótipo SE é construída a partir da experiência de especialistas multidisciplinares na área de eficiência energética industrial. O MGE é incorporado ao protótipo para aprimorar a capacidade de explicar os processos de raciocínio, além de ajudar a promover uma análise crítica das decisões tomadas pelo SE. O MGE é muito útil também na validação da base de

conhecimento, permitindo detectar erros semânticos do sistema e monitorar detalhes do processo de inferência. Esse conjunto de características não é encontrado em nenhum sistema computacional para esse domínio disponível até o momento, fato que também pode levar a uma redução de tempo e maior probabilidade de aceitação do sistema, aumentando dessa forma sua confiabilidade e principalmente, sua credibilidade. Os estágios de desenvolvimento em termos de aquisição de conhecimento, representação, implantação e verificação/validação com foco na base de conhecimento são detalhados. Para melhor demonstrar as possibilidades da melhoria de eficiência energética, os principais sistemas de utilidades de uma planta industrial são analisados de forma individual. Para tanto, tais sistemas são classificados como primário (energia elétrica, gás natural e água) e secundário (ar comprimido, ar condicionado, iluminação e sistemas de aquecimento). Estudos de caso são executados no protótipo SE para subsidiar a discussão e demonstrar as vantagens e desvantagens do uso dessa ferramenta, como seu uso pode disseminar boas práticas de eficiência energética industrial, bem como de gestão de conhecimento.

1.5 CONTRIBUIÇÕES

- Tornar acessível a pequenas e médias indústrias um sistema para realizar diagnóstico preliminar de eficiência energética, capaz de propiciar recomendações, melhorias e redução de custos por meio de sua aplicação.
- Aproximar a academia da indústria com foco nas questões de Gestão do Conhecimento, perpetuando e disponibilizando o conhecimento de especialistas da área de eficiência energética do setor industrial.
- Estimular o exercício da reflexão dos usuários sobre a necessidade de revisão periódica dos processos da área de utilidades, a fim de criar valor e sustentar vantagens competitivas;
- Apresentar soluções alternativas para aplicação de eficiência energética industrial, com ênfase na reciclagem e padronização do controle das utilidades nos setores produtivos, possibilitando torná-lo rentável e economicamente atraente.
- Contribuir para identificar vulnerabilidades e oportunidades de melhoria nas áreas de operação e manutenção, possibilitando a geração de planos de ação específicos.

- Incluir benefícios não energéticos na análise de investimentos e avaliação de rentabilidade das indústrias, possibilitando gerar conhecimento e criar novas oportunidades de investimento em eficiência energética.

1.6 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Levando-se em consideração a análise proposta nesta pesquisa, dois pontos podem ser considerados como principais limitações para elaboração deste trabalho.

O primeiro diz respeito ao nível de profundidade do SE para gerar explicações sofisticadas. Apesar do grande potencial para gerar explicações do MGE proposto (devido à característica do SE manipular conhecimento heurístico), a profundidade das explicações depende do potencial de conhecimento adquirido dos especialistas. Quanto mais conhecimento for adquirido, representado e implantado na base de conhecimento do sistema, mais qualificada será sua manipulação pelo MGE, gerando explicações mais completas. A aquisição de conhecimento neste trabalho foi limitada a um contexto de diagnóstico preliminar de eficiência energética, exigindo dos especialistas humanos um conhecimento menos aprofundado. Isso faz com que o SE possa gerar explicações também em caráter preliminar.

A segunda limitação é que o SE proposto não foi projetado para realizar a aprendizagem automática. Esta estratégia determina que os novos conhecimentos devam passar necessariamente pelo ciclo de desenvolvimento do SE (aquisição, representação, implantação e validação), bem como pelos critérios de avaliação dos especialistas, apresentado no Capítulo 4, para posteriormente fazer parte da expansão da base de conhecimento do sistema. Cabe ressaltar que esta não é uma particularidade deste SE em especial, uma vez que geralmente a aprendizagem na maioria dos sistemas especialistas também não é automática (GIARRATANO; RILEY, 1998).

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 1 introduz o estudo e engloba a contextualização do tema, as justificativas, a formulação do problema, o objetivo, contribuições e limitações da pesquisa. O Capítulo 2 apresenta a revisão da literatura existente em três áreas distintas: eficiência energética, gestão do conhecimento e sistemas especialistas. O Capítulo 3 tem por objetivo apresentar os aspectos metodológicos necessários para a consecução do estudo, ilustrando o método a ser

utilizado, conceitos sobre SE e formação da base do conhecimento, critérios de seleção envolvidos, a forma de coleta de dados e os procedimentos adotados. O Capítulo 4 é dedicado ao detalhamento do desenvolvimento específico do protótipo. Neste contexto, destacam-se os detalhes de composição da base de conhecimento e sua gestão. O Capítulo 5 apresenta alguns estudos de caso e discussão. O Capítulo 6 apresenta a conclusão do trabalho. O Capítulo 7 apresenta as perspectivas de trabalhos futuros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Visando estruturar as contribuições da literatura, os temas relacionados às áreas de eficiência energética, gestão do conhecimento e sistemas especialistas foram pesquisados para dar subsídio a este trabalho e contextualizá-lo frente ao estado da arte.

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Aumentar o nível de eficiência energética industrial representa incremento de valor considerável para as economias, as sociedades e as próprias empresas. A indústria é responsável por cerca de 50% do consumo mundial de energia, sendo que 99% são pequenas e médias empresas, as quais respondem por cerca de 60% das vagas de emprego no ramo industrial. Juntamente com a redução de custos, a eficiência energética pode oferecer outros benefícios que podem ajudar essas empresas a crescer e se desenvolver, por exemplo, melhorando a produtividade, rentabilidade e competitividade e qualidade do produto (HENRIQUES; CATARINO, 2016).

A melhoria da produtividade e da competitividade das empresas é obtida em consequência da diminuição do consumo de energia, que se reflete em menores custos de operação, agindo como uma medida fundamental para manter um crescimento sustentável nas empresas por meio de instalações mais eficientes. As empresas têm interesse em investir em projetos de eficiência energética e obter seus benefícios econômicos, porém estas enfrentam duas dificuldades: a correta identificação dos investimentos necessários para melhorar a eficiência energética e a avaliação do risco para estes investimentos. Para se obter economia de energia por meio da melhoria da eficiência energética, é necessário fazer um diagnóstico que mostre o real desempenho energético e, assim, determinar os investimentos requeridos (ARAGÓN; PAMPLONA; MEDINA, 2013).

A promoção da eficiência energética é uma prioridade na estratégia energética da união europeia (UE). A manufatura é identificada como um dos setores que têm potencial para melhorar substancialmente a eficiência energética. Contudo, os fatores que estimulam investimentos em eficiência energética e tecnologia limpa são: participação dos custos de energia, participação de mercado e orientação para exportação - informações extraídas de um conjunto de dados de 848 empresas de manufatura eslovenas entre 2005 e 2011 - (HROVATIN; DOLSAK; ZORIC, 2016).

Os efeitos positivos da eficiência energética sobre o crescimento sustentável podem conduzir a questões práticas para o setor industrial, de modo a assegurar que seus recursos e energia sejam usados de forma eficaz. A conscientização a respeito da eficiência energética junto aos colaboradores, análise periódica para levantamento de oportunidades de melhoria na operação, bem como as mudanças nos fatores de produção têm impactos positivos na produtividade industrial eficiente - informações extraídas de 154 indústrias coreanas de 2010 a 2012. As indústrias podem voluntariamente fazer esforços para melhorar seu uso de recursos energéticos, mas também precisam investir em tecnologias de energia e desenvolver estruturas de produção eficientes (KANG; LEE, 2016).

O gerenciamento de energia é outro importante potencial de implantação de eficiência energética na indústria, sendo este um dos meios mais promissores para reduzir o consumo de energia e respectivos custos. Cinco elementos fundamentais para gestão de energia são identificados: análise da organização e cultura; planejamento estratégico; implantação; operação; controle (SCHULZE et al., 2016).

A implantação de tecnologias eficientes do ponto de vista energético, bem como o aumento da concentração nas práticas de gestão da energia, foi afirmada por estudos anteriores como os dois métodos mais importantes para melhorar a eficiência energética industrial. A eficiência energética é um dos principais meios de redução das emissões de CO₂ resultantes da utilização industrial da energia. Tanto do ponto de vista social quanto empresarial, é de grande importância reduzir o uso final de energia industrial. Cerca de 60% das 1254 medidas de eficiência energética analisadas na União Europeia (EU) derivam da implantação de novas tecnologias e o restante decorre de medidas de gestão e operacionais. O potencial de gerenciamento de energia representa pelo menos 35% do potencial total de eficiência energética implantada. Esta economia global de energia elétrica resultou de procedimentos mais eficientes em termos de energia, atividades de planejamento de projetos e medidas categorizadas separadamente por razões específicas (PARAMONOVA; THOLLANDER; OTTOSSON, 2015).

Quando indústrias investem em eficiência energética, o efeito pode ir além da economia nos custos de energia, podendo-se gerar também benefícios não energéticos adicionais. Esses benefícios vão desde a redução de desperdício, redução da manutenção, benefícios logísticos e o prolongamento na vida útil dos equipamentos, que requerem maior tempo de recursos e tempo para avaliação. A inclusão de benefícios não energéticos na análise de investimento pode contribuir para enquadrar investimentos de eficiência energética que visem às necessidades de avaliação de rentabilidade das empresas, o que também pode criar

novas oportunidades de investimentos em eficiência energética na indústria. Alguns exemplos de benefícios não energéticos tratados nesse trabalho incluem: melhoria da iluminação por meio de aprimoramentos em manutenção, adequação dos sistemas, uso de luz natural e projeto; redução de ruído nos sistemas de ar comprimido por meio de aprimoramentos na área de manutenção e da aplicação de caça vazamentos; melhoria na qualidade do ar nos sistemas de ar condicionado por meio de aprimoramentos na área de manutenção e da utilização de ar externo. O conhecimento sobre as experiências em benefícios não energéticos, tratados neste trabalho, ajuda a preencher uma lacuna na indústria, que geralmente não é reconhecida (NEHLER; RASMUSSEN, 2016).

O comprometimento da alta gerência de uma indústria é conceituado como a extensão do conhecimento ambiental, conscientização, atitude e envolvimento efetivo de gerentes de alto nível na condução do esforço de implantação, melhoria e gestão da eficiência energética dentro de uma organização. O desempenho da gestão energética tem correlação positiva com a eficiência organizacional, resultando em ganhos financeiros e redução de impactos ambientais. A eficiência organizacional é influenciada positivamente pela implantação bem-sucedida de práticas de gerenciamento energético: revisão da operação e processo de produção, melhoria da qualidade do produto ou serviço, redução de emissões e investimento no desenvolvimento de tecnologias correlacionadas (ROY; KHASTAGIR, 2016).

Cabe ainda ressaltar que aumentar a eficiência pela qual a energia é extraída ou capturada, convertida e utilizada não só requer a melhoria da tecnologia atual e o desenvolvimento de novas transformações, mas também deve-se prestar muito mais atenção à melhoria da governança das instituições em termos da eficiência energética. Importante realizar análise de casos de sucesso em instituições selecionadas de eficiência energética que são percebidas como condições propícias para uma governança coerente, ou seja, uma estrutura que se baseia em conceitos que abrangem os principais identificadores de governança institucional: coerência, motivação, capacidade e intervenções (DELINA, 2012).

A aplicação de uma abordagem adequada conectando a produção mais limpa, a integração total da planta e as melhorias da eficiência energética, é um dos problemas em toda a prática industrial. Contudo, a combinação destes conceitos, propicia uma visão mais abrangente das questões energéticas e ambientais dentro de uma empresa, denominada eficiência energética global dos processos industriais. A disseminação desse conceito foi desenvolvida por Petek, Glavic e Kostevik (2016) através de várias auditorias energéticas em processos industriais de laticínios, cerâmica, processamento de metais e processamento de carne, serviços como lavanderias e edifícios públicos.

A necessidade de desenvolvimento de um sistema unificado aceitável para o monitoramento dos dados de Eficiência Energética Europeia (EEE) por meio da revisão de abordagens e métodos existentes foi identificada por Doukasa et al. (2008). Também foi observada a necessidade de melhoria na coordenação dos programas de EEE, políticas da comunidade e nos estados membros, além dos problemas relacionados aos dados quanto a fragmentação, consistência e verificação.

Na Itália, foi introduzido o Certificado de Desempenho Energético (CDE), um instrumento de política específica de energia para orientar a construção no setor imobiliário visando à eficiência energética, por meio da Diretiva 2002/91/CE. Contudo, a eficácia dessa ferramenta apontou para alguns fatores importantes: a precisão da avaliação de desempenho energético feito por especialistas independentes (162 técnicos envolvidos), a capacidade da classificação da energia e da escala de desempenho energético para controlar as flutuações do índice de energia (TRONCHIN; FABBRI, 2012).

Um indicador de desempenho energético (IDE) foi desenvolvido nos EUA. Trata-se de uma ferramenta de *benchmarking* estatística que fornece uma visão global e foco em setores específicos. Dentro destes setores estão envolvidos: o uso da energia, a relação funcional entre o nível de consumo de energia e o tipo de atividade, a qualidade de material e fatores externos (clima). Esta ferramenta também pode ser usada para a regressão de fronteira estocástica (métodos utilizados na recente literatura para estudo da eficiência relativa de unidades produtivas por meio da representação da fronteira do conjunto de possibilidade de produção) no sentido de estimar a minimização do uso de energia na planta. Além disso, este modelo estatístico também fornece uma distribuição de eficiência energética em toda a indústria, que permite a comparação entre plantas industriais (BOYD; DUTROW; TUNNESSEN, 2008).

Doukasa et al. (2008) destacam que no Reino Unido há uma grande variedade de programas e iniciativas de eficiência energética, propiciando a criação de mais de 55.000 novos postos de trabalho para o período 2007-2013. Além disso, o orçamento dedicado pela Comissão Europeia (CE) para a promoção da eficiência energética no referido período, por meio do programa "Energia Inteligente-Europa", atingiu 780 milhões de euros. Este programa suporta uma ampla gama de atividades de promoção e aborda os obstáculos não tecnológicos (jurídica, financeira, institucional, cultural, social).

Para melhoria da análise e entendimento das questões energéticas, também há necessidade do desenvolvimento de indicadores e de novas metodologias para abordar diferentes questões correspondentes em exame. Este conceito tem sido empregado para estabelecer condições políticas, operacionais, econômicas e de sustentabilidade para plantas

industriais em vários países. A necessidade de alinhamento por meio da comparação entre si, independente do regionalismo, fortalecem ainda mais tais premissas, sendo assim fundamentais para o desenvolvimento da eficiência energética (PATLITZIANAS et al., 2008; BUCCIARI, 2014).

No Brasil, apesar dos esforços empreendidos para a promoção da eficiência energética no setor industrial, ainda há necessidade de mais investimentos para elevar o patamar de economia de energia necessário. Importante enfatizar que o setor industrial é o maior consumidor de energia elétrica do Brasil, sendo responsável em 2015 por 36,5% do consumo nacional. Um bom exemplo desse consumo na indústria está ligado à força motriz, que é responsável por 68% do consumo do setor, segundo o Balanço de Energia Útil (BEU), publicado em 2014 pelo Ministério de Minas e Energia. Este uso compreende o consumo elétrico em equipamentos, tais como: bombas, ventiladores e compressores em diversas aplicações industriais (ELETROBRAS, 2017).

Algumas alternativas de apoio à indústria vêm sendo desenvolvidas pelo Programa Nacional de Eficiência Energética Industrial – PROCEL INDÚSTRIA. Apesar da ocorrência de outros programas anteriores a este (como a “Agência para Aplicação de Energia”, de 1999), o Procel Indústria, instituído em 2002 pela ELETROBRAS/PROCEL, atua em parceria com as entidades que representam o setor industrial brasileiro e instituições de ensino superior do país, por meio de programas setoriais nas áreas de educação e disseminação de informação. Dentre outras ações, este programa vem desenvolvendo a atualização do Guia Técnico de Motores de Alto Rendimento, bem como estruturando o Projeto de Eficiência Energética, destinado a facilitar a implantação dos preceitos da Norma ISO 50.001 – Sistemas de Gestão de Energia em empresas associadas ao SEBRAE-RJ (ELETROBRAS, 2017).

Apesar destes esforços, as iniciativas no mercado de eficiência energética no setor industrial requerem maiores investimentos. Várias são as possibilidades de melhoria da eficiência energética e soluções apontadas pelos especialistas para reduzir o consumo: aplicação de técnicas de conservação, que substituem tecnologia (máquinas, motores, sistemas de refrigeração e iluminação), incluindo o uso da água, além de outras com maior eficiência energética, menor custo financeiro e impacto ambiental. Estas oportunidades vão desde a readequação do sistema de iluminação e climatização, até a substituição dos motores por outros mais eficientes, com baixo consumo de energia (SANTOS; SOUZA, 2012).

Outro ponto importante a ser explorado é a adoção de normas para tornar as construções mais eficientes em seu consumo energético, por meio do aproveitamento da luz solar e da ventilação natural, em muitos casos dispensando a necessidade de iluminação

artificial e de sistemas de ar-condicionado. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), edifícios energeticamente eficientes, processos industriais e de transporte podem reduzir as necessidades energéticas e será essencial no controle das emissões globais de gases com efeito de estufa (MWASHA; WILLIAMS; IWARO, 2011; SANTOS; SOUZA, 2012).

Com base em entrevistas com especialistas da área de eficiência energética, também ficou evidenciado que existe uma resistência muito grande às iniciativas de eficiência energética nas plantas industriais (lacuna), especialmente entre as soluções de eficiência energética disponíveis no mercado (instrumentação, controle e/ou gestão) e sua aplicação real na indústria, em especial na área de gestão da produção. Importante enfatizar que a aplicação de ferramentas de gestão energética, bem como sua padronização são importantes facilitadores para o controle de energia nos setores produtivos, possibilitando reduzir custos e torná-lo mais rentável e atraente (BUNSE et al., 2011).

Para Buccieri (2014), é importante que se recorra a especialistas para identificar oportunidades de eficiência energética em empresas do setor industrial de uma mesma região. Assim, devido à colaboração da alta gestão das empresas envolvidas, consegue-se enxergar o potencial de ganho por meio do desenvolvimento em grupo. A formação do grupo de especialistas de uma mesma região, com experiências multidisciplinares, propicia a troca de experiências bem-sucedidas, a comparação de informações relevantes, oportunidades de aperfeiçoamento entre os especialistas do grupo e a transferência de conhecimento. Contudo, é necessário estabelecer critérios para seleção de especialistas e empresas com experiências de sucesso suficientes para alcançar esse objetivo. Uma vez que a avaliação de oportunidades de eficiência energética pode ser complexa, devido a fatores culturais, econômicos, técnicos, mercadológicos e políticos, são exigidas competências multidisciplinares para análise e integração de informações, que nem sempre estão disponíveis (BUCCIERI, 2014).

É grande o impacto da flexibilidade estratégica relacionada à energia das empresas, entre seu sistema de gestão e controle e sua correspondente eficiência energética. Há uma relação positiva entre o uso de controles formais de gestão e a eficiência energética, enquanto a ênfase que as empresas colocam em controles informais de gestão não resulta em um efeito significativo na eficiência energética (SCHULZE; HEIDENREICH, 2016).

A utilização de diferentes padrões de gestão de energia leva as organizações a usar esta utilidade com mais eficiência. A criação de uma base de conhecimento a partir desses padrões de gestão de energia representa uma boa prática e que os modelos de maturidade de gerenciamento energético ajudam a alcançar um desempenho elevado (JOVANOVI; FILIPOVI, 2016).

A constituição de uma base de conhecimento, concebida com participação multidisciplinar de especialistas para análise de problemas em um sistema, é possível por meio da aplicação de sistemas especialistas. Com o uso dessa técnica, há possibilidade da retenção do conhecimento desses especialistas na base de dados para interagir com os usuários para o treinamento de novos especialistas da área de manutenção e operação industrial, transferindo experiências relevantes em processo (CASTELLANOS et al., 2011a, 2011b).

2.2 GESTÃO DO CONHECIMENTO

O conhecimento é cada vez mais reconhecido como um fator crítico para sustentar vantagem competitiva e melhorar o desempenho de uma empresa. Sua importância pode ser vista a partir da preocupação e dos esforços crescentes de organizações para estabelecer critérios e métodos para assegurar a sua gestão efetiva (SIEMIENIUCH; SINCLAIR; CLEVER, 2004; CHEN; HUANG; CHENG, 2009; CHANG; CHUANG, 2011; LI; TARAFDAR; RAO, 2012; XU; BERNARD, 2013; MURA et al, 2016).

O conhecimento agrega valor a uma organização, contribuindo para seus produtos, processos e pessoas, enquanto a Gestão do Conhecimento (GC) transforma a informação, dados e ativos intelectuais em valor duradouro, identificando conhecimento útil para ações de gestão. GC consiste em processos que facilitam a aplicação e desenvolvimento do conhecimento organizacional, a fim de criar valor e sustentar uma vantagem competitiva. De um ponto de vista acadêmico, as pesquisas em GC procuram identificar fatores que contribuem para uma efetiva transferência de conhecimento (CORSATTO; HOFFMANN, 2013; PATIL; KANT, 2014).

Uma vez que a GC está diretamente relacionada ao conhecimento e habilidades das pessoas envolvidas, esta permite que as experiências e os conhecimentos gerados durante os processos organizacionais sejam compartilhados por toda a organização, assegurando a melhoria contínua destes processos (MORADI; AGHAIE; HOSSEINI, 2013).

A GC lida estreitamente com as pessoas, de modo que a criação de conhecimento e a socialização são desenvolvidas a partir da interação direta e efetiva entre o pessoal da organização. Assim, questões relativas ao trabalho em equipe tornam-se importantes. O conhecimento, o *know-how* e a especialidade organizacional estão geralmente retidos na mente dos especialistas e a consulta com especialistas é uma maneira eficaz de ter acesso a esse tipo de conhecimento. Reconhecendo que o conhecimento pertence aos especialistas da

organização e especialistas são pessoas, a GC deve gerenciar questões como: i) o especialista não faz mais parte da empresa; ii) para onde o especialista leva seu conhecimento; iii) o especialista não está disponível (viagem, doença, fadiga); iv) manter permanentemente na organização a experiência e perícia dos especialistas; v) assegurar a evolução do aprendizado (GIARRATANO; RILEY, 1998; CASTELLANOS et al., 2011a, 2011b).

Dois caminhos são cruciais para tornar o conhecimento economicamente útil: a sistematização do conhecimento e a reconfiguração do conhecimento. A sistematização do conhecimento é a abstração e difusão dos princípios operativos de forma a expandir para as mais amplas práticas que tinham sido inicialmente concebidas em um propósito específico. A reconfiguração do conhecimento envolve a conversão e formalização dessas práticas inovadoras dentro da organização, existentes na empresa e na indústria. Os processos que facilitam a sistematização e reconfiguração do conhecimento são baseados em entrevistas primárias e secundárias junto a colaboradores, bem como nos dados de arquivamento sobre os setores envolvidos (D'IPPOLITO; MIOZZO; CONSOLI, 2014).

Um método bem-sucedido para reter o conhecimento de forma confiável em uma organização é a utilização do sistema especialista, onde é possível capturar a experiência de especialistas e formar uma base de conhecimento (BC). O principal objetivo da BC é fornecer espaço para uma combinação adequada de habilidades e conhecimento dos especialistas, bem como de suas lições aprendidas. Este conhecimento pode assumir a forma de experiência acumulada por uma empresa durante a sua existência ou ser o resultado de um processo de revisão. A BC deve ser projetada para permitir o acesso eficiente ao conhecimento requerido, permitindo ao mesmo tempo o maior acervo de conhecimento, correspondendo à escolha das estruturas de dados de implantação. Além disso, o trabalho com maiores quantidades de dados e conhecimento deve ser armazenado em um banco de dados compartilhado, para evitar perdas e dificuldade na busca de informações (BRAHAN et al., 1998; KIRIS et al., 2010; LENDEL; VARMUS, 2010).

Outra forma de adquirir conhecimento é por meio do método de mineração de dados automatizada, que deve ser efetivamente aplicada onde há grande número de dados e onde quer que haja uma pressão de tempo que impede uma análise aprofundada e pessoal. Importante esclarecer que o conhecimento adquirido será de caráter geral, sendo, contudo, possível conduzir sistemas de inferência e apoio à decisão. A aplicação bem-sucedida de um SE junto aos métodos automatizados de aquisição de conhecimento determinam a contribuição essencial para as áreas de desenvolvimento da engenharia do conhecimento e gestão (GUERRERO et al., 2014; GAJZLER, 2015).

A troca de conhecimento por meio da transferência de ideias, resultados de pesquisa e de habilidades entre universidades, outras organizações de pesquisa, negócios e a comunidade em geral, permite a solução colaborativa de problemas. Para Rathore, Chopda e Gomes (2016), isto pode ser entendido como “interacionismo sócio discursivo” ou quadro teórico que entende as condutas humanas como “ações situadas cujas propriedades estruturais e funcionais são, antes de tudo, um produto da socialização”. Assim sendo, a troca efetiva de conhecimentos envolve a interação de decisões e pesquisadores, resultando em aprendizagem mútua por meio do processo de planejamento, produção, disseminação e aplicação de pesquisas existentes ou novas. Conferências, workshops e simpósios são partes ativas do currículo acadêmico, em que a interação da academia, indústria, governo e agências reguladoras tornam possíveis benefícios mútuos. Com todas estas ferramentas no lugar, há uma necessidade para ter a tradução bem-sucedida do conhecimento para transformar este conhecimento na ação (RATHORE; CHOPDA; GOMES, 2016).

2.3 SISTEMA ESPECIALISTA

Sistema especialista (SE) é um programa inteligente de computador que usa conhecimento e procedimentos de inferência para resolver problemas que são difíceis o suficiente para que sua solução necessite de um grau significativo de conhecimento humano. Isto é, um SE é um programa de computador inteligente que emula a habilidade de tomada de decisão de um especialista humano. O termo “emulação” tem significado mais amplo que o termo “simulação”: o primeiro significa que se pretende que o SE aja em todos os sentidos como um especialista humano; o segundo tem relação com a atuação de sistemas técnicos em uma necessidade específica, ou seja, age como o elemento real em apenas alguns aspectos (GIARRATANO; RILEY, 1998).

O SE também é conhecido como Sistema Baseado em Conhecimento, uma vez que depende e faz uso de grande quantidade de conhecimento especializado para resolver problemas complexos, ou seja, apresenta desempenho intelectual comparável ao de um especialista humano em um domínio específico, atuando em todos os aspectos como este especialista. Por manipular conhecimento especializado, e não apenas dados, um SE resolve, de forma muito mais rápida e eficaz, problemas que a maioria das pessoas não é capaz de resolver (GIARRATANO; RILEY, 1998).

O SE utiliza a representação do conhecimento na forma de regras para resolver problemas, sendo estas divididas em antecedentes (premissas/condições) e consequentes

(conclusões / ações) representadas em estruturas do tipo *SE-ENTÃO*. Se houver muitos antecedentes, conectivos lógicos podem ser usados para combinar ou restringir os antecedentes. Segundo Ali et al. (2015), esta ferramenta tem sido muito utilizada em diversas aplicações devido à sua capacidade para expressar relações, recomendações e diretrizes, estratégias e heurísticas.

De acordo com Giarratano e Riley (1998), apesar da versatilidade tecnológica apresentada, dois importantes mecanismos são opcionais na maioria dos SEs: o módulo de aquisição de conhecimento, que atualiza de forma automática a base com novos conhecimentos; e o módulo de geração de explicações, que rastreia o raciocínio feito pelo motor de inferência para gerar explicações e justificativas das decisões tomadas.

Embora o Módulo de Geração de Explicações (MGE) de um SE seja opcional, sua implantação possibilita grande evolução em termos de recursos, contribuindo para detectar erros semânticos do sistema e monitorar detalhes do processo de inferência, o que torna a validação da base de conhecimento mais robusta. O uso do MGE nesse contexto pode levar a uma redução de tempo de desenvolvimento e maior aceitação do sistema, aumentando dessa forma sua confiabilidade e principalmente, sua credibilidade. Dependendo do SE, um MGE pode ser simples ou elaborado. Um recurso de explicação simples pode, por exemplo, listar todos os fatos que fizeram a regra mais recente ser executada. Um MGE bem elaborado pode ser projetado para permitir ao usuário explorar várias linhas de perguntas, envolvendo questões de raciocínio hipotético e até mesmo traduzir linguagem natural em regras. Alguns SE permitem até mesmo que o sistema aprenda regras, por exemplo, por meio da indução de regras, em que o sistema cria regras a partir de tabelas de dados. Contudo formalizar o conhecimento dos especialistas em regras não é simples, especialmente quando o conhecimento do especialista nunca foi sistematicamente explorado. Pode haver inconsistências, ambiguidades, duplicações ou outros problemas com o conhecimento do especialista que não são aparentes até que sejam feitas tentativas para representar formalmente o conhecimento em um SE (GIARRATANO; RILEY, 1998).

Diederich (1992) afirma que a explicação é uma função-chave em um SE. Ela pode ser usada para esclarecer os resultados de um processo de raciocínio para um usuário, lembrando que este usuário pode não ser um especialista do domínio em alguns casos, mas tem a responsabilidade de aceitar ou rejeitar uma solução produzida por um SE. A experiência com estes sistemas mostrou que os usuários exigem uma explicação significativa e coerente de um resultado produzido por um SE e não aceitam uma solução sem explicação. Assim sendo, a

capacidade de gerar explicações é absolutamente crucial para a aceitação de um SE pelo usuário.

Na mesma direção, porém de forma mais profunda, Hakima e Oppacher (1990) enfatizam sobre a construção de sistemas de diagnóstico baseados no conhecimento que explicam raciocinando de forma explícita, ao contrário da maioria das instalações de explicação existentes, que são enxertados em um motor de inferência concebido de forma independente. O MGE se comporta explicando a si mesmo cada passo; ao tratar da explicação preliminar, o MGE força o projetista do sistema a representar o conhecimento explicitamente, o que poderia ficar implícito de outro modo.

Para Wick e Thompson (1992) e Swinney (1995), à medida que os SEs passaram de um interesse de pesquisa acadêmica para uma tecnologia industrial, os usuários desses sistemas passaram de quase exclusivamente autores do sistema (engenheiros de conhecimento - EC) para especialistas em domínio altamente treinados ou para usuários. No entanto, os métodos utilizados para produzir explicações do SE permaneceram relativamente constantes, uma vez que os MGEs eram tipicamente muito mais apropriados para os ECs do que para os usuários finais do sistema. Isso porque um EC envolvido na concepção e manutenção de um SE requer um MGE que elabore com precisão, o que este sistema faz para conseguir um resultado específico. No entanto, a natureza de uma explicação eficaz depende fortemente do usuário, pois uma explicação para o usuário final deve aumentar a confiança do usuário no sistema e/ou ajudar o usuário a compreender as consequências da conclusão do sistema. Para Swinney (1995), uma abordagem alternativa reconhece que uma explicação efetiva muitas vezes precisa reorganizar substancialmente a linha de raciocínio real e trazer informações adicionais para apoiar o resultado. A própria explicação se torna um complexo processo de resolução de problemas que depende não apenas da linha real de raciocínio, mas também de um conhecimento adicional do domínio.

Para Suarez e Kamel (1994) é essencial dispor de um mecanismo de explicação que possa interpretar e justificar os resultados produzidos com base no conhecimento disponível e no mecanismo de raciocínio seguido pelo sistema. Isso permite ao usuário avaliar os resultados emitidos e avaliar sua validade e aplicabilidade. A geração de explicações pode atingir dois objetivos: (a) aumentar a confiança e a aceitabilidade da recomendação fornecida e (b) mostrar o raciocínio seguido pelo sistema para chegar a uma conclusão. O primeiro objetivo leva o sistema a fornecer explicações em termos simples compreensíveis e à necessidade de proporcionar capacidades de diálogo adequadas para adaptar a explicação a diferentes níveis de entendimento para o usuário. Para atender ao segundo objetivo, é

necessário ter acesso ao conhecimento do domínio e ao mecanismo de raciocínio do SE, uma vez que as explicações são geradas durante um diálogo de consulta e também após o SE ter emitido um resultado ou conclusão. Esta informação é então relacionada a outros dados e relações disponíveis na base de conhecimento para expandir o contexto da explicação. Assim, os resultados desta análise podem ser utilizados para fornecer explicações justificadas para diferentes fins e para adaptar o seu conteúdo a diferentes níveis de conhecimentos dos usuários.

O uso do MGE, construído a partir do conhecimento de vários especialistas de domínio torna o processo de aprendizagem mais robusto, uma vez que possibilita a aquisição de um conteúdo de conhecimento explicativo mais completo, obtido por meio da sinergia do conhecimento coletivo dos especialistas. Este tipo de abordagem ainda pode propiciar redução no tempo de aprendizagem devido a redução do bloqueio da produção e da inércia cognitiva, possibilitada pelo uso das opiniões complementares dos especialistas (DHALIWAL; TUNG, 2000). Goud, Hasman e Peek (2008) destacam sobre atenção necessária e multidisciplinar da etapa de construção do MGE, especificamente para apoio a futuras tomadas de decisões do sistema, pois pode proporcionar aos seus usuários, princípios de aconselhamento que permanecem consistentes em futuras mudanças de dados ou diretrizes.

Lacave, Onis'ko, e Dí'ez (2006) enfatizam que a verificação e validação de um SE é praticamente impossível sem o MGE. Para García et al. (2013), Horridge et al. (2013) e Borràs, Moreno e Valls (2014), a capacidade de explicação de um MGE permite que um grande progresso em termos de desenvolvimento do SE, facilitando a revisão da representação do conhecimento ao projetista do sistema, especialmente durante a fase de verificação e validação. Neste processo são revisadas a argumentação, as justificativas e as recomendações do SE, os quais são baseados em regras implantadas. A justificativa é o menor subconjunto de uma estrutura do conhecimento de vários domínios e que corresponde às premissas de uma evidência. Gediklia, Jannach e Geb (2014) enfatizam que, além de ajudar o usuário a entender a saída e a lógica do sistema, o fornecimento dessas explicações também pode melhorar a aceitação geral, a qualidade percebida ou a eficácia do sistema. Os autores abordam a questão de como as explicações podem ser comunicadas ao usuário de uma forma mais eficaz. Uma explicação pode ser considerada como um pedaço de informação que é apresentado em um processo de comunicação para servir objetivos diferentes, tais como expor o raciocínio por trás de uma recomendação. Nos últimos anos, a questão de como gerar automaticamente e apresentar explicações por um SE tem atraído grande interesse de investigação. Um bom

exemplo desse fato pode ser observado em alguns grandes sites de comércio eletrônico, em que alguns MGEs básicos já estão incorporados ao sistema.

Apesar do MGE ser opcional, torna a inteligência do SE mais explícita para o usuário, o que contribui fortemente para aumentar a sua credibilidade e aceitação. Embora a capacidade explicação seja altamente desejável, a pesquisa bibliográfica conduzida no presente trabalho indica que esta não é uma característica facilmente encontrada na maioria dos SEs.

3. MATERIAL E MÉTODO

Para familiarização com o Sistema Especialista (SE), neste capítulo são apresentados alguns conceitos com base em literatura da área, em particular: aspectos básicos, vantagens, desvantagens, principais características, elementos, módulo de geração de explicações (MGE), processo de desenvolvimento, engenharia do conhecimento e a formação da base do conhecimento.

3.1 SISTEMA ESPECIALISTA

O SE é uma técnica de inteligência artificial que utiliza extensivamente conhecimento especializado para resolver problemas complexos, com desempenho intelectual comparável à de um especialista humano num domínio específico. O SE difere de um sistema convencional devido sua natureza subjetiva, ou seja, a estrutura de solução de problemas representada em um SE é baseada em impressões subjetivas. Dessa forma, certa dose de incerteza é tolerada, em que as soluções não são sempre precisas e exatas, mas podem apresentar incerteza ou imprecisão, devido aos dados ou ao domínio do conhecimento.

Porque manipula conhecimento, não apenas dados, um SE resolve muito mais rápido e eficientemente os problemas que a maioria das pessoas não poderia resolver. No entanto, o custo para desenvolver tal sistema é comparativamente maior do que os programas convencionais. O desenvolvimento de um SE pode exigir linguagens de programação especiais, ferramentas e até mesmo um hardware específico, contudo os principais custos estão relacionados com as pessoas envolvidas, que podem incluir os próprios especialistas.

O conhecimento manipulado por um SE vem principalmente de especialistas reconhecidos e experientes em seu domínio, e pode ser complementado por meio da literatura técnica do mesmo domínio. O conhecimento de um especialista humano é de natureza heurística, em contraste com a natureza algorítmica de problemas que podem ser resolvidos por meio de uma sequência sistemática e finita de passos. A abordagem heurística, muitas vezes fornece soluções rápidas, corretas e aceitáveis; por outro lado, a abordagem algorítmica sempre oferece soluções corretas e exatas, mas muitas vezes resolver o problema com precisão é injustificável ou mesmo impossível.

De acordo com Kahneman (2011), as heurísticas são atalhos mentais que usamos para fazer escolhas, emitir julgamentos, ou seja, nos ajudam a encontrar respostas adequadas, ainda que imperfeitas, para problemas difíceis. Para Rissoli, Fabri e Camargo (1999), as heurísticas

são construídas a partir de anos de experiência e aprendizagem, por meio de problemas semelhantes resolvidos com sucesso ou com tentativas fracassadas de resolver um problema semelhante. O desempenho de um ser humano na realização das suas atividades diárias está relacionado ao uso hábil de uma enorme quantidade de experiências do dia a dia. O aprendizado a partir das experiências acontece de forma bastante inconsciente. O conhecimento adquirido por meio dessas experiências é armazenado para ser utilizado em uma nova situação, quando forem relevantes. Essas regras práticas são chamadas de heurísticas e representam o suporte principal de conhecimento para o uso em um SE.

De acordo com Gonzalez e Dankel¹ (1993 apud Matelli, 2008, p. 10), o conhecimento representado em um SE é aquele que especialistas em certo domínio possuem. Um **especialista** é um indivíduo cujas habilidades obtidas, a partir de experiências pregressas, lhe permitem identificar rapidamente o núcleo de um dado problema. Por meio dessas experiências, o especialista dispõe de maior êxito na solução desse problema, uma vez que já adquiriu um conjunto valioso de relações causa-efeito, sendo capaz de reconhecer rapidamente as características relevantes do problema, categorizá-lo e definir uma solução. Um **não especialista** por sua vez, pode abordar um problema de forma sistemática e estruturada, empregando uma metodologia orientada e procedural (caso esta realmente exista), contudo, essa abordagem pode ser muito complicada e sujeita a erros, ou ainda requerer esforço e tempo inaceitáveis. Tais complicações podem decorrer de um entendimento limitado a respeito do domínio de conhecimento e de suas relações causa-efeito.

As heurísticas representam conhecimento informal ou atalhos, ou seja, relações causa-efeito que permitem que o especialista obtenha rapidamente uma solução para um problema, sem ter que realizar uma análise detalhada de uma situação particular. Essas relações são como regras, isto é, estruturas *SE-ENTÃO* em que a parte *SE* representa as causas e a parte *ENTÃO* representa os efeitos. A transferência da experiência e do conhecimento heurístico de especialistas humanos para o computador não é apenas o fator-chave para o desenvolvimento de qualquer SE, mas também é um recurso valioso em um contexto de Gestão do Conhecimento.

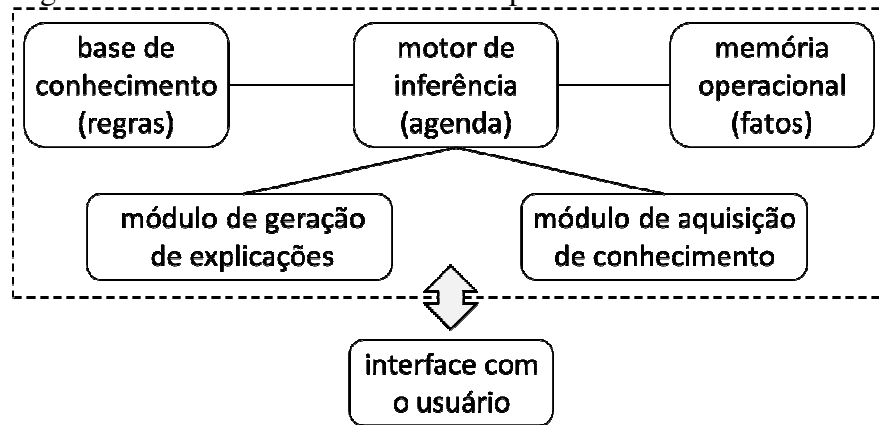
3.1.1 Elementos de um SE

Os elementos básicos de um SE são base de conhecimento, motor de inferência, memória operacional, interface com o usuário, módulo de geração de explicações e módulo de

¹ GONZALEZ, A. J.; DANKEL, D. D. **The engineering of knowledge-based systems**. New Jersey: Prentice-Hall international, 1993. apud MATELLI, J. A. **Tese de doutorado. Florianópolis**: Matelli, 2008.

aquisição de conhecimento, como mostrado na Figura 1. Os módulos de explicação e aquisição são opcionais (GIARRATANO; RILEY, 1998).

Figura 1 - Elementos de um sistema especialista



Fonte: Adaptado de Giarratano e Riley (1998)

- Base de conhecimento: correspondente à memória de longo prazo do sistema, que contém as regras que representam o conhecimento heurístico de especialistas humanos em um domínio específico;
- Motor de inferência: executa inferências a partir de fatos informados pelo usuário, ou seja, decide quais as regras são correspondidas pelos fatos, prioriza as regras casadas e executa a regra com a maior prioridade, até se obter uma solução. O motor de inferência é o elemento que emula o raciocínio de um SE;
- Memória operacional: correspondente à memória de curto prazo do sistema, é uma base de dados global sobre quais fatos utilizados pelas regras são registrados ou removidos;
- Módulo de geração de explicação: este é um elemento opcional que acompanha o raciocínio realizado pelo motor de inferência, a fim de fornecer explicações e justificativas das decisões tomadas pelo SE;
- Módulo de aquisição de conhecimento: também opcional, é um mecanismo automático para atualizar a base com novos conhecimentos. Seu uso é restrito a domínios que exigem uma representação de conhecimento simples o suficiente para dispensar uma validação formal;
- Interface com o usuário: é o ambiente de comunicação entre o usuário e o sistema.

Uma característica notória do SE é a separação explícita do código computacional relacionado à base de conhecimento daquele que executa a inferência, como ilustrado na Figura 1. A parte do código que executa a inferência é chamada motor de inferência. Como o SE trabalha com problemas complexos, o motor de inferência emula o raciocínio baseado em lógica não-monotônica, que é uma lógica mais poderosa que a tradicional lógica de predicados. A lógica não-monotônica é detalhada adiante no item 3.2.5.1.

3.1.2 Módulo de Geração de Explicação

Apesar do módulo de geração de explicação (MGE) ser opcional, torna a inteligência do SE explícita ao usuário, o que contribui fortemente para aumentar sua credibilidade e aceitação. Ele pode ser usado para esclarecer os resultados de um processo de raciocínio para um usuário, lembrando que este usuário nem sempre é um especialista do domínio, mas tem a responsabilidade de aceitar ou rejeitar uma solução produzida por um SE. Também pode ser usado para a aprendizagem intensiva de conhecimento sempre que uma teoria de domínio completa é dada. A própria explicação se torna um complexo processo de resolução de problemas que depende não apenas da linha real de raciocínio, mas também de um conhecimento adicional do domínio.

O MGE também permite um grande progresso em termos de desenvolvimento do SE, especialmente durante a verificação e validação do sistema. Possibilita ao engenheiro do conhecimento (EC) e ao especialista interpretar e justificar os resultados produzidos com base no conhecimento disponível e no mecanismo de raciocínio seguido pelo sistema, bem como facilitar a revisão da representação do conhecimento. Neste processo podem ser revisadas a argumentação, as justificativas e as recomendações do SE, os quais são baseados em regras implantadas.

O MGE pode aumentar a confiança e a aceitabilidade da recomendação fornecida, levando o sistema a fornecer explicações em termos simples compreensíveis e à necessidade de proporcionar capacidades de diálogo adequadas para adaptar a explicação a diferentes níveis de entendimento para o usuário. Também pode mostrar o raciocínio seguido pelo sistema para chegar a uma conclusão. Para isso é necessário ter acesso ao conhecimento do domínio e ao mecanismo de raciocínio do SE, uma vez que as explicações são normalmente geradas durante um diálogo de consulta, mas podem também ser geradas após o SE ter emitido um resultado ou conclusão. Os resultados desta análise podem ser utilizados para fornecer explicações justificadas para diferentes fins e para adaptar o seu conteúdo a

diferentes níveis de conhecimentos dos usuários. Isso permite ao usuário avaliar os resultados emitidos e avaliar sua validade e aplicabilidade.

Embora a capacidade de explicação seja altamente desejável, este não é um recurso facilmente encontrado na maioria dos sistemas especialistas (HAKIMA; OPPACHER, 1990; DIEDERICH, 1992; WICK; THOMPSON, 1992; SUAREZ; KAMEL, 1994; SWINNEY, 1995; GIARRATANO; RILEY, 1998; DHALIWAL; TUNG, 2000; LACAVE; ONIS'KO; DÍEZ, 2006; GOUD; HASMAN; PEEK, 2008; GARCÍA et al, 2013; HORRIDGE et al, 2013; BORRÀS; MORENO; VALLS, 2014; GEDIKLIA; JANNACH; GEB, 2014).

Um MGE mais elaborado pode (GIARRATANO; RILEY, 1998):

- Contribuir para identificar erros semânticos;
- Explicar todas as consequências de uma hipótese;
- Fornecer o prognóstico ou previsão do que irá ocorrer se uma hipótese for verdadeira;
- Justificar as questões que o programa pergunta ao usuário para o uso em futuras informações;
- Justificar o conhecimento do programa;
- Listar todas as hipóteses que possam explicar as evidências observadas;
- Listar todas as razões e corroborar uma determinada hipótese.

Dependendo do sistema, um MGE pode ser tão simples como fornecer uma lista dos fatos que levaram à execução da última regra, ou tão sofisticado que seja capaz de realizar prognósticos. O uso do MGE, construído a partir do conhecimento de vários especialistas de domínio torna o processo de aprendizagem mais robusto, uma vez que possibilita a aquisição de um conteúdo de conhecimento explicativo mais completo, obtido por meio da sinergia do conhecimento coletivo dos especialistas.

3.1.3 Vantagens de um SE

Algumas vantagens apresentadas pelo SE (GIARRATANO; RILEY, 1998):

- Disponibilidade do conhecimento: a experiência e o conhecimento de uma organização se tornam disponíveis a todos, não ficando concentrados apenas nos especialistas;

- Custo de acesso ao conhecimento: significativamente reduzido devido à maior disponibilidade do conhecimento;
- Redução de risco operacional: O SE pode ser utilizado em ambientes perigosos para o ser humano;
- Preservação do conhecimento: o conhecimento em um SE é preservado indefinidamente, criando uma memória organizacional independente de especialistas humanos sujeitos à demissão, aposentadoria, problemas de saúde, entre outros.
- Múltiplos pontos-de-vista: o conhecimento de diversos especialistas humanos pode compor a base do SE, fazendo com que o nível intelectual do SE possa superar o de um único especialista.
- Maior confiabilidade: embora um SE e um especialista tenham desempenho intelectual equivalente, seres humanos estão sujeitos a fatores que comprometem seu melhor julgamento, tais como cansaço, problemas de saúde, estresse entre outros.
- Capacidade de explicação: o SE pode explicar em detalhes as razões que o levaram a uma conclusão, enquanto que o especialista humano pode estar cansado, não querer ou não ser capaz de prover explicações;
- Rapidez de resposta: dependendo do hardware e software, um SE pode responder muito mais rapidamente que o especialista humano em situações que exijam respostas rápidas ou em tempo real;
- Consistência e imparcialidade: respostas oferecidas pelo SE são sempre consistentes e imparciais em qualquer circunstância, enquanto o julgamento de especialistas pode ser comprometido por preconceitos ou pela pressão de uma situação de emergência.

3.1.4 Desvantagens de um SE

Algumas desvantagens associadas ao SE (GIARRATANO; RILEY, 1998):

- Aquisição de conhecimento: por serem profissionais de alto valor e sob constante demanda dentro da organização, é sempre difícil que especialistas tenham disponibilidade ou mesmo interesse em compartilhar seus conhecimentos;
- Alto custo de desenvolvimento: o desenvolvimento de um SE exige profissionais em dedicação exclusiva, bem como infraestrutura de programação e implantação;

- Dificuldade de verificação: a programação de um SE está sujeita tanto a erros de sintaxe como de semântica, sendo que os últimos são bem mais difíceis de serem identificados;
- Complexidade de validação: as soluções dadas por um SE devem passar pelo crivo de especialistas, o que pode ser muito complicado em domínios em que o espaço de possíveis soluções é muito grande;
- Desempenho: deve-se estar atento para evitar o problema de explosão combinatória em SE com muitas regras e fatos;
- Integração com bases de dados e outras plataformas: pode ser difícil fazer o *shell* (ferramenta apropriada que fornece um ambiente completo para o desenvolvimento e execução de sistemas especialistas) se comunicar com bases de dados, assim como pode haver problemas de compatibilidade em diferentes plataformas;
- Senso comum: a representação e implantação de conhecimento associado a senso comum podem ser extremamente complexas (exemplo: inspeção visual de qualidade de pintura);
- Conhecimento causal: representar conhecimento profundo de causas subjacentes a um efeito pode ser altamente complexo (exemplo: é mais fácil recomendar aspirina para dor de cabeça do que concluir isto a partir de conhecimentos fundamentais de anatomia, fisiologia, bioquímica, entre outros);
- Limites da ignorância: uma vez que um especialista humano conhece a extensão ou limite de seu conhecimento, seu desempenho decresce gradativamente à medida que se aproxima deste limite, ou seja, reserva seu julgamento a questões que vão além daquilo que domina. Tal característica deve ser prevista em um SE.

3.1.5 Características desejáveis em um SE

As características mais desejáveis de um SE (GIARRATANO; RILEY, 1998):

- Alto desempenho: deve ter capacidade intelectual maior ou igual a um especialista humano, ou seja, ele deve fornecer soluções de alta qualidade;
- Tempo de resposta adequado: deve ser mais rápido do que um especialista humano para encontrar uma solução;
- Robustez: software e hardware devem ser confiáveis e não sujeito a falhas inesperadas;

- Flexibilidade: deve ter um meio eficiente de adicionar, remover ou modificar a base de conhecimento;
- Abrangência: deve ser capaz de explicar os passos de seu raciocínio ao invés de se comportar como uma caixa-preta. Assim, a fim de ser compreensível, um MGE é necessário.

3.2 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

O desenvolvimento de um sistema especialista (SE) é muito diferente de um sistema convencional, devido à necessidade de contato constante com os especialistas durante todo processo de desenvolvimento. Nos sistemas convencionais, os requisitos são bem definidos no início do processo, ao contrário dos SEs, que necessita que o responsável pelo desenvolvimento do sistema esteja em contato estreito com o(s) especialista(s) ao longo de todo processo. Isso porque o conhecimento de um especialista humano é difícil de definir e ainda mais difícil de explicitar. Todos os envolvidos no desenvolvimento do SE devem possuir facilidade de relacionamento, articulação, paciência, entre outras habilidades ou qualidades, que transcendem, mas não excluem o puro conhecimento de programação. O responsável pelo desenvolvimento de programas convencionais é conhecido por engenheiro de software e o responsável pelo desenvolvimento do SE por engenheiro do conhecimento. O processo de desenvolvimento do SE é conhecido por engenharia de conhecimento.

O modelo de desenvolvimento de um SE é conhecido como modelo incremental, onde o incremento de regras amplia as capacidades do sistema numa escala de vários níveis. O modelo incremental foi usado com sucesso no desenvolvimento de grandes programas convencionais. Esse modelo é centrado em duas etapas principais: na primeira, uma parte do conhecimento é escolhida para ser desenvolvida de modo completo, gerando-se um protótipo inicial a partir do qual o sistema é desenvolvido; na segunda etapa, incrementam-se iterativamente ao protótipo as demais partes do conhecimento. A aplicação desse modelo de desenvolvimento envolve, portanto, vários ciclos de aquisição, representação, implantação e validação do conhecimento, como detalhado a seguir.

3.2.1 Processo de desenvolvimento de um SE

O processo de desenvolvimento de um SE envolve quatro etapas principais:

- Aquisição: o conhecimento heurístico é obtido por meio da interação com um ou mais especialistas, normalmente por meio de entrevistas realizadas em sessões próprias para este fim. Literatura técnica do domínio de conhecimento também é utilizada para adquirir conhecimento.
- Representação: o conhecimento obtido deve ser representado por meio de uma estrutura formal que: a) estabeleça uma cadeia de inferência capaz de reproduzir o raciocínio do especialista; b) possa ser implantada computacionalmente. Uma das estruturas mais utilizadas é o encadeamento por meio de regras, o que é esperado se for considerada a natureza heurística do conhecimento especializado.
- Implantação: A estrutura da representação do conhecimento é implantada computacionalmente por meio de ferramentas apropriadas para o desenvolvimento e execução de sistemas especialistas conhecidas como *Shells*. O elemento computacional que contém a estrutura de representação do conhecimento é chamado base de conhecimento.
- Verificação e validação: As soluções propostas pelo SE, obtidas de inferências realizadas pelo *Shell* a partir da base de conhecimento, devem ser verificadas e validadas para assegurar que estejam livres de erros sintáticos e semânticos, garantindo assim a credibilidade intelectual do sistema.

A aplicação do modelo de desenvolvimento incremental envolvendo vários ciclos do processo de desenvolvimento do SE (aquisição, representação, implantação e verificação / validação do conhecimento), fornece uma continuidade que conecta todos os estágios desse desenvolvimento e permite que o SE seja colocado em uso mesmo sem estar completo. Este tipo de estratégia de desenvolvimento possibilita evolução constante em que cada etapa do ciclo de desenvolvimento do SE, possibilitando que sejam associados novos blocos de regras. A principal vantagem desse tipo de modelo é que o incremento de funcionalidade é mais fácil de testar, verificar e validar, gerando custos de correção menores.

3.2.2 Engenharia do Conhecimento

Engenharia de conhecimento é o processo de desenvolvimento de um SE. Nesse processo se estuda como construir o sistema, determinando quais conceitos são importantes em termos de percepção e categorização, bem como o melhor modo de representar o conhecimento, por meio da seleção de técnica de representação mais adequada. Dessa forma,

a Engenharia do Conhecimento compreende a aquisição e representação do conhecimento, sendo área, a de maior dificuldade encontrada no desenvolvimento de um SE.

De acordo com Gonzalez e Dankel¹ (1993 apud Matelli, 2008, p. 10), a engenharia do conhecimento é definida como “a aquisição de conhecimento em determinado domínio a partir de uma ou mais fontes e sua conversão para uma forma que possa ser utilizada por um computador para resolver problemas que tipicamente só podem ser resolvidos por pessoas que detenham extensivo conhecimento sobre o domínio em questão”. A engenharia do conhecimento envolve também a percepção de qual conhecimento está sendo utilizado para resolver um problema, categorizar esse conhecimento e determinar o melhor modo de representá-lo.

O desenvolvimento de um SE requer do responsável pelo desenvolvimento do sistema ou engenheiro do conhecimento (EC), um contato estreito e constante com o(s) especialista(s) durante todo processo de desenvolvimento. Isso porque o conhecimento de um especialista humano é difícil de definir e ainda mais difícil de explicitar. Para que haja fluidez no desenvolvimento do SE, o EC ou equipe de desenvolvimento devem possuir habilidades ou qualidades que transcendem, mas não excluem o puro conhecimento de programação, tais como: facilidade de relacionamento, articulação, paciência, organização, comunicação interpessoal, entre outras.

A equipe de desenvolvimento do SE depende da complexidade do sistema, mas requer, no mínimo, um EC e um especialista. Sistemas mais complexos podem exigir mais engenheiros de conhecimento ou até mesmo um painel de especialistas, o que pode aumentar muito os custos. Também podem ser necessários analistas de sistemas para desenvolver a interface SE e integrar o SE com outras plataformas (por exemplo, bancos de dados). Os critérios para definição do EC dependem do tamanho da equipe e da sofisticação técnica do sistema. Contudo, esta pessoa deve possuir uma significativa experiência no desenvolvimento de sistemas baseados em conhecimento, que inclui: um entendimento a respeito da aquisição de conhecimento; suficiente experiência na implementação computacional; bom entendimento da linguagem de programação; e se possível uma percepção e compreensão do domínio.

Além da supervisão geral da equipe de desenvolvimento, o EC deve: a) coordenar sessões de aquisição do conhecimento com especialistas; b) conduzir atividades de representação do conhecimento; c) supervisionar a implantação computacional da base de conhecimentos; d) conduzir sessões de verificação do SE; e) orientar os especialistas durante as sessões de validação do SE. É importante enfatizar que somente os especialistas podem

¹ GONZALEZ, A. J.; DANKEL, D. D. The engineering of knowledge-based systems. New Jersey: Prentice-Hall international, 1993. apud MATELLI, J. A. Tese de doutorado. Florianópolis: Matelli, 2008.

considerar o SE validado. Na próxima seção, é apresentado o desenvolvimento de um SE para análise de eficiência energética em plantas industriais.

3.2.2 Aquisição do conhecimento

A aquisição do conhecimento é uma etapa crucial no desenvolvimento de um SE. Nesta etapa são identificados quais conhecimentos específicos sobre um domínio, precisam ser adquiridos para formação da BC. Os métodos de aquisição de conhecimento utilizados para o desenvolvimento do SE referente a este trabalho são descritos a seguir (CASTELANOS et al., 2011a, 2011b; BUCCIERI, 2014; GUERRERO et al., 2014):

3.2.2.1 Abordagem direta

O EC interage diretamente com o especialista humano, geralmente por meio de entrevistas (pessoal ou estruturada) ou questionário, obtendo o conhecimento que o especialista aplicou para resolver um problema específico, bem como uma justificativa para a solução utilizada. Como resultado, conhecimentos verbais são obtidos e, em seguida, organizados pelo EC. Este tipo de abordagem requer alguns cuidados para sua aplicação: um exemplo é que o especialista pode esquecer alguns fatos que ele considera conhecimento comum. Outro exemplo pode ocorrer devido à característica da linguagem específica (ou jargão) usada pelo especialista, em que apenas ele, o especialista, possa compreender a sua explicação, podendo o conhecimento ser mal interpretado pelo EC.

Dois tipos de entrevistas podem ser usados na abordagem direta:

- Entrevista não estruturada - consiste em uma série de perguntas identificadas com o domínio do problema. Essas perguntas podem ser sobre tópicos gerais ou específicos. Os especialistas devem ser previamente preparados para aplicação desta técnica, deixando claros os objetivos de cada sessão. O EC deve ter a capacidade de dirigir a entrevista corretamente, para evitar ambiguidades e perda do objetivo.
- Entrevista estruturada - consiste em um conjunto de entrevistas conduzidas por objetivo. Cada uma dessas entrevistas permite que os participantes sintetizem seus conhecimentos em relação a uma tarefa específica. Esta técnica demonstrou ser mais eficiente do que os outros métodos que são utilizados no processo de aquisição do conhecimento (GUERRERO et al., 2014). No entanto, esta técnica requer um longo tempo para preparar a sessão, uma vez que o EC deve fazer perguntas que permitam aos especialistas

pesquisarem novos conceitos do domínio do problema, para cobrir as relações e evitar ambiguidades.

3.2.2.2 Abordagem Observacional

Esta técnica consiste em o EC analisar o trabalho do especialista em seu local de trabalho, bem como solicitar explicação de cada processo ou um passo a passo na execução das tarefas. As características principais que foram acumuladas por meio dessa técnica relacionaram-se com as decisões e os processos de realização dos experimentos. Essa abordagem também é chamada de análise de protocolo verbal. Existem alguns cuidados que devem ser tomados ao aplicar esta técnica, no sentido de evitar que os especialistas possam se sentir desconfortáveis em transmitir o conhecimento: orientar antecipadamente o especialista quanto aos objetivos e conduta por parte do EC durante a realização da sessão; solicitar ao especialista a confirmação das transcrições realizadas pelo EC após o término de cada sessão, evitando coleta de explicações e processos incorretos ou imprecisos; revisar detalhadamente junto ao especialista os procedimentos e as explicações por ele demonstrada ou verbalizadas, evitando a imprecisão ou superficialidade na transferência do conhecimento.

3.2.2.3 Abordagem Indireta

Definida como técnica de elicitação. Esta técnica consiste em reunir conhecimento de forma discreta (QUINTANS, 2009). A estrutura do conhecimento do especialista é derivada dos resultados das técnicas de elicitação aplicadas pelo EC. Essa abordagem não exige que o especialista verbalize seus conhecimentos de forma direta. Em geral são transmitidos em uma conversa com finalidade específica, uma vez que estes conhecimentos não estão prontamente disponíveis. Eficaz e fácil de disfarçar, a abordagem indireta pode ser aplicada sem levantar suspeitas de que os conhecimentos específicos estão sendo levantados.

De acordo com Quintans (2009), elicitação é uma técnica usada para reunir informações de forma discreta. É o uso estratégico de conversa para extrair informações de pessoas sem lhes dar a sensação de que estão sendo inquiridas. Em uma conversa com uma finalidade específica, pode-se recolher informações que não estão prontamente disponíveis, fazendo sem levantar suspeitas de que os fatos específicos estão sendo procurados. Esta conversa pode ser direta com a pessoa, por telefone, ou por escrito. Um ponto interessante é que uma pessoa em geral não percebe que ela foi alvo de elicitação ou que forneceu

informações significativas. Cabe ressaltar que esta técnica é aplicada pelo EC junto ao especialista, no sentido de garantir a correta compreensão dos conhecimentos transmitidos. Contudo, o especialista revisa os apontamentos do EC após a etapa finalizada do processo.

3.2.2.4 Processamento de documentos

Na prática, o conhecimento também pode ser adquirido pelo especialista humano por meio de relatórios técnicos, livros, revistas, artigos, entre outros. Apesar desse método de aquisição de conhecimento ser confiável, o processamento de documentos em geral requer tempo e esforço por parte do especialista e do EC. Há necessidade de extrair um grande volume de conhecimento, analisá-lo, para então ser traduzido em regras e integrar a base do conhecimento do SE (GUERRERO et al., 2014). Atualmente, existe a tendência da incorporação de módulos que realizam aquisição automática de conhecimento, por meio da implementação de métodos de aprendizado de máquina, para casos onde há grande volume de conhecimento a ser adquirido.

3.2.3 Representação do conhecimento

A representação do conhecimento é de maior importância nos sistemas especialistas devido a duas razões. A primeira pela utilização de *Shells* para sua implantação computacional, os quais trabalham com certos tipos de representação de conhecimento como regras, por exemplo. *Shell* é uma ferramenta especialmente projetada para facilitar o desenvolvimento de SE para modelar conhecimento ou experiência humana. A segunda razão é a existência de diversas técnicas de representação do conhecimento que podem ser usadas na construção desses sistemas. Essas técnicas tornam explícitas, de forma completa e eficiente, as relações importantes do conhecimento e suas restrições. Cada uma dessas técnicas dá ao sistema diferentes medidas de desempenho, que afetam o desenvolvimento, eficiência, velocidade e manutenção do sistema (GIARRATANO; RILEY, 1998).

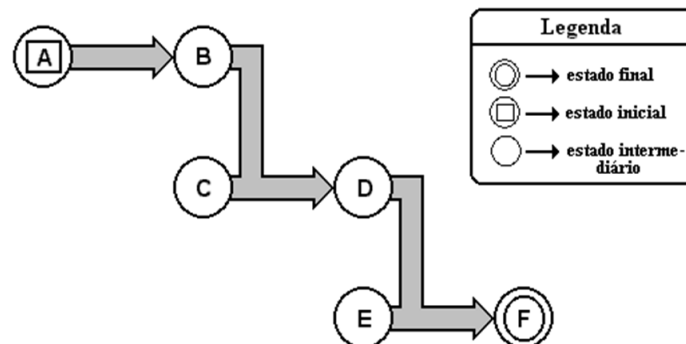
Dentre várias técnicas de representação de conhecimento, a mais utilizada nos sistemas especialistas são as regras, que se constituem em um modo formal de representar recomendações, diretrizes, estratégias, situações ou ações. Assim como as regras são as formas de armazenamento de conhecimento especializado mais utilizadas, o encadeamento de regras é a técnica de inferência mais comum de ser utilizada para encontrar uma conclusão, sendo que o encadeamento direto (também chamado de encadeamento para frente ou

raciocínio antecedente) parte dos estados iniciais, ou seja, dos fatos, e com base nas regras de conhecimento, deduz outras asserções, procurando chegar à solução do problema (RISSOLI; FABRI; CAMARGO, 1999).

No encadeamento direto são fornecidos fatos sobre um problema ou uma situação, sendo estes fatos comparados com a parte condicional das regras relevantes, para determinar a aplicabilidade da regra à situação atual. Uma regra é selecionada pelo interpretador que a aplica, alterando a memória de trabalho. A parte consequente da regra selecionada atualiza a memória de trabalho fazendo com que a parte condicional de outras regras seja candidata à nova avaliação. Este processo continua até que não haja nenhuma regra cuja parte condicional seja satisfeita, tendo-se chegado assim a uma conclusão (RISSOLI; FABRI; CAMARGO, 1999).

Um exemplo de encadeamento direto pode ser observado na Figura 2. Neste exemplo são considerados fatos conhecidos às ocorrências: A (estado inicial), C e E. Procura-se uma solução satisfatória para A, que pode ser B, D ou F. Com uma cadeia de inferência que parte do estado A e consegue chegar ao estado F, pode-se concluir que este problema tem uma solução possível utilizando o encadeamento direto.

Figura 2 - Exemplo de encadeamento direto



Fonte: Rissoli, Fabri e Camargo (1999)

O processo de inferência relativo à Figura 2 pode ser melhor compreendido utilizando as regras contidas na Figura 3. A verificação da veracidade da regra 01 altera a situação da memória para a validade de B, que em seguida valida a regra 02, e assim por diante, até chegar a F com a regra 03, pois a solução F é satisfatória ao problema apresentado.

Figura 3 - Regras utilizadas no exemplo da Figura 2

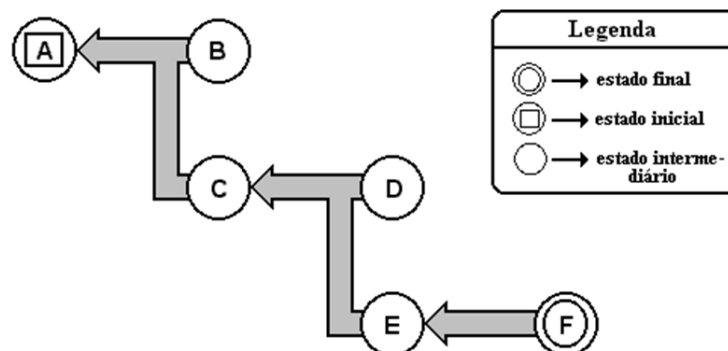
Número	Regra
01	SE A ENTÃO B
02	SE B e C ENTÃO D
03	SE D e E ENTÃO F

Fonte: Rissoli, Fabri e Camargo (1999)

O encadeamento direto tende a gerar vários estados intermediários, pois algumas das regras que são executadas podem não ter relação direta com o problema em questão. Apesar disto, esta estratégia é muito apropriada em situações em que o objetivo não pode ser facilmente especificado.

O encadeamento reverso é um método alternativo para o encadeamento direto. A idéia desta estratégia é usar somente as regras que são relevantes ao problema em questão. A principal diferença entre as duas estratégias é que o encadeamento reverso assume que uma conclusão (estado final) é verdadeira, passando a utilizar a parte condicional das regras para provar esta conclusão, conforme pode ser observado na Figura 4. Assim, para provar a veracidade da parte condicional de uma regra (premissa), procura-se uma regra que tenha esta premissa como uma de suas conclusões. Se tal regra for encontrada, repete-se o processo, encadeando também suas premissas para trás. Este processo termina quando não houver mais regras para serem avaliadas (RISSOLI; FABRI; CAMARGO, 1999).

Figura 4 - Exemplo de encadeamento reverso



Fonte: Rissoli, Fabri e Camargo (1999)

De acordo com Rissoli, Fabri e Camargo (1999), o encadeamento reverso é sempre um bom candidato para a estratégia de inferência, quando se pode supor com razoável certeza qual será a conclusão, pois pelo menos duas razões são evidentes para isso: i) o fato do

encadeamento lógico ser tão certo e direto quanto possível na BC; ii) a inquirição feita pelo usuário está concentrada no objetivo que se quer provar.

As regras e outras técnicas de representação do conhecimento utilizadas neste trabalho são detalhadas neste capítulo.

3.2.4 Base do Conhecimento

A base de conhecimento (BC) é o componente responsável pelo armazenamento do conhecimento na forma de técnicas representativas do conhecimento heurístico dos especialistas de um domínio (memória de longo prazo). Essas técnicas de representação do conhecimento tornam explícitas as relações importantes do conhecimento obtido e suas restrições, de forma completa e eficiente. Também fornecem estrutura formal para representação do conhecimento, estabelecem cadeia de inferência capaz de reproduzir o raciocínio e apresentam diferentes medidas de desempenho (eficiência, velocidade e manutenção). As regras, técnica de representação do conhecimento mais comum, utilizada na grande maioria dos SEs em uso atualmente, o qual tem a mesma estrutura SE-ENTÃO encontrada em heurísticas.

A principal dificuldade para formação da BC é a identificação de qual conhecimento a ser adquirido deve corresponder a certo domínio e como representá-lo dentro do sistema. Para isso, o EC deve especificar como o conhecimento será representado, isto dependerá e implicará na seleção da ferramenta de desenvolvimento adequada. Essas atividades são desenvolvidas durante a fase de aquisição do conhecimento, uma etapa crucial no desenvolvimento do SE. Portanto, a BC contém conhecimentos específicos sobre um domínio, sendo este componente mantido separado do resto do sistema.

3.2.6.1 Regras

A representação do conhecimento por meio de regras é muito utilizada devido à sua característica de representar conhecimento heurístico, além de ser relativamente fácil de entender (MATELLI, 2008). Ou seja, a regra é um modo natural de se representar o conhecimento para domínios complexos, nos quais esse conhecimento vem se acumulando ao longo do tempo e que resultou em associações empíricas internas – as heurísticas.

Uma regra tem a mesma estrutura *SE-ENTÃO* encontrada em heurística. A parte *SE* (condição) é composta por um conjunto de fatos que testa o valor de verdade deste conjunto.

Se for verdadeiro, a parte *ENTÃO* (ação, conclusão ou consequência) infere um novo conjunto de fatos. O exemplo a seguir ilustra esse conceito:

SE (pressão acima de 7 bar)
ENTÃO (compressor exclusivo é acionado)

As regras são, de uma maneira geral, um mecanismo de comparação de seqüências de caracteres com padrões, onde esta comparação pode ser ajustada para outras atitudes serem tomadas (condição-ação), buscando novas regras ou fazendo outro encaminhamento, até se atingir um determinado objetivo. Dessa forma, um novo conjunto de fatos derivados de uma regra pode ser utilizado como condição de uma nova regra, denominado de encadeamento:

SE (compressor exclusivo é acionado)
ENTÃO (desconectar conjunto da rede)

O encadeamento entre as regras ocorre até que uma conclusão seja obtida. Quando os fatos gerados não correspondem a qualquer parte *SE* de outras regras, a inferência para o conjunto restante de fatos é a conclusão do raciocínio emulado pela cadeia de inferência. Ou seja, cadeia de inferência é denominação do processo de resolução de problemas utilizados por um SE, e que consiste em criar uma série de inferências para estabelecer um caminho entre a definição do problema e sua solução. De acordo com Rissoli, Fabri e Camargo (1999), o encadeamento de regras pode ocorrer pela aplicação de duas estratégias diferentes, conhecidos como: i) encadeamento direto, também chamado de encadeamento para frente, raciocínio antecedente, forward, data-driven, bottom-up; ii) encadeamento reverso, também chamado de encadeamento para trás, raciocínio consequente, backward, goal-driven, top-down.

Em um SE, o interpretador de regras, ou estratégia de resolução de conflitos, pode ser visto como um processo recursivo que seleciona e executa regras aplicáveis no estado corrente do sistema. Esta ação, normalmente, resulta em uma modificação da BC, reiniciando a fase de seleção novamente. Esta alternância entre a seleção e execução é um elemento essencial da arquitetura dos SEs, conhecida como estratégia de inferência. Este interpretador é a origem das muitas variações encontradas em torno de diferentes sistemas. Ele é quem vai controlar a ordem em que as regras são disparadas e resolver os conflitos se mais de uma regra for aplicável.

Um detalhe importante das regras de inferência da lógica de predicados é que ela não permite invalidações, porque seus fatos são sempre verdadeiros e não podem ter seu valor de verdade modificado, nem podem ser removidos do conjunto de fatos. Logo, o conjunto de fatos sempre aumenta. A este tipo de lógica se denomina monotônica.

Lógicas não-monotônicas, por outro lado, admitem inferências realizadas na ausência de fatos contrários, que podem ser invalidados quando apresentados. Dessa forma, no raciocínio não monotônico há obtenção de conclusões que podem ser invalidadas sob a luz de novas informações (dada uma informação A; na ausência de evidência de B, infira a conclusão C). Ou seja, a parte ENTÃO também pode retrair fatos. O exemplo a seguir ilustra esse conceito:

SE (pressão com oscilação)

ENTÃO (reconectar conjunto a rede)

RETRAIR (desconectar conjunto da rede)

A conclusão (reconectar conjunto a rede) só é verdadeira na ausência do fato (pressão com oscilação). A existência desse novo fato invalida a conclusão (desconectar conjunto da rede), que é então removida do conjunto de fatos *RETRAIR* (desconectar conjunto da rede). Uma nova conclusão (reconectar conjunto a rede) é requerida para manter o conjunto de fatos verdadeiros. As ferramentas de implantação dos sistemas especialistas são capazes de manipular lógicas não-monotônicas, além de garantir que eventuais conclusões posteriores, baseadas em um fato que tenha sido removido, sejam também removidas (MATELLI, 2008).

A grande utilização desta técnica de representação deve-se, basicamente, a sua facilidade de compreensão e aplicação, além dos aspectos de modularidade e uniformidade. A modularidade assegura que qualquer regra pode ser adicionada, removida ou modificada independentemente das demais, enquanto que a uniformidade assegura que todas as informações são codificadas dentro da rígida estrutura das regras, o que permite que elas sejam facilmente compreendidas por outra pessoa ou outra parte do sistema (RISSOLI; FABRI; CAMARGO, 1999).

3.2.5.2 Orientação a Objetos

De acordo com Giarratano e Riley (1998), a orientação a objetos é um paradigma de programação que estabelece fronteiras e descreve como resolver problemas dentro desta

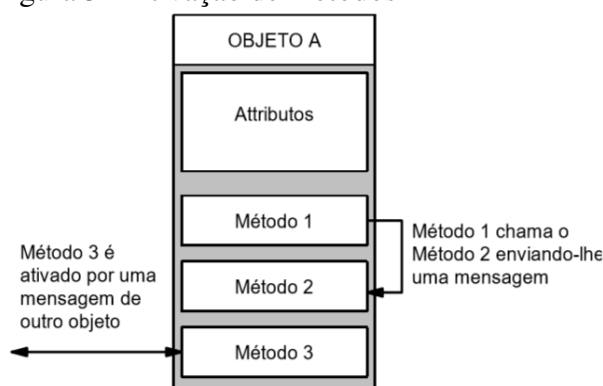
fronteira, permitindo implantar o conhecimento representado. Ela facilita o gerenciamento e a expansão do código computacional, e pode servir também como modo de representação do conhecimento. Baseia-se na utilização de componentes individuais (objetos) que se relacionam entre si para construir sistemas mais complexos.

Um objeto é uma entidade que possui atributos, ações e identificadores. Os atributos (ou propriedades ou *slots*) descrevem o estado de um objeto do mundo real. As ações (ou métodos) representam os processos associados ao objeto no mundo real. O identificador (ou nome) designa de modo unívoco o objeto na representação.

Os atributos são constituídos por dois componentes: um nome de atributo e um valor de atributo, e podem ser considerados como dados locais associados a um objeto. A parte do valor de um atributo é ela própria uma instância, podendo ser um objeto simples ou um objeto complexo. Os objetos simples são formados a partir de tipos primitivos: inteiro, booleano, reais, entre outros. Os objetos compostos consistem em: conjuntos, listas, arranjos, entre outros, ou também podem ser estruturas recursivas de alguns ou todos esses elementos (PALAZZO, 2002).

Os métodos descrevem os possíveis comportamentos associados a um objeto e representam a ação que pode ser executada por um objeto ou sobre um objeto. Cada método possui um nome e um corpo que desempenha a ação ou comportamento associado ao nome do método. O corpo de um método consiste em um conjunto de procedimentos que executam a ação solicitada. Esta ação pode possuir efeitos colaterais. Todos os métodos que acessam ou alteram os dados locais em um objeto devem ser especificados no próprio objeto. Um método em um objeto pode ser ativado por meio de uma mensagem vinda de outro objeto, ou por outro método no mesmo objeto por meio de uma mensagem local de um método para outro no mesmo objeto como é mostrado na Figura 5 (PALAZZO, 2002).

Figura 5 - Ativação de métodos

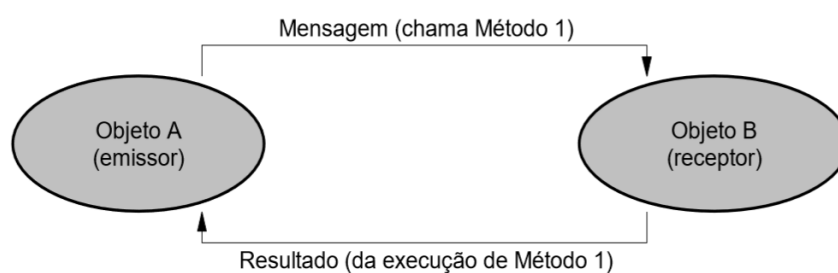


Fonte: Palazzo (2002)

Para cada identificador presente no sistema, deve sempre haver um objeto que a ele corresponda, que é independente dos valores de seus atributos. Os objetos identificadores são empregados para garantir a integridade referencial. Esta abordagem de designação dos objetos permite a distinção entre as noções de identidade e igualdade entre objetos. Assim dois objetos são idênticos se, e somente se, são o mesmo objeto. Dois objetos são iguais se seus estados são iguais. A cada objeto, no momento de sua criação é associado um objeto identificador, que será empregado para referenciá-lo ao longo de sua existência. Uma vez criado o objeto, o identificador que lhe é associado não será reutilizado para nenhum outro objeto do sistema. O identificador distingue cada um dos objetos dos demais. É único e invariante, assim não pode ser modificado em tempo algum ao longo da execução do sistema (PALAZZO, 2002).

Para se comunicarem os objetos empregam o conceito de mensagem. Isto permite definir uma interface precisa entre o objeto e o seu ambiente. A troca de mensagens, mostrada na Figura 6, pode ocorrer segundo diversos protocolos e envolver negociações em vários níveis. Um protocolo de passagem de mensagens envolve fundamentalmente duas partes: um emissor e um receptor. Quando o emissor envia uma mensagem para certo receptor ele deve especificar: um receptor; uma requisição de serviço; argumentos ou parâmetros (se necessário) (PALAZZO, 2002).

Figura 6 - Comunicação baseada em mensagens



Fonte: Palazzo (2002)

Inicialmente o objeto receptor deve ser especificado. Uma vez ativado o receptor verifica se o serviço solicitado pode ser atendido. Caso não possa, o emissor é notificado e o receptor não realiza processamento algum. Em caso positivo, o receptor aceita e responde a mensagem ativando o método correspondente. Os parâmetros ou argumentos são também objetos que podem representar dados que serão usados pelos métodos ativados ou outra

mensagem, neste caso, uma vez que da execução de um método resulta um objeto, pode-se considerá-la como o resultado da ativação de outros objetos. Uma característica importante da passagem de mensagens é que ela representa um mecanismo uniforme para a comunicação entre objetos, principalmente ao assegurar que não há nenhuma outra forma de comunicar-se com um objeto, modificar seus dados, acessar informação ou executar um método contido em um objeto (PALAZZO, 2002).

As coleções de objetos com características similares tais como os mesmos atributos e métodos, são agrupados em classes. Da mesma forma, classes com características similares podem ser agrupadas em classes de nível mais alto denominadas superclasses. Classes de níveis mais baixos denominam-se subclasses. Uma classe é ela própria, representada por um objeto, portanto um objeto pode ser uma classe ou uma instância. Classes de níveis mais baixos na hierarquia constituem especializações de suas superclasses, das quais herdam atributos, métodos e protocolos acrescentando-lhes características próprias, que por sua vez são herdadas por suas subclasses e assim por diante até o nível de instância (PALAZZO, 2002).

3.2.5 Implantação de um SE

A implantação computacional de um SE é efetuada por meio de ferramentas apropriadas para seu desenvolvimento e execução, e são conhecidas como *Shells*. *Shell* é uma ferramenta especialmente projetada para facilitar o desenvolvimento de software para modelar conhecimento ou experiência humana. Esta ferramenta fornece um ambiente de desenvolvimento integrado, que inclui o motor de inferência e outras funcionalidades como editor de base de conhecimento, interface para integração com outras linguagens e mecanismos de depuração e explicação.

O *Shell* permite que o esforço de desenvolvimento do SE seja concentrado na elaboração da base de conhecimento, evitando a programação e a manutenção do motor de inferência, além de tornar a verificação e validação menos difícil. Estas características tornam o desenvolvimento menos complexo e ajudam a equilibrar uma boa sinergia com a equipe de desenvolvimento. Dessa forma, a seleção do *Shell* é um importante ponto para o desenvolvimento de um SE.

Alguns critérios são importantes para a seleção do *Shell*:

- Especificação da técnica de representação do conhecimento para a construção da BC;
- Tipo de encadeamento de regras a ser aplicado (direto ou reverso);

- Fatores do projeto (tempo, recursos financeiros, pessoal, entre outros);
- Detalhes sobre a ferramenta (capacidade, confiabilidade, custo, disponibilidade, documentação, robustez, sofisticação, suporte, entre outros);

3.2.6 Verificação e Validação

A verificação e validação é uma etapa de extrema importância no desenvolvimento de um SE. Nessa etapa procura-se assegurar a qualidade e a credibilidade intelectual do sistema, ou seja, que esteja tão livre de erros quanto possível. As principais causas de erros no SE são: i) a ausência de especificação do sistema; ii) erros semânticos ou de sintaxe introduzidos durante a implantação do sistema (bugs); iii) representação incorreta do conhecimento, resultando em soluções errôneas ou incapacidade de encontrar soluções (MATELLI, 2008).

A verificação visa assegurar se há correspondência entre a especificação do SE e o que este realmente executa. Trata das duas primeiras causas anteriormente citadas: a aderência e/ou ausência de especificações do sistema e a existência de erros (semânticos e/ou sintáticos) na base de conhecimento. A responsabilidade pela atividade é do EC.

A seguir são abordados alguns tópicos importantes da verificação quanto à especificação:

- Adequação do paradigma de representação de conhecimento;
- Adequação do raciocínio;
- Modularidade da implantação;
- Adequação da interface;
- Correspondência da interface com suas especificações;
- Mecanismo de explicação apropriado;
- Satisfação dos requisitos de tempo de execução;
- Satisfação dos requisitos de segurança;
- Proteção da base de conhecimento para evitar modificações sem autorização.

A validação trata da terceira causa anteriormente citada. Ela visa assegurar que o conhecimento sobre o domínio é correto, e que o sistema resolve problemas desse domínio de modo coerente e preciso. Também envolve determinar a eficácia do SE com relação às necessidades e requisitos do usuário. A validação é de responsabilidade do especialista, que testa o desempenho e a utilidade do protótipo, além de apoiar o EC em sua correção,

garantindo assim que as respostas e explicações apresentadas pelo SE sejam coerentes com as do especialista. Assim sendo, a validação é mais complexa que a verificação.

Três são os métodos de validação: a formal, a informal e a de Turing. Contudo, cabe ressaltar que qualquer que seja o método de validação, deve-se ter em mente que o número de testes exaustivos cresce fatorialmente com o número de regras aplicado.

A validação informal é composta de reuniões com especialistas para uma avaliação superficial e qualitativa. São úteis durante o desenvolvimento de um módulo da base de conhecimento. Contudo, não deve ser utilizado como único método de validação.

A validação formal requer testes predefinidos, em que o SE é tratado como uma caixa preta:

- As respostas do SE são comparadas com a de especialistas;
- Respostas sim ou não;
- Faixa de valores;
- Aspectos qualitativos;
- Nesta abordagem, deve-se assegurar que os especialistas/usuários não terão dificuldades de operar o SE.
- Alternativamente, pode-se simplesmente apresentar os resultados ao painel de especialistas;
- Em qualquer caso, a opinião pessoal de um especialista a respeito do uso de computadores em determinadas tarefas pode afetar seu julgamento sobre o SE;
- Para manter a objetividade e diminuir a parcialidade, recomenda-se que o painel seja composto de membros da equipe de desenvolvimento e membros externos.

O teste de Turing consiste num diálogo entre o especialista e um usuário que opera o SE, de preferência sem que o especialista saiba disso. É uma alternativa interessante em sistemas que apresentam saída na forma de diálogo. No teste de Turing, o usuário faz para o especialista as perguntas idênticas ao que o SE faz, em seguida as respostas do SE e do especialista são comparadas. A vantagem desta abordagem é a imparcialidade. Embora conceitualmente simples, pode ser difícil de ser realizada.

A etapa de verificação e validação pode ser facilitada por meio da implantação de um MGE, uma vez que possibilita ao EC e ao especialista interpretar e justificar os resultados produzidos com base no conhecimento disponível e no mecanismo de raciocínio seguido pelo sistema, bem como facilitar a revisão da representação do conhecimento. Neste

processo podem ser revisadas a argumentação, as justificativas e as recomendações do SE, os quais são baseados em regras implantadas.

4. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO SE

O desenvolvimento do protótipo SE visa à avaliação e aplicação da eficiência energética em plantas industriais (diagnóstico preliminar), com base na metodologia descrita no capítulo anterior. Neste capítulo são descritos o ciclo de desenvolvimento do protótipo e as etapas de desenvolvimento do projeto.

O protótipo SE foi desenvolvido a partir da ferramenta de programação CLIPS versão 6.30 (CLIPS, 2015), software livre disponível sem custo para sua utilização (o CLIPS é detalhado mais adiante neste capítulo). O desenvolvimento do protótipo do SE é efetuado pelo próprio autor deste trabalho, atuando como engenheiro do conhecimento (EC). A base de conhecimento é formada a partir de um grupo de especialistas em eficiência energética do setor industrial da região do Vale do Paraíba. Os critérios para identificação e seleção das empresas e especialistas são descritos a seguir neste capítulo.

O ciclo de desenvolvimento do protótipo SE passa por quatro fases: aquisição do conhecimento, representação do conhecimento, implantação computacional e de verificação e validação do sistema.

4.1 AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO

O processo de aquisição do conhecimento se iniciou a partir da continuidade do trabalho de Buccieri (2014), que descreve um método de identificação e ponderação de indicadores de desempenho sustentáveis para avaliar a eficiência energética em instalações industriais baseadas no Vale do Paraíba/SP. Buccieri (2014) ainda propõe uma lista de indicadores de avaliação de critérios de eficiência energética, fornecendo uma importante referência para o mapeamento, comparação, evolução e investimento adequado para a avaliação dos tomadores de decisão.

A região do Vale do Paraíba foi escolhida devido ao atendimento dos requisitos do projeto, atuação do poder público relacionado às questões ambientais e a forte característica de desenvolvimento tecnológico, que possibilitam maior assertividade aos propósitos do trabalho. Da mesma forma, o grupo de especialistas da área de eficiência energética industrial previamente selecionado no trabalho de Buccieri (2014) passou a fazer parte deste projeto. O processo de seleção dos especialistas passa necessariamente pela seleção de empresas da região e atende aos requisitos necessários para o desenvolvimento do trabalho proposto.

4.1.1 Seleção das empresas

A utilização de especialistas para identificar oportunidades de eficiência energética em empresas do setor industrial de uma mesma região está caracterizada em muitos trabalhos na literatura acadêmica. De acordo com Buccieri (2014), a avaliação de oportunidades de eficiência energética pode ser complexa, devido a fatores culturais, econômicos, técnicos, mercadológicos e políticos, exigindo competências multidisciplinares para análise e integração de informações, que nem sempre estão disponíveis. Este fato é relevante e também atende os requisitos de proximidade dos especialistas junto ao EC apresentado na fase de seleção de especialistas neste capítulo.

A oportunidade do aproveitamento do grupo de especialistas selecionados no trabalho de Buccieri (2014) somente foi possível devido à colaboração da alta gestão das empresas envolvidas, que foram convencidas do potencial de ganho por meio do desenvolvimento colaborativo do grupo. Também é importante frisar que a formação do grupo de especialistas de uma mesma região, com experiências multidisciplinares, propicia a troca de experiências bem-sucedidas, a comparação de informações relevantes, oportunidades de aperfeiçoamento entre os especialistas do grupo e a transferência de conhecimento.

O primeiro passo para a seleção das empresas do setor industrial da região selecionada consistiu no estabelecimento dos seguintes critérios: plantas de grande porte (mínimo de 500 colaboradores), com características de infraestrutura similares, de diferentes ramos de atividade e experiência na aplicação de eficiência energética. O segundo passo tratou da identificação e contato com a alta gerência das empresas. Treze empresas da região do Vale do Paraíba foram identificadas e contatadas, mas seis delas foram descartadas devido à dificuldade de comunicação ou atraso no envio de informações preliminares. Assim sendo, um grupo de sete empresas de diferentes setores industriais participaram do trabalho, sendo estes: aeronáutico, automobilístico, equipamentos industriais, máquinas e equipamentos pesados, metalúrgico e químico (BUCCIERI, 2014).

4.1.2 Seleção dos especialistas

A seleção dos especialistas das sete empresas participantes selecionadas teve como critério a definição do perfil do mais adequado dos especialistas para a realização do trabalho (BUCCIERI, 2014):

- Funcionários da empresa com atuação contínua com dois ou mais anos nas áreas de infraestrutura ou energia;
- Formação em engenharia, com mais de cinco anos de experiência;
- Grande experiência em eficiência energética;
- Participação ativa em programas de eficiência energética da empresa;
- Disponibilidade para participar de todas as atividades do trabalho em tempo hábil, participar de reuniões, responder questionamentos, levantar e repassar as informações requeridas. Este quesito, em particular, é um dos grandes gargalos no desenvolvimento de qualquer SE.

Além dos critérios de seleção estabelecidos no trabalho de Buccieri (2014), o grupo de sete especialistas selecionados das empresas também atendeu aos requisitos adicionais de perfil de especialista para o processo de aquisição de conhecimento, como descrito a seguir:

- Cooperativo: O especialista precisa ter realmente o intuito de contribuir com o trabalho. Este quesito pode parecer simples em princípio, contudo não é difícil encontrar profissionais no mercado que podem se mostrar “não cooperativos” caso se sintam inseguros ou ameaçados pelos resultados de perpetuação do conhecimento de um projeto bem-sucedido de SE.
- Competente: Um especialista necessita ser verdadeiramente especialista para o sucesso do SE, ou seja, um profissional reconhecido em sua área de atuação. Por outro lado, é sempre difícil para o EC julgar ou questionar a competência de um especialista.
- Articulado: O especialista deve expressar com clareza não só seu conhecimento formal, mas principalmente sua própria experiência. Não são úteis frases como “a solução é óbvia” ou “não sei explicar, apenas sei que é assim”, mesmo vindas de especialistas qualificados e reconhecidos. Este critério visa evitar barreiras naturais de comunicação entre o especialista e o EC.
- Localização: A localização física do especialista próximo do grupo de especialistas e do EC é recomendada para o bom desenvolvimento do SE. Embora a comunicação por meio de internet ou outros dispositivos de comunicação sejam bons facilitadores, muitas vezes o domínio de conhecimento exige a presença física do especialista para dar detalhes de um determinado processo, por exemplo.

4.1.3 Processamento de documentos

Uma vez finalizado o processo de seleção de especialistas, o próximo passo foi o de estabelecer um cronograma de reuniões e métodos de transferência de dados, informações e conhecimento, que possibilitasse a participação de todos os especialistas. Duas pesquisas independentes realizadas no trabalho de Buccieri (2014) foram utilizadas como premissas para elaboração do presente trabalho. De acordo com Buccieri (2014), ambas as pesquisas foram aplicadas separadamente por meio de questionários ao mesmo grupo de especialistas das empresas participantes, com intervalo de seis meses entre elas. O objetivo foi de colher informações sobre aplicação de técnicas e tecnologias consideradas fundamentais em eficiência energética sobre as quais, cada especialista informava as condições dos ambientes das empresas em que trabalhavam. Os questionários foram submetidos aos especialistas por meio da aplicação da ferramenta *Survey Monkey* (www.surveymonkey.com), pela qual um *link* específico de acesso foi enviado a cada um deles por meio de e-mails. O retorno das informações foi coletado diretamente pela plataforma, tabulado e em seguida analisado, visando preparar material para as demais etapas da pesquisa.

Primeira pesquisa do trabalho de Buccieri (2014) - Teve como objetivo avaliar de forma geral o comportamento de cada empresa participante em relação à sua atuação na área de eficiência energética. Esta etapa do processo de pesquisa contou com a participação de um especialista de cada empresa, que responderam trinta e oito questões fechadas sobre eficiência energética, além de contribuírem livremente sobre cada uma delas por meio de informações adicionais no campo “comentários”. O acesso à pesquisa esteve disponível no *link* especificado aos especialistas, os quais foram contatados antecipadamente e as informações sobre a pesquisa esclarecida visando garantir a efetividade da participação. Após a aplicação da pesquisa, foram identificados nos questionários, conforme o caso, os pontos convergentes da aplicação de eficiência energética ou consciência de sua necessidade, visando identificar níveis de intensidade e comparação entre as empresas (BUCCIERI, 2014).

Segunda pesquisa do trabalho de Buccieri (2014) - Teve como objetivo a classificação dos indicadores de eficiência energética e sua aplicabilidade em cada uma das empresas participantes do processo. Este segundo levantamento realizado continha uma lista selecionada de vinte indicadores de avaliação de eficiência energética para plantas industriais, elaborada a partir da análise das informações obtidas na primeira pesquisa. Os mesmos especialistas foram inqueridos novamente por meio de questionário, disponibilizado em *link* especificado, para determinar os pesos sobre cada indicador. Os especialistas então dividiram

os indicadores em cinco categorias, além de informar da utilização ou não de cada um deles em suas empresas, podendo também contribuir livremente sobre cada um deles por meio de informações adicionais no campo “comentários” (BUCCIERI, 2014).

O resultado inicial do trabalho de processamento dos documentos relacionado às duas pesquisas do trabalho de Buccieri (2014) apresentou conhecimentos adicionais no campo “comentários” que foram utilizados na composição de questionamentos da etapa de abordagem direta de aquisição do conhecimento. Importante destacar a redução do esforço individual dos especialistas para o desenvolvimento desta etapa de aquisição do conhecimento, uma vez que foram os mesmos que participaram do processo de pesquisa estabelecido por Buccieri (2014).

Cada especialista do grupo reuniu informações adicionais do setor de utilidades das plantas que trabalham (contratos, consumos, relatórios de inspeção e características gerais) com o objetivo de propiciar um entendimento e alinhamento geral ao EC. Estas informações permitem ao EC planejar a abordagem direta junto aos especialistas, bem como estabelecer alinhar as informações do grupo.

Destacaram-se nesse processo as seguintes análises: dos dados relativos aos contratos; dos consumos de acordo com as características de cada planta; dos comentários dos especialistas referentes aos relatórios de inspeções, especialmente quando a planta não possui instrumentação; e dos problemas e lições aprendidas com base em relatórios anteriores.

Outro ponto desta etapa que cabe destacar diz respeito à análise da contratação específica de utilidades (água, energia elétrica e gás natural) pelos especialistas das empresas envolvidas, bem como melhorias de projeto e manutenção para todas as sete utilidades avaliadas neste trabalho (água, ar comprimido, ar condicionado, aquecimento de água, energia elétrica, gás natural e iluminação).

O resultado desta etapa foi à elaboração de um relatório geral contendo o consenso do grupo de especialistas e EC à luz dos conhecimentos adquiridos. Parte do conteúdo deste relatório foi utilizada pelo EC para formar a base do conhecimento do protótipo SE e está disponível no APÊNDICE A deste trabalho.

4.1.4 Abordagem direta

A partir do relatório preliminar elaborado no processamento de documentos, o EC passa a interagir diretamente com os especialistas por meio de entrevistas individuais. O objetivo destas entrevistas é obter o conhecimento e respectiva explicação que cada

especialista apresenta para resolver um problema específico. Para tanto, dois tipos de entrevistas foram conduzidas com cada especialista: não estruturadas e, posteriormente, as estruturadas.

Nas entrevistas não estruturadas, foi realizada uma série de perguntas identificadas com o domínio do problema, de caráter majoritariamente geral, embora também houvesse algum espaço para questionamentos específicos. Os especialistas foram informados antecipadamente a respeito dos objetivos de cada sessão, para que o EC pudesse conduzir a entrevista de modo a evitar ambiguidades e perda do objetivo.

Já as entrevistas estruturadas permitiram que os especialistas sintetizassem seus conhecimentos em relação a uma tarefa específica por meio de perguntas. Esta técnica demonstrou ser mais eficiente do que os outros métodos utilizados no processo de aquisição de conhecimento. Contudo, a aplicação desta técnica exigiu maior tempo de preparação do EC, uma vez que foi necessário fazer perguntas que estimulassem os especialistas a levantar informações adicionais ou descobrirem novos conceitos no domínio do problema.

Após cada entrevista, um resumo dos conhecimentos adquiridos foi escrito pelo EC e enviado aos especialistas para aprovação. O resultado desse trabalho foi à elaboração do relatório geral, o qual foi passado ao grupo de especialistas para análise coletiva e estabelecimento de um consenso. Este tipo de abordagem é importante para evitar alguma interpretação indevida e que o sistema possa gerar explicação incompleta.

4.1.5 Abordagem observacional

Outra técnica utilizada durante o processo de aquisição do conhecimento foi a abordagem observacional por meio de visitas agendadas a cada uma das plantas industriais junto ao seu respectivo especialista. Nessas visitas, o EC pode analisar o especialista desenvolvendo atividades em seu local de trabalho e solicitar explicação de cada processo. Foram levantadas as características de cada local, as decisões tomadas pelo especialista nos pontos de interesse do EC e realizações dos experimentos. Este tipo de abordagem permite ao EC revisar detalhadamente, junto ao especialista, os procedimentos e conhecimentos por ele demonstrados ou verbalizados, evitando a imprecisão ou superficialidade na transferência do conhecimento. Também foram realizadas visitas coletivas do grupo de especialistas a cada uma das plantas, permitindo ao grupo alinhar conhecimentos e trocar experiências.

Um resumo dos conhecimentos adquiridos por meio da abordagem observacional foi escrito pelo EC e enviado aos especialistas para aprovação. O resultado desse trabalho foi a

inclusão de conhecimentos adicionais ao relatório geral previamente elaborado, o qual mais uma vez foi passado ao grupo de especialistas para análise coletiva e estabelecimento de um consenso.

4.1.6 Abordagem indireta

Outra técnica utilizada para a aquisição do conhecimento é a abordagem indireta ou técnicas de elicitación. Esta técnica foi aplicada pelo EC em dois participantes do grupo de especialistas, selecionados de forma aleatória. O objetivo era assegurar que o EC tivesse a correta compreensão de parte dos conhecimentos transmitidos pelo grupo de especialistas de domínio.

Existem várias técnicas de elicitación e dentre elas foram usadas: repetição de palavras, em que o EC repete a frase do especialista (“.....*monitoramento do consumo de ar comprimido em tempo real*” => “*Monitoramento do consumo de ar comprimido em tempo real, hein? Interessante...*”, negação do óbvio (“*Treinamento periódico da equipe de trabalho! Todo mundo sabe que esse processo não acontece na realidade! é apenas um projeto dos sonhos.*”) e ignorância afetada (“*Revisão anual do sistema de iluminação! Como é que isso funciona?*”). Cabe ressaltar que para cada técnica de elicitación, existe um específico, único e pequeno conjunto de predicados a respeito de características situacionais que dirigem o EC a considerar seriamente esta técnica.

Mais uma vez o resumo dos conhecimentos adquiridos foi escrito pelo EC e enviado aos especialistas para aprovação. Cabe ressaltar que dois especialistas revisaram seus apontamentos após esta etapa do processo.

4.1.7 Reuniões com especialistas

Em todo processo de aquisição do conhecimento foram realizadas várias reuniões envolvendo o EC junto aos especialistas, sendo estas individuais e em grupo. Comunicação por meio de e-mail foi também utilizada, possibilitando a troca de informações com o objetivo de formalizar o processo e criar rastreabilidade e transparência.

Todas as técnicas apresentadas nessa seção compuseram o processo de aquisição de conhecimento do presente trabalho e é resumido como segue:

- Processamento de documentos: Cada especialista foi entrevistado pessoalmente e em grupo. O resultado desta sessão foi validado individualmente pelos especialistas e pelo

grupo. No total, foram realizadas sete entrevistas pessoais e sete em grupo com cada especialista.

- Abordagem direta: Cada especialista foi entrevistado pessoalmente duas vezes, sendo uma delas estruturada. No total foram realizadas quatorze entrevistas com os especialistas.
- Abordagem Observacional: Cada especialista foi também observado uma vez desempenhando atividades em seu local de trabalho. No total, foram realizadas sete sessões de observação, uma para cada especialista.
- Abordagem indireta: Foi aplicada a técnica em dois dos especialistas, escolhidos aleatoriamente, durante a abordagem direta.

A abordagem direta é a técnica principal aplicada à aquisição de conhecimento junto aos especialistas, em que as entrevistas pessoais e estruturadas exigiram um envolvimento muito grande dos entrevistados e do EC. Há estimativa da utilização de 128 horas efetivamente utilizadas em todo processo de aquisição do conhecimento. Aproximadamente 300 questões sobre diferentes tópicos do processo de análise das plantas foram levantadas. Estas questões foram divididas em grupos e subgrupos, uma vez que existiam diferenças entre as características específicas das plantas envolvidas.

Os principais grupos de questões estruturadas foram:

- Grupo A: Características das utilidades e consumo;
- Grupo B: Informações sobre projetos de melhoria (realizados, em desenvolvimento e planejados);
- Grupo C: Informações sobre lições aprendidas (perturbações ocorridas) e melhorias desenvolvidas;
- Grupo D: Informações sobre manutenção e conservação de equipamentos e instalações.
- Grupo E: Informação sobre os procedimentos que os especialistas normalmente realizam.
- Grupo F: Perguntas específicas.

No caso das entrevistas estruturadas, um questionário foi elaborado para cada especialista, trazendo grupos de questões genéricas, especialmente ajustadas de forma a permitir a verificação da consistência das respostas. Tais questões foram detalhadas nas demais fases do processo.

No caso de entrevistas pessoais, as novas ideias obtidas em cada entrevista foram incluídas no próximo questionário para aprimoramento do processo. Foi observado que os especialistas especificaram pequenas variações gerais entre os levantamentos realizados no trabalho de Buccieri (2014). Este comportamento dos especialistas provocou uma redução do

número de perguntas pessoais e adicionais de verificação para o grupo. No caso das entrevistas estruturadas, as perguntas foram organizadas dependendo das respostas e do caso selecionado para cada discussão.

Ao final do processo de aquisição de conhecimento, desenvolveu-se a etapa de representação de conhecimento com vistas à implantação da base de conhecimento do protótipo SE. O desenvolvimento desse processo é detalhado na seção 4.2 a seguir.

4.2 REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

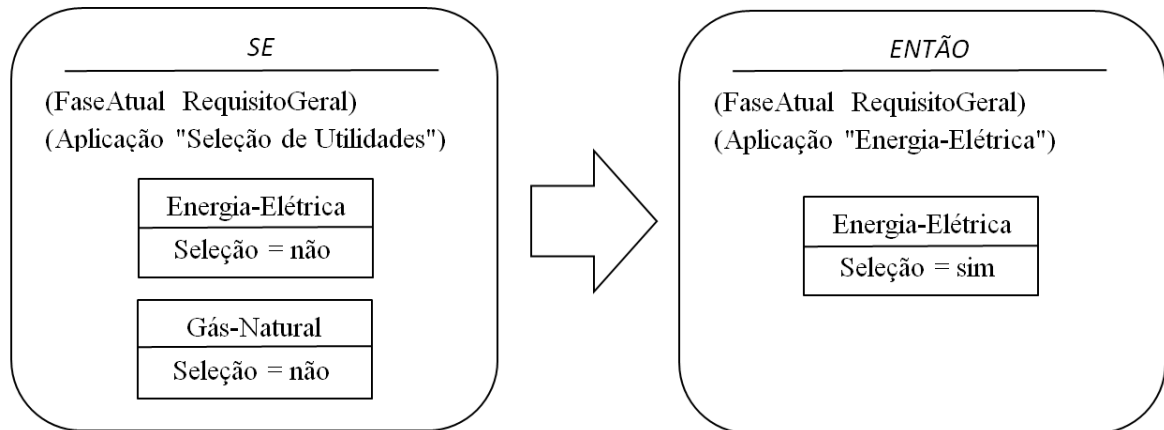
A representação do conhecimento no protótipo SE foi fundamentalmente concebida na forma de regras. Partindo dessa premissa, o CLIPS (CLIPS, 2015) foi escolhido para o este protótipo, uma vez que possui encadeamento direto baseado na arquitetura de casamento de padrões, sendo que as regras podem ter como padrões objetos e podem também manipular objetos. O encadeamento direto, também chamado de encadeamento para frente ou raciocínio antecedente, é uma estratégia aplicada de encadeamento de regras. O CLIPS fornece paradigmas heurísticos e procedurais para representar o conhecimento, motor de inferência capaz de raciocínio não monotônico, bem como programação orientada a objetos (que combina aspectos de abstração de dados e conhecimento procedural). Importante esclarecer que a orientação a objetos neste protótipo SE foi utilizada meramente pela conveniência de se agrupar dados e manipular atributos.

O CLIPS fornece um ambiente de desenvolvimento integrado, que inclui o motor de inferência e outras funcionalidades como editor de base de conhecimento, interface para integração com outras linguagens e mecanismos de depuração e explicação. Esta ferramenta também dispõe de uma interface interna que possibilita a comunicação entre o usuário e o protótipo SE. Dessa forma, o usuário fornece os dados de entrada, os quais são processados pelo motor de inferência do CLIPS, que necessita de uma base de conhecimento para ser executado e atingir uma conclusão. Esta base de conhecimento foi implantada por meio de representações baseadas em regras, que permitem reter o conhecimento adquirido dos especialistas. O núcleo dessa base de conhecimento do protótipo SE é um conjunto pré-determinado de regras e objetos.

A Figura 7 permite observar esquematicamente uma possível representação de uma regra que seleciona a utilidade “Energia-Elétrica”, onde dois dos quatro condicionantes dessa regra são objetos. Cabe ressaltar que a ação da regra é manipular o atributo selecionado pelo

usuário entre os objetos: “Energia-Elétrica” e “Gás-Natural”, mudando seu valor de não para sim por meio de um procedimento específico de seleção de utilidades.

Figura 7 - Esquema de uma regra para seleção das utilidades

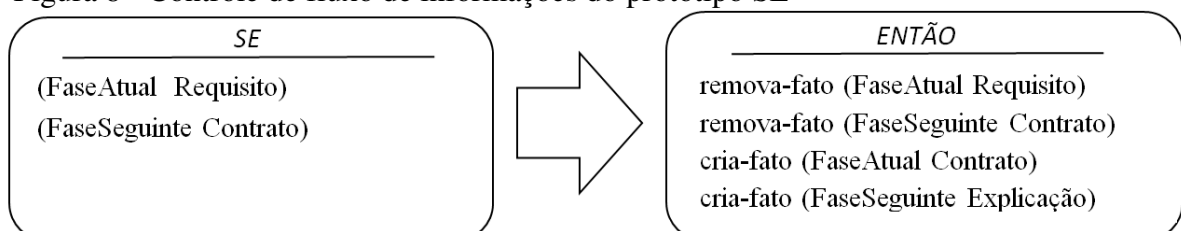


Fonte: Própria

Da mesma forma, várias outras regras são criadas para representar o conhecimento adquirido dos especialistas. Como o ciclo de desenvolvimento do protótipo e incremento de funcionalidades é efetuado de acordo com o modelo de desenvolvimento incremental, a representação de conhecimento atende o mesmo requisito. Assim, várias versões do SE são necessárias para formar a base de conhecimento estabelecida pelos especialistas. Este tipo de estratégia de desenvolvimento possibilita que, em cada etapa do ciclo de desenvolvimento do SE, sejam associados novos blocos de regras. Apesar da natureza essencialmente não estruturada dos sistemas especialistas, o modelo de desenvolvimento incremental pode trazer ao protótipo características estruturais, já que há uma sequência de etapas a ser seguida.

A Figura 8 mostra o controle sobre o fluxo de informações do protótipo SE e a Figura 9 na janela do CLIPS. Neste exemplo, o fato de controle é o primeiro condicionante da regra representada, na qual há definição de mudança de fase “Requisito” por “Contrato”. À regra central cabe identificar o fim de cada etapa, fazendo com que o fato da fase concluída deixe de existir ao mesmo tempo em que cria o fato de controle associado à nova etapa.

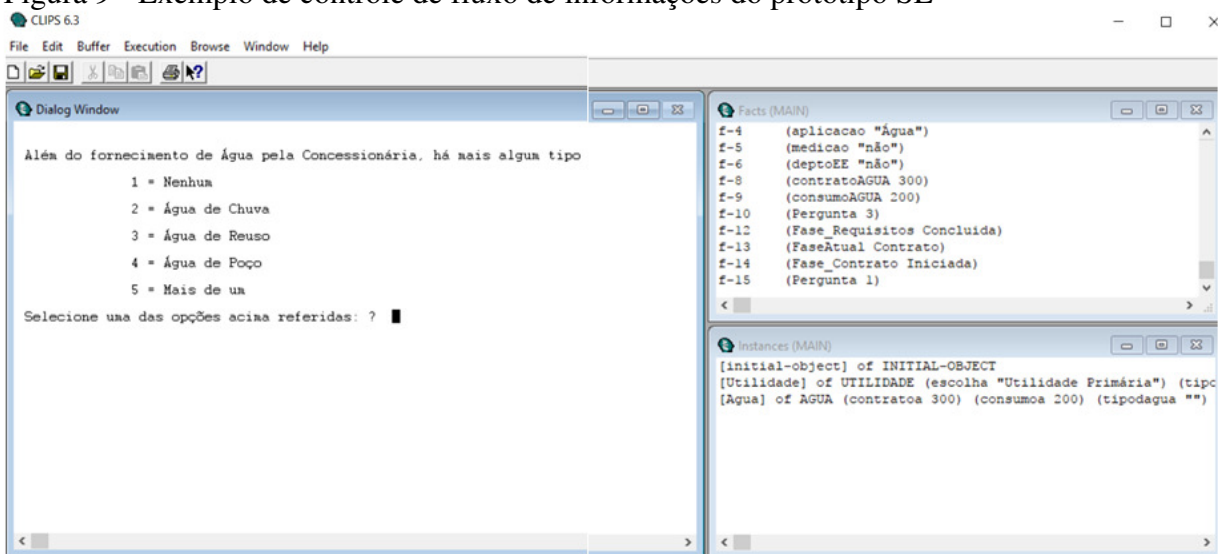
Figura 8 - Controle de fluxo de informações do protótipo SE



Fonte: Própria

O exemplo aplicado do controle de fluxo pode ser observado a partir de alguns fatos de controle listados na parte superior à direita da Figura 9 (janela Facts (MAIN) do CLIPS). Neste caso, o controle de fluxo obriga a conclusão da fase de requisitos, representada pelo fato f-12 (Fase_Requisitos Concluída), e o início da fase de contrato, representada pelos fatos f-13 (FaseAtual Contrato) e f-14 (Fase_Contrato Iniciada). Assim, apenas regras que tenha estes fatos como premissa podem ser ativadas, assegurando que as regras que não os tenham não sejam ativadas.

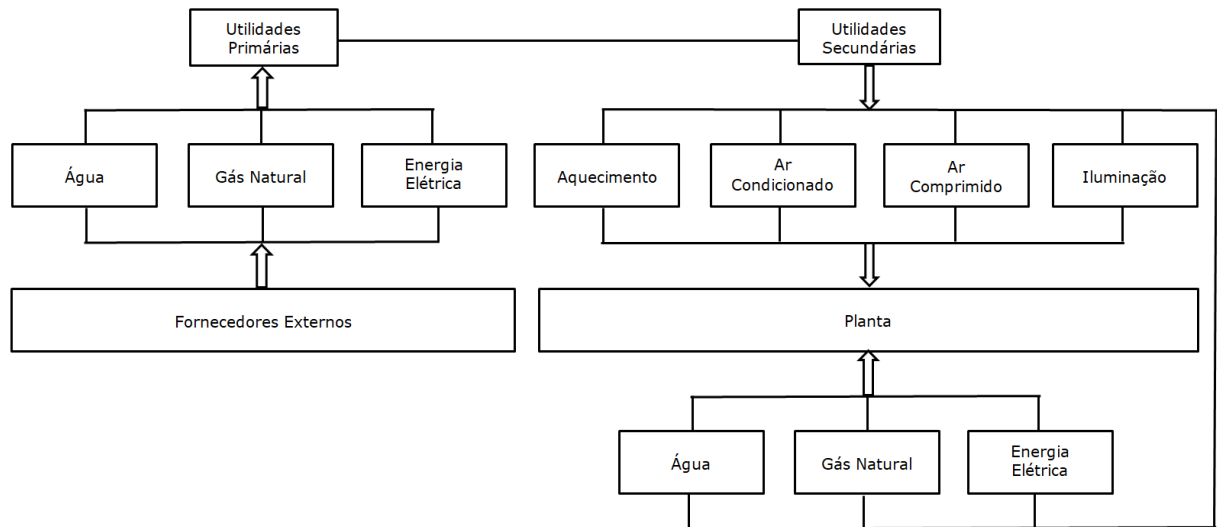
Figura 9 - Exemplo de controle de fluxo de informações do protótipo SE



Fonte: Própria

A Figura 10 permite observar um exemplo de relações entre as utilidades “Primárias” e “Secundárias” em uma planta industrial. A primeira corresponde às “Utilidades Primárias” que a planta pode necessitar para seu funcionamento, tais como “água”, “gás natural” e “energia elétrica”. Estas utilidades são ditas primárias, pois dependem do fornecimento externo, ou seja, de empresas intituladas como concessionárias. A outra se refere às “Utilidades Secundárias”, que são geradas internamente nas plantas a partir das “Utilidades Primárias”, ou seja, que a planta pode fornecer: “aquecimento de água”, “ar condicionado”, “ar comprimido” e “iluminação”, além das próprias utilidades primárias “água”, “gás natural” e “energia elétrica”. Neste tipo de modelo podem ser incluídas novas utilidades para futuras versões do SE, bastando apenas acrescentar novos arquivos a “Utilidade Secundária”, como por exemplo, “vapor”.

Figura 10 – Relações entre as utilidades “Primárias” e “Secundárias”



Fonte: Própria

As Figuras 11 e 12 permitem observar na janela do CLIPS, respectivamente, o formato dos arquivos de saída do MGE (arquivo de Saída 1 e arquivo de Saída 2) do protótipo SE. O arquivo de saída 1 (Figura 11) registra detalhes do processo de comunicação entre o usuário e o protótipo SE, em relação a uma determinada consulta ao sistema. Ele também registra as explicações e recomendações sobre eficiência energética inferida pelo protótipo SE desse processo.

Figura 11 - Relatório MGE – Saída 1

```

saida_1 - Notepad
File Edit Format View Help
*****
*** Sistema SE - Modulo de Geração de Explicações ***
*** APLICAÇÃO DE EFICIENCIA ENERGETICA INDUSTRIAL ***
***
*** Informacoes da Planta ***

A planta utiliza a(s) utilidade(s) primaria(s): Energia Eletrica

O consumo da energia elétrica na indústria representa um dos custos mais elevados para o processo produtivo, d

Sistema de Medicao de utilidades: sim

A empresa dispoe de sistema de medicao para utilidades - O monitoramento e verificação das utilidades na indús

Departamento Especializado em Eficiencia Energetica: nao

A empresa nao dispoe de um Departamento Especializado em Eficiencia Energetica - O gerenciamento da eficiência

Recomendacao por Penalidades relativas a Fator Potencia

```

Fonte: Própria

O arquivo de saída 2 (Figuras 12) registra a sequência de fatos inferidos pelo protótipo SE durante a execução do mesmo exemplo.

Figura 12 - Relatório MGE – Saída 2

```

saida_2 - Notepad
File Edit Format View Help
*****
***      Sistema SE - Modulo de Geraçao de Explicações      ***
***      APLICAÇÃO DE EFICIENCIA ENERGETICA INDUSTRIAL      ***
***      *****      ***
|
(initial-fact)
(Fase_Requisitos Iniciada)
(aplicacao "energia eletrica")
(medicao "sim")
(deptoEE "nao")
(Penalidades "nao")
(Fator_Potencia "nao")
(Ultrapassagem "nao")
(Pergunta 3)
(demandae 800)
(consumoe 15000)
(tensaoe 3)
(Fase_Requisitos Concluida)
(Fase_Explicacao Iniciada)
(Explicacao_1)
(Explicacao_20)
(Explicacao_21)
(Explicacao_4)
(Explicacao_6)
(Explicacao_7)
(Explicacao_2)
(Explicacao_3)
(Fase_Explicacao Concluida)

```

Fonte: Própria

É muito útil para o EC durante a etapa de verificação. Permite identificar erros de sintaxe do protótipo, bem como entender casos inesperados de interrupção no processo de inferência durante o desenvolvimento. É importante esclarecer que as explicações geradas pelo protótipo SE são dinâmicas e variam de acordo com as respostas que o usuário apresenta e a base de conhecimento do sistema.

A base de conhecimento implantada por meio de representações baseadas em regras, além de reter o conhecimento adquirido dos especialistas, também permite rastrear o caminho do raciocínio, gerando explicações. De forma a criar tal rastreabilidade, o MGE implantado no protótipo SE recua cada categoria de variável de entrada separadamente para que possa evidenciar uma solução, ou seja, faz o caminho contrário a partir da solução encontrada, justificando a todas as perguntas feitas pelo protótipo SE ao usuário.

4.3 IMPLANTAÇÃO COMPUTACIONAL

4.3.1 Escolha do *Shell*

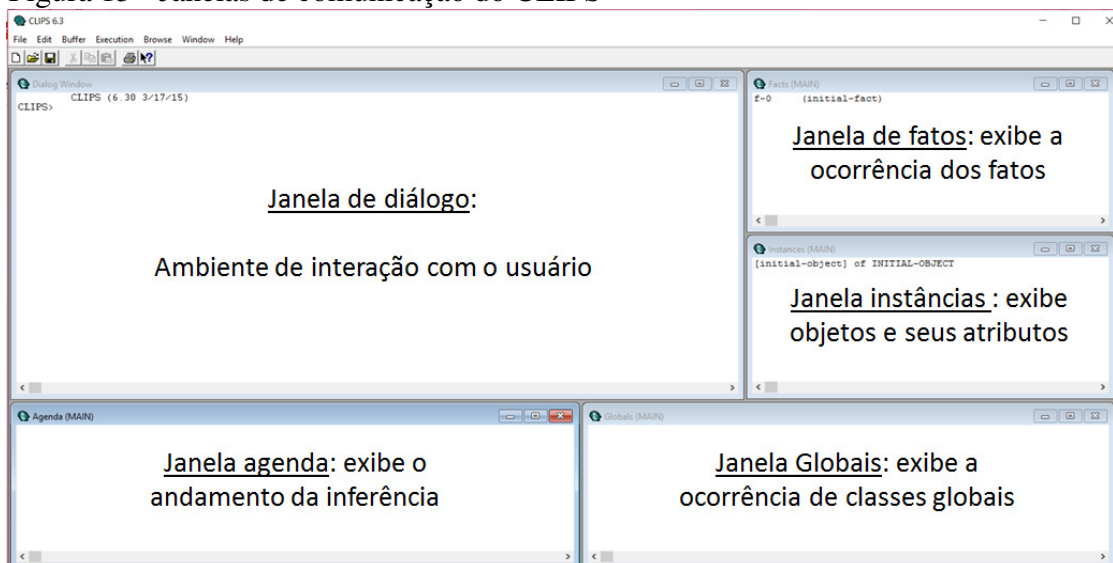
Como antecipado na seção 4.2, o protótipo do SE foi desenvolvido em um *shell* intitulado CLIPS (CLIPS, 2015). É uma ferramenta que possui um ambiente completo para o desenvolvimento de sistemas especialistas, incluindo um editor integrado. O CLIPS foi selecionado para este projeto uma vez que é um *shell* de encadeamento direto baseado na arquitetura de casamento de padrões, no qual o conhecimento pode ser representado na forma

de regras e orientação a objetos. Também foram considerados como critérios de seleção à sua portabilidade, extensibilidade e capacidades, além do custo zero para aquisição.

O CLIPS foi originalmente desenvolvido pela Divisão de Engenharia de Software da Agência Espacial dos EUA e atualmente é um software de domínio público, mantido independentemente. Tem sido usado por inúmeros usuários em toda a comunidade pública e privada, incluindo: todos os sites da NASA (agência do Governo Federal dos Estados Unidos responsável pela pesquisa e desenvolvimento de tecnologias e programas de exploração espacial), ramos das forças armadas, numerosas agências federais, empreiteiros do governo, universidades e muitas empresas privadas. Além disso, o desenvolvimento do CLIPS ajudou a melhorar a capacidade de fornecer tecnologia de sistema especializado em todo o setor público e privado para uma ampla gama de aplicações e ambientes de computação diversos (CLIPS, 2015).

A Figura 13 permite observar um grupo de cinco janelas de comunicação que a ferramenta CLIPS disponibiliza: a comunicação entre o usuário e o protótipo SE é feita por meio da janela de diálogo (canto superior esquerdo); a janela da “agenda” (canto inferior esquerdo) exibe o andamento da inferência por meio de uma lista priorizada de regras criadas pelo motor de inferência, cujos padrões são satisfeitos por fatos ou objetos na memória de trabalho. A forma como a agenda evolui é a forma como o raciocínio é emulado. Quando não há mais regras listadas, não há mais perguntas a serem feitas, então a inferência para e os fatos remanescentes compõe a conclusão do protótipo.

Figura 13 - Janelas de comunicação do CLIPS



Fonte: adaptado de CLIPS (2015)

A ocorrência dos fatos é exibida pela janela fatos (canto superior direito); a janela instâncias (centro a direita) exhibe a ocorrência de objetos e seus atributos; e a janela global (parte inferior direito) registra as variáveis globais, ou seja, aquelas cuja validade transcende o contexto das regras. O CLIPS possui uma linguagem associada à orientação a objetos chamada COOL (*CLIPS Object-Oriented Language*) para elementos de abstração de dados.

4.3.2 Ciclo de desenvolvimento versus Ciclo de vida

O ciclo de desenvolvimento de um SE é feito de forma incremental, no qual cada novo grupo de regras amplia gradativamente a funcionalidade do sistema (Figura 14). Assim sendo, o incremento de funcionalidades é efetuado por meio de versões, sendo que em cada uma ocorre o ciclo de vida completo (adaptação do modelo espiral), para que posteriormente de um novo ciclo seja implantado e assim por diante.

Figura 14 - Ciclo de vida do protótipo SE



Fonte: adaptado de Matelli (2015)

O protótipo inicial é a primeira versão do SE que passou por todas as fases de desenvolvimento: aquisição, representação, implantação, verificação e validação. Dessa forma, várias versões do SE são necessárias para formar a base de conhecimento estabelecida pelos especialistas. O SE na forma de protótipo é desenvolvido ao longo de ciclos de vida, ou seja, não é apenas uma prova de conceito para determinar requisitos do sistema, mas o próprio sistema evoluindo no tempo.

Este tipo de estratégia de desenvolvimento possibilita evolução constante, em que cada etapa do ciclo de desenvolvimento do SE, sejam associados novos blocos de regras. A principal vantagem desse tipo de modelo de desenvolvimento é que o incremento de

funcionalidade é mais fácil de testar, verificar e validar, gerando custos de correção menores. Apesar da natureza essencialmente não estruturada dos sistemas especialistas, o modelo de desenvolvimento incremental traz ao protótipo SE características estruturais. Que exige algum controle sobre o fluxo de informações do protótipo, o que é garantido pela existência de uma regra central de controle que manipula fatos de controle (ver seção 4.2).

Na Figura 15 pode ser observada a tabela de ciclos de desenvolvimento do protótipo SE: as quatro versões (inicial, 1, 2 e 3), a evolução das principais funcionalidades incrementadas e o cronograma para torná-las disponíveis para verificação e validação. Importante destacar que no processo de desenvolvimento, cada nova versão do SE foi verificada pelo EC antes de ser submetida aos especialistas para validação. Todas as versões previstas do protótipo SE passaram por todas as fases de desenvolvimento: aquisição, representação, implantação e verificação e validação.

Figura 15 - Tabela de ciclos de desenvolvimento do protótipo SE

Versão	Funcionalidades incrementadas do protótipo SE	Verificação	Validação
Inicial	Funções básicas (classe, requisitos, explicação e saída), MGE, integração geral	Mar/2017	Mai/2017
1	Detalhamento utilidades primárias, saídas 1 e 2, explicações relativas	Jun/2017	Jul/2017
2	Detalhamento utilidades secundárias, explicações relativas	Ago/2017	Set/2017
3	Conceitos de manutenção e conservação para utilidades, explicações relativas	Set/2017	Nov/2017

Fonte: Própria

Uma lista de validação foi elaborada pelo EC e posteriormente submetida aos especialistas, com o objetivo de estabelecer uma metodologia de acompanhamento e comprovação para mudança de versão. É um documento inicialmente utilizado para a verificação de todas as possíveis saídas para todas as possíveis entradas do protótipo SE, com o objetivo de identificar eventuais erros sintaxe. A lista de validação faz parte da documentação das fases do ciclo de desenvolvimento do sistema e é encontrada no APÊNDICE A, B, C e D deste trabalho. As etapas de verificação e validação são detalhadas adiante, na seção 4.4.

4.3.3 Características do Protótipo SE

O protótipo SE, aqui desenvolvido, apresenta algumas características específicas:

- O domínio é limitado a efetuar análise preliminar de eficiência energética para plantas industriais e gerar recomendações. Além disso, as utilidades são limitadas às utilidades

primárias: água, energia elétrica e gás natural, e utilidades secundárias: aquecimento de água, ar comprimido, ar condicionado e iluminação, o que reduz a complexidade e esforço de implantação;

- É utilizado um *shell* (CLIPS, 2015) que permite concentrar esforços no domínio e no desenvolvimento da base de conhecimento, ao invés de se ocupar da programação altamente técnica e laboriosa dos aspectos cognitivos de sistemas especialistas;
- Para uma mesma consulta, o protótipo é capaz de explicar simultaneamente suas decisões em duas visões diferentes. A primeira é voltada para o usuário, em que o MGE registra detalhes do processo de comunicação entre o usuário e o protótipo SE. Também são registradas as explicações e recomendações sobre eficiência energética inferida pelo protótipo SE, resultado desse processo de consulta. A segunda visão é voltada para o EC, que registra a sequência de fatos inferidos pelo protótipo SE e possibilita ser utilizado para verificação do sistema. Esta segunda facilidade permite detectar erros de sintaxe do sistema, bem como entender casos inesperados de interrupção no processo de inferência durante o desenvolvimento do protótipo SE. É importante esclarecer que as explicações geradas pelo protótipo SE são dinâmicas e variam de acordo com as respostas que o usuário apresenta;
- Baixo número de perguntas do protótipo SE ao usuário do sistema para obtenção do diagnóstico preliminar de eficiência energética em plantas industriais.

O nível de investimento requerido, medidas de eficiência energética, possibilidade de economia em energia e o número de perguntas do protótipo ao usuário para obtenção do diagnóstico preliminar de eficiência energética em plantas industriais podem ser observados nas Figuras 16 e 17. Estas são importantes características estratégicas de desenvolvimento do protótipo SE.

Na Figura 16 pode ser observado a necessidade de investimento requerido e o potencial de economia de energia previsto pelos especialistas com a implantação de medidas de eficiência energética. De acordo com os especialistas, algumas medidas de eficiência energética podem ser aplicadas em uma planta industrial sem a necessidade de investimento (nulo) e trazer um potencial de economia em energia de até cinco por cento.

Figura 16 - Investimento e o potencial de economia de energia previsto

Investimento	Medidas de eficiência energética	%
Nulo	Análise do perfil de consumo Conscientização e criação da CICEA Renegociação com Concessionárias Redução de consumo não essencial	5
Baixo	Eliminação de desperdícios Gerenciamento de energia Procedimentos operacionais Monitoramento e controle	6 - 15
Alto	Automação Desenvolvimento de Projetos Fontes Alternativas de Energia Modernização (Equipamentos)	> 15

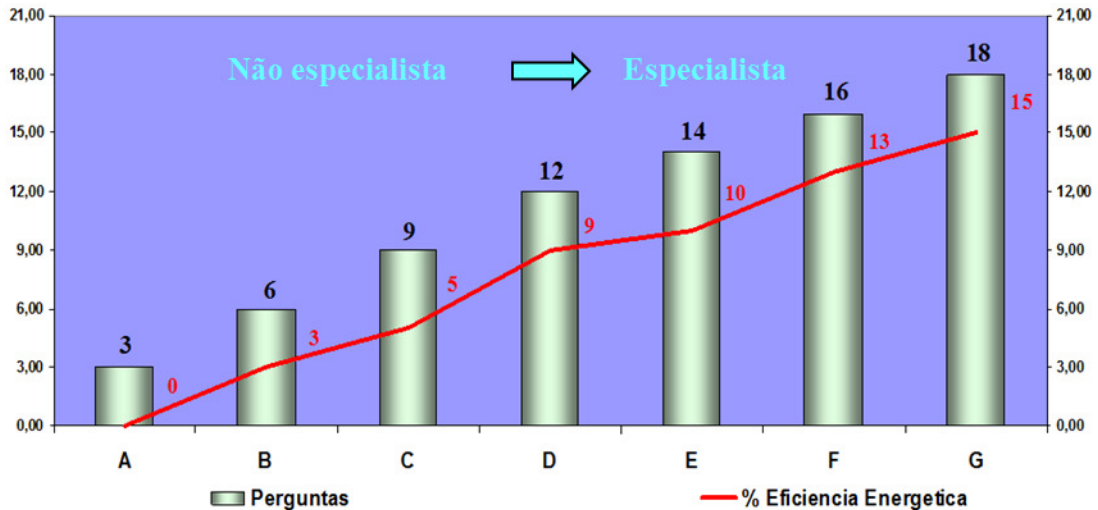
Fonte: Própria

De acordo com os especialistas, algumas medidas de eficiência energética podem ser aplicadas em uma planta industrial sem a necessidade de investimento (nulo) e trazer um potencial de economia em energia de até cinco por cento. A formação da comissão interna de conservação de energia e água (CICEA) e a conscientização dos colaboradores da planta são alguns dos exemplos citados pelos especialistas. Isto porque a conscientização dos colaboradores da planta e a disseminação de informações relativas à implantação de medidas de eficiência energética trazem contribuições no processo de comunicação desta atividade, possibilitando a conscientização destes colaboradores e divulgação de resultados produzidos. Segundo os especialistas, tais atividades representam parte da base de sustentação do processo de implantação de eficiência energética, que aliadas à análise do perfil de consumo da planta, podem repercutir na redução de consumo não essencial e propiciar renegociação dos insumos e utilidades da planta.

O potencial de economia de energia tende a aumentar mediante ao aumento do nível de investimento na planta. Um bom exemplo dessa possibilidade é a eliminação ou redução de desperdícios por meio de investimento na contratação periódica de empresa especializada em caça vazamentos da utilidade “ar comprimido”. Tal possibilidade poderia trazer um potencial de economia em energia entre seis e quinze por cento. Uma terceira possibilidade seria a obtenção de um potencial de economia em energia superior a quinze por cento, contudo o nível de investimento tende a ser considerável, fato que necessita de avaliação específica e detalhada. Esta possibilidade não está contemplada neste projeto.

A outra característica estratégia pode ser observada na Figura 17 e esta relacionada ao número de perguntas efetuadas pelo protótipo SE e o potencial de economia de energia previsto pelos especialistas com a implantação de medidas de eficiência energética.

Figura 17 – Perguntas do SE x percentual de eficiência energética



Fonte: Própria

A estratégia para limitação do número de perguntas do protótipo SE ao usuário (entre seis e dezoito perguntas) para o diagnóstico preliminar de eficiência energética em plantas industriais é um importante requisito do projeto. De acordo com o consenso do grupo de desenvolvimento (EC e os especialistas), um número grande de perguntas poderia desmotivar o uso da ferramenta, além de requerer um aprofundamento técnico que somente um especialista poderia responder, dependendo da situação em análise.

4.3.4 Escopo do projeto

É importante analisar a viabilidade de se utilizar um SE para resolver um dado problema, porque esses sistemas variam muito com relação aos níveis de complexidade – a quantidade de esforço requerida para implantar um SE comercial pode chegar facilmente a dezenas de milhares de horas de trabalho (MATELLI, 2008).

Baseado nesse argumento e visando reduzir tempo e esforço de implantação, o escopo do protótipo SE é limitado a efetuar uma análise preliminar de eficiência energética para plantas industriais e gerar recomendações. Além disso, as utilidades são limitadas a três utilidades primárias: energia elétrica, gás natural e água; e quatro utilidades secundárias: aquecimento de água, ar comprimido, ar condicionado e iluminação.

A limitação no escopo permite que o protótipo represente mais adequadamente o conhecimento pertinente ao domínio do conhecimento. Para tanto, o nível de detalhamento que o protótipo deve representar – sua granularidade – deve ser especificada. No presente trabalho, as características principais e coletivas das utilidades industriais, desconsiderando seus detalhes individuais, representam essa granularidade. Por exemplo, energia elétrica é recebida de uma fonte única, fato que independe da concessionária e do tipo de geração. Para os propósitos deste trabalho, restrições individuais de plantas também não são consideradas, e seus detalhes não são relevantes. Por outro lado, informações gerais sobre o uso correto, observação de seus limites e suas especificações técnicas devem ser fornecidas pelo protótipo.

4.3.5 Funções do protótipo SE

As funções do protótipo SE se referem a suas capacidades. Conforme já explanado anteriormente, o desenvolvimento do protótipo se dá em ciclos de vida, ou versões, com a implementação de novas funcionalidades a cada nova versão. Todas as versões previstas para o protótipo SE foram desenvolvidas e, dessa forma, pode-se dizer que está na versão 3, cujas principais funções são:

- Selecionar o tipo de utilidade para consulta: água, aquecimento de água, ar comprimido, ar condicionado, energia elétrica, gás natural ou iluminação;
- Definir o tipo de utilidade pelo sistema: primárias ou secundárias;
- Utilidades primárias: água, energia elétrica e gás natural;
- Utilidades secundárias: aquecimento de água, ar comprimido, ar condicionado e iluminação;
- Apresentar detalhamento específico para todas as utilidades, incluindo parâmetros e requisitos de melhorias;
- Facilitar a rastreabilidade e documentação do programa;
- Facilitar a expansão para outras utilidades;
- Levantar requisitos das utilidades da planta;
- Propor recomendações para melhorias da eficiência energética e redução de custos com diferentes visões: contrato, projeto e manutenção;
- Propor projetos de melhoria de eficiência energética;
- Apresentar alternativas e descrições aprofundadas para cada uma das soluções propostas;
- Explicar as soluções propostas;

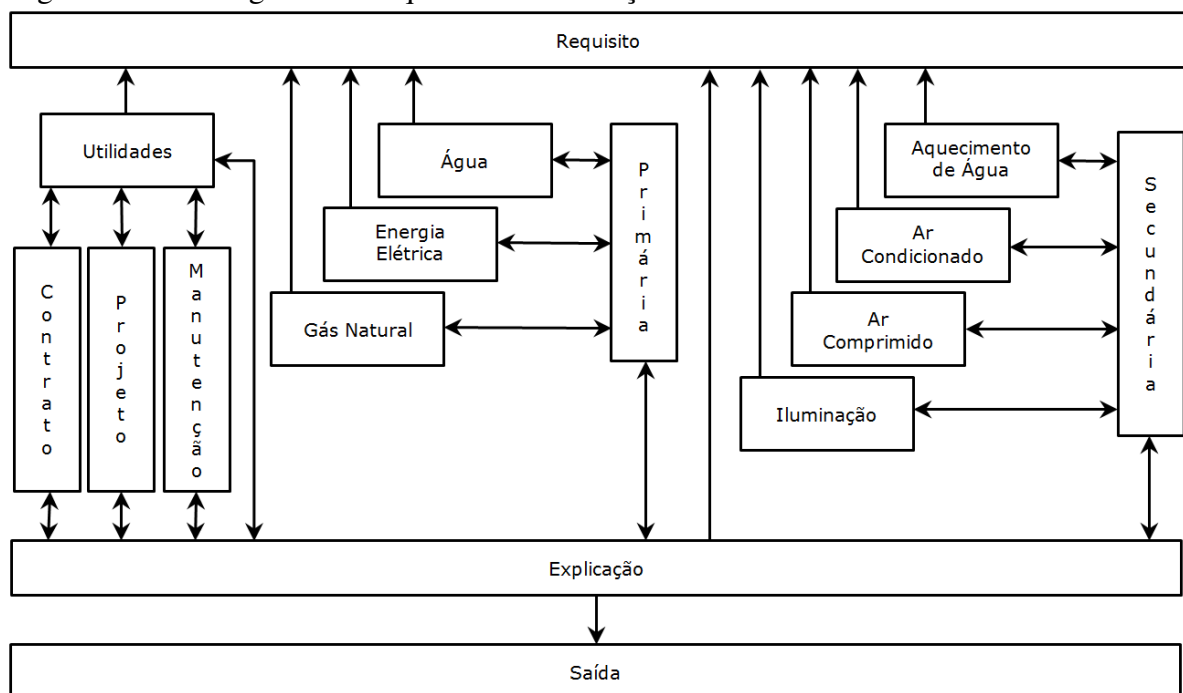
- Gerar simultaneamente dois arquivos independentes (extensão.txt) para cada solução, contendo detalhes de consulta pelo usuário, explicações e recomendações sobre eficiência energética disponível, e outro com o processo de encadeamento ocorrido.

4.3.6 Funcionamento do protótipo SE

O protótipo SE foi concebido na forma de arquivos inter-relacionados por meio de objetos. Na Figura 18 podem ser observados alguns desses arquivos e suas relações. Os arquivos “Água, Energia Elétrica e Gás Natural”, contém de forma individual, as regras específicas para cada uma das utilidades que representam e possuem relações com o arquivo “Requisito”. Estes três arquivos também estão relacionados com o arquivo “Primária”, pois são utilidades fornecidas por empresas concessionárias, externas a planta.

Da mesma forma, os arquivos “Aquecimento de Água, Ar Comprimido, Ar Condicionado e Iluminação”, contém de forma individual, as regras específicas para cada uma das utilidades que representam e possuem relações com o arquivo “Requisito”. Estes quatro arquivos também estão relacionados ao arquivo “Secundária”, pois são utilidades geradas na própria planta, ou seja, de forma interna. O arquivo “Utilidades” por sua vez, contém as regras genéricas do conjunto de utilidades abordadas neste trabalho.

Figura 18 – Visão geral dos arquivos e suas relações

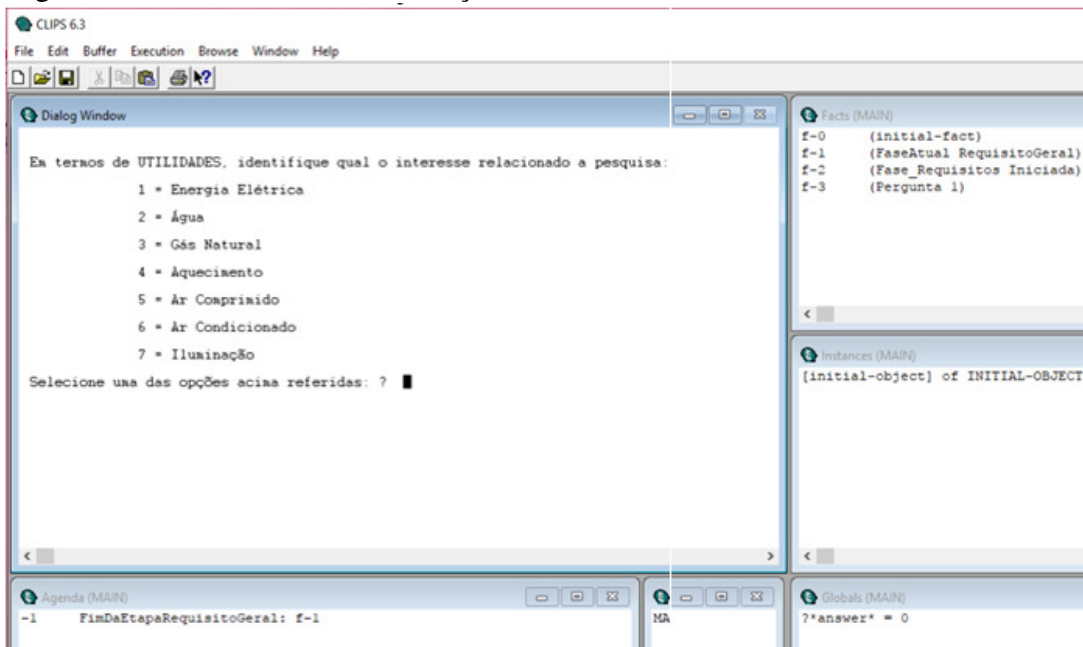


Fonte: Própria

O arquivo “Contrato” contém as regras específicas de contrato e possui relações com os arquivos “Utilidades” e “Explicação”. Tem o objetivo de identificar as condições contratuais e verificar oportunidades de redução de custos junto às concessionárias para as utilidades primárias, bem como, levantar requisitos e melhorias para as utilidades secundárias. Os arquivos “Projeto” e “Manutenção” tratam de melhorias de procedimentos de eficiência energética e gestão para seus respectivos direcionamentos e devem ser direcionados pelo usuário durante o procedimento de pesquisa da utilidade. Os arquivos “Explicação” e “Saída” fazem parte do MGE, e fornecem explicações e recomendações sobre eficiência energética por meio da geração de dois arquivos em formato TXT (Saída 1 e Saída 2) para cada solução proposta.

O arquivo “Requisito” contém as regras para levantar os requisitos das utilidades. Sua rotina é iniciada a partir da seleção da utilidade pelo usuário, a qual se pretende investigar, conforme é mostrado na janela de dialogo do CLIPS, canto superior esquerdo da Figura 19. Sete utilidades estão disponíveis nesta janela para seleção do usuário. Na janela de fatos, canto superior direito, pode-se observar que a fase atual do sistema é requisito geral, f-1 (FaseAtual RequisitoGeral).

Figura 19 - Janelas do CLIPS: Seleção de Utilidades

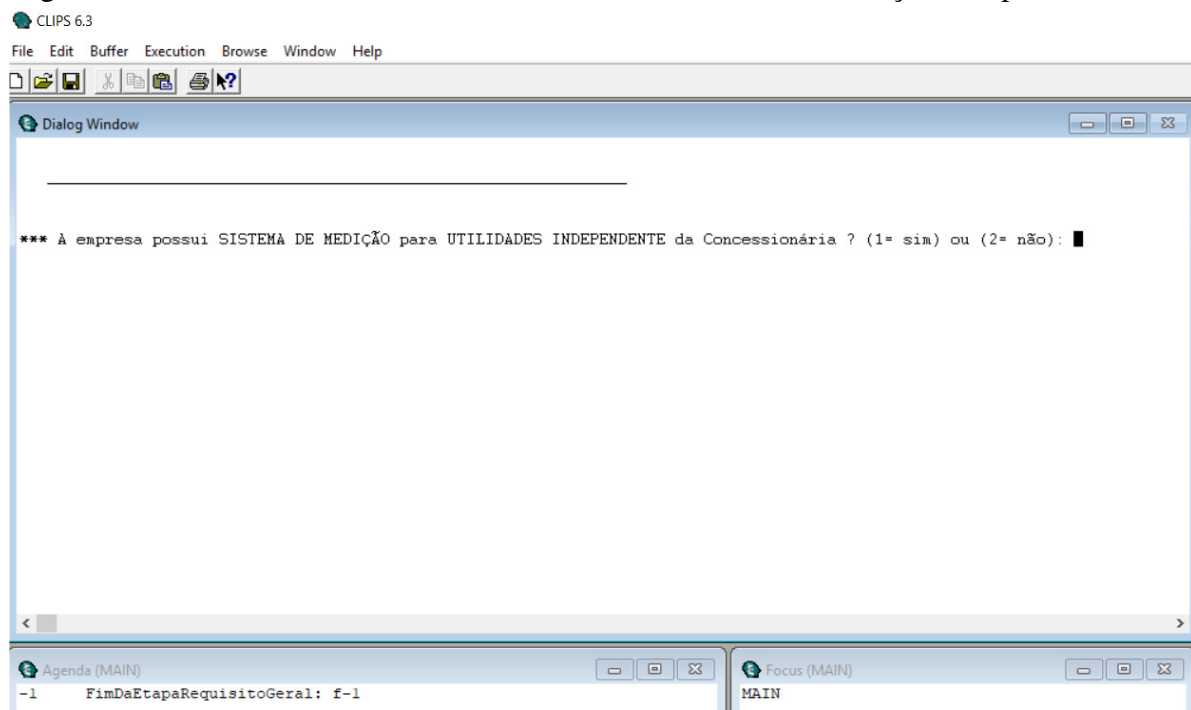


Fonte: Própria

Uma vez selecionada a utilidade pelo usuário, o próximo grupo de questionamento tem o objetivo de levantar a forma que a empresa trata o assunto da eficiência energética. Duas perguntas são feitas pelo sistema para tratar do assunto “eficiência energética”. A primeira

está relacionada à existência ou não de um sistema de medição independente ao efetuado pelas concessionárias (Figura 20). Tal existência permite ao usuário acompanhar a evolução do consumo da referida utilidade, bem como verificar de forma paralela se há discrepância com o consumo informado pela concessionária. A segunda pergunta está relacionada à existência ou não de um departamento ou setor da empresa com foco em oportunidades de eficiência energética. Este é um importante ponto de acompanhamento de consumo e investigação de novas possibilidades de economia para a planta.

Figura 20 - Janelas do CLIPS: Levantamento sobre Sistema de Medição Independente



Fonte: Própria

As duas perguntas supracitadas têm um caráter genérico, cabendo ao próximo grupo de perguntas focar nas informações sobre a utilidade selecionada. A título de ilustração foi selecionada a utilidade “Água”.

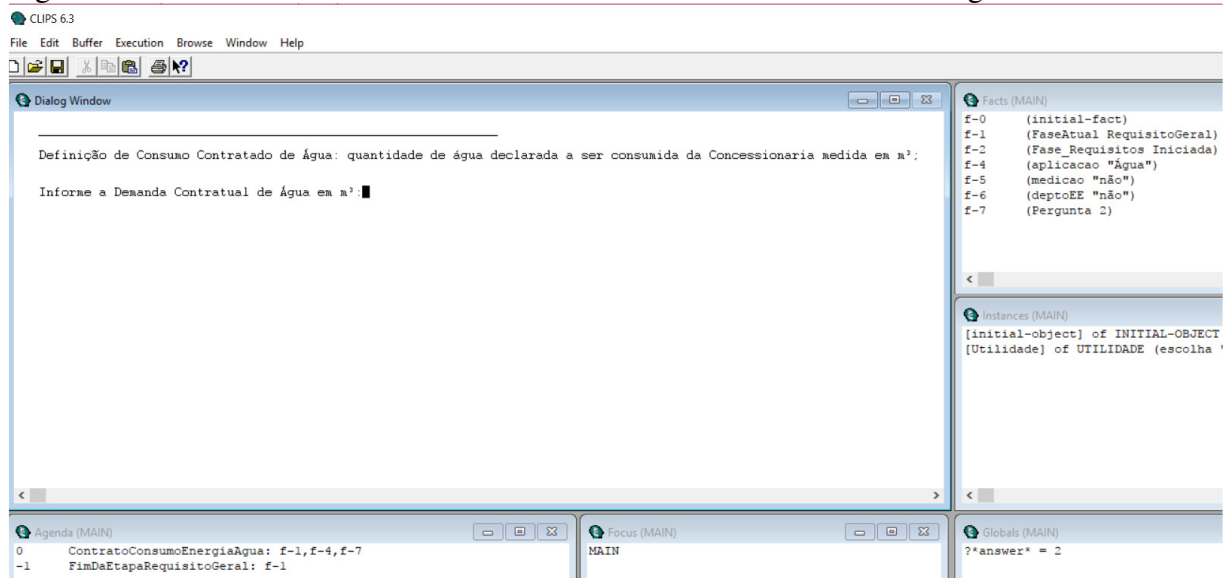
Em seguida o protótipo SE então efetua duas perguntas relacionadas à demanda e o consumo de água. A primeira pergunta sobre a demanda contratada de água junto à concessionária em m^3 e a segunda sobre a quantidade média mensal de água consumida pela planta, também em m^3 .

Na Figura 21 pode-se observar na janela de diálogo do CLIPS (*Dialog Window*, canto superior esquerdo) a primeira pergunta. Nesta figura, pode-se observar na janela de fatos *Facts* (MAIN), no canto superior direito, a utilidade “Água” selecionada, f-4 (Aplicação

“Água”), bem como as duas negativas relacionadas ao sistema independente de medição, f-5 (medição “não”) e departamento interno a empresa com foco nas oportunidades de eficiência energética, f-6 (deptoEE “não”).

Outro ponto interessante que pode ser observado nessa Figura 21 diz respeito à priorização de execução de regras, registrado na agenda do CLIPS - Agenda (MAIN), canto inferior esquerdo. As regras f-1, f-4 e f-7 (ContratoConsumoEnergia) apresentam prioridade “0”, ou seja, maior do que a regra f-1 (FimDaEtapaRequisitoGeral), que apresenta prioridade “-1”. Isso significa que o primeiro grupo de regras tem prioridade em relação ao segundo grupo e serão executadas prioritariamente pelo motor de inferência.

Figura 21 - Janelas do CLIPS: Levantamento de Demanda Contratual de Água



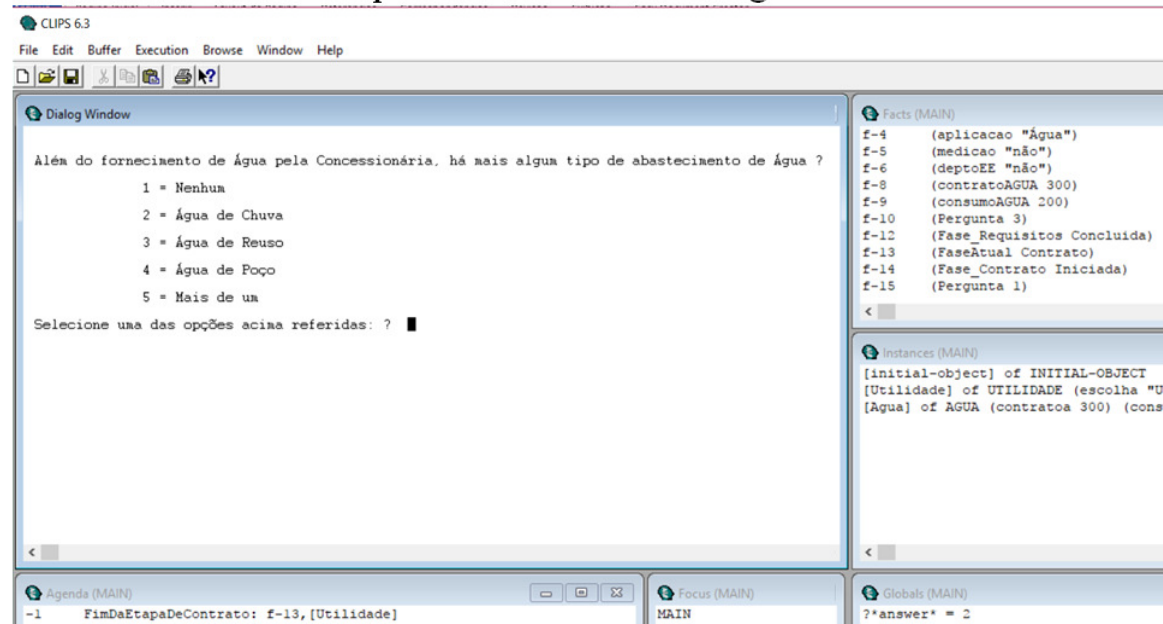
Fonte: Própria

A próxima pergunta do sistema se refere à possibilidade de aproveitamento de água de outras fontes de fornecimento, além da concessionária. Na Figura 22 podem ser observados na janela *Dialog Window* do CLIPS, algumas dessas possibilidades de abastecimento de água: chuva, reuso, poço ou concomitante.

Nessa mesma figura também podem ser observados na janela *Facts (MAIN)*, a demanda f-8 (contratoAGUA 300) e o consumo de água f-9 (consumoAGUA 200). Da mesma forma, também podem ser observados a fase de requisitos finalizada, f-12 (Fase-Requisitos Concluída), o seleção da fase de contrato, f-13 (FaseAtual Contrato), bem como a fase de contrato iniciada, f-14 (Fase_Contrato Iniciada). Além disso, pode-se ver a criação do objeto “Água” e seus atributos, conforme registrado na janela *Instances (MAIN)* do CLIPS,

parte central à direita. A título de ilustração, foi selecionada “Água de Chuva” como abastecimento de água adicional ao da concessionária.

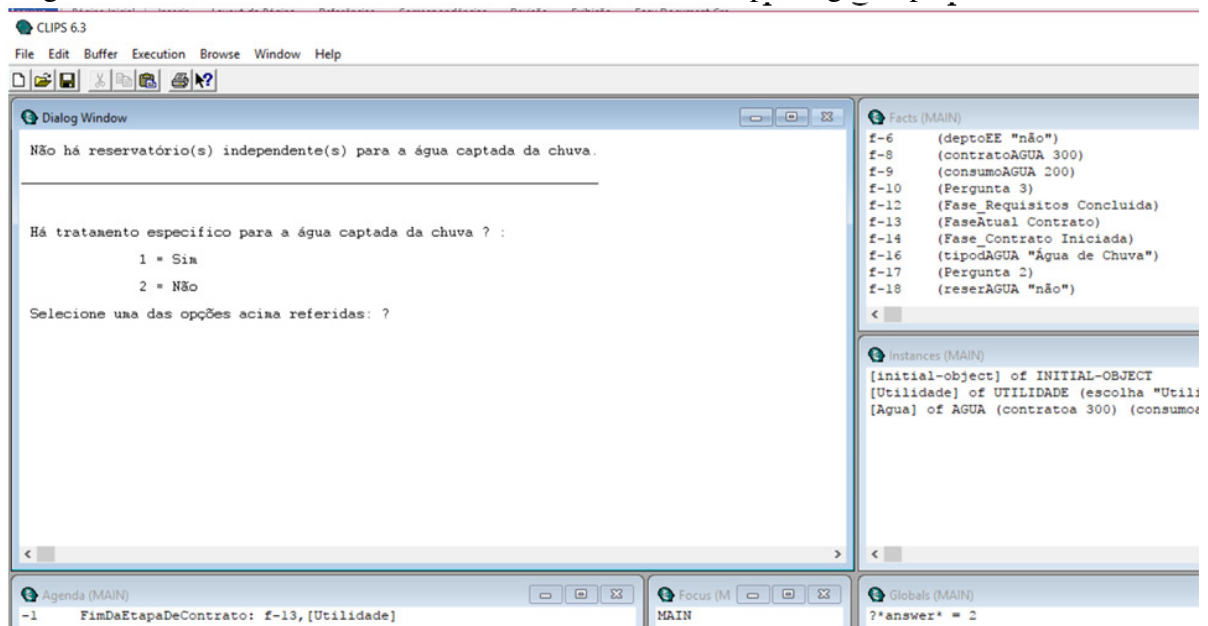
Figura 22- Janelas do CLIPS: Tipos de abastecimento de água



Fonte: Própria

O protótipo SE então efetua duas perguntas relacionadas à existência de reservatórios independentes para a água captada da chuva e de há algum tipo de tratamento específico para esta água captada, como pode ser observado na Figura 23.

Figura 23 - Janelas do CLIPS: Reservatório e tratamento para água captada

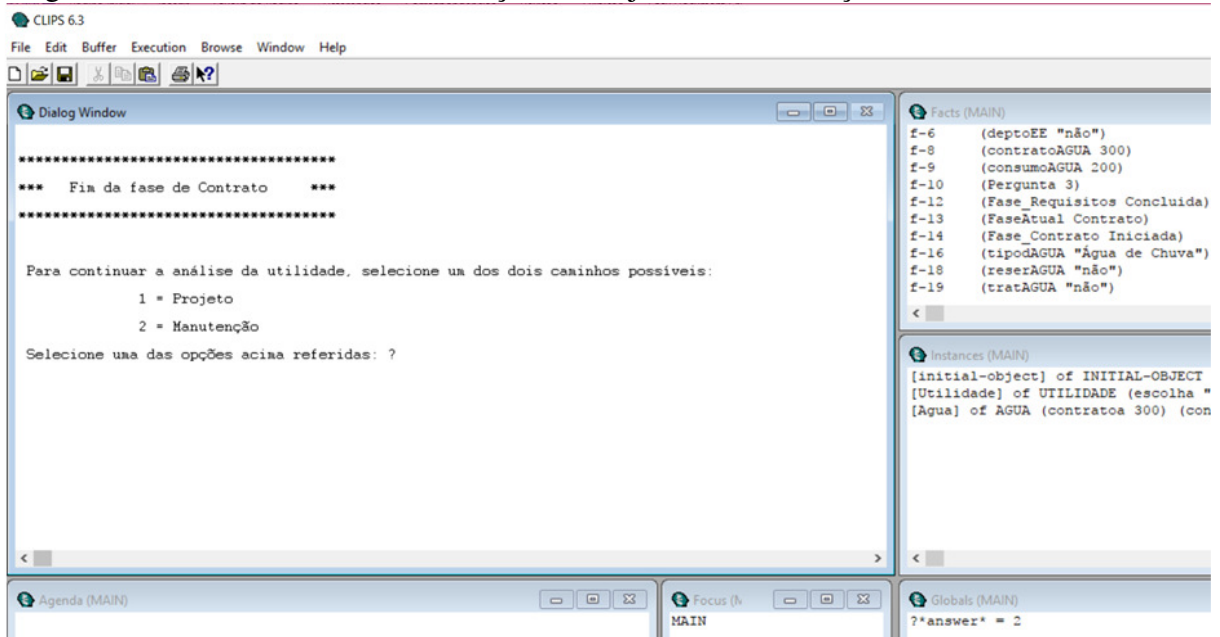


Fonte: Própria

Nesta Figura 23 também podem ser observados na janela *Facts (MAIN)* do CLIPS, a captação de água de chuva selecionada pelo usuário, f-16 (tipodAGUA “Água de chuva”) e a inexistência de reservatório independente para tal água, f-18 (reserAGUA “não”).

A próxima pergunta traz dois caminhos distintos: projeto ou manutenção, conforme pode ser observado na Figura 24. Neste ponto em especial do sistema, qualquer que seja a definição do caminho, a fase de contratos será finalizada. A definição de um dos dois caminhos traz consequências diferentes ao sistema.

Figura 24 - Janelas do CLIPS: Definição de Projeto ou Manutenção



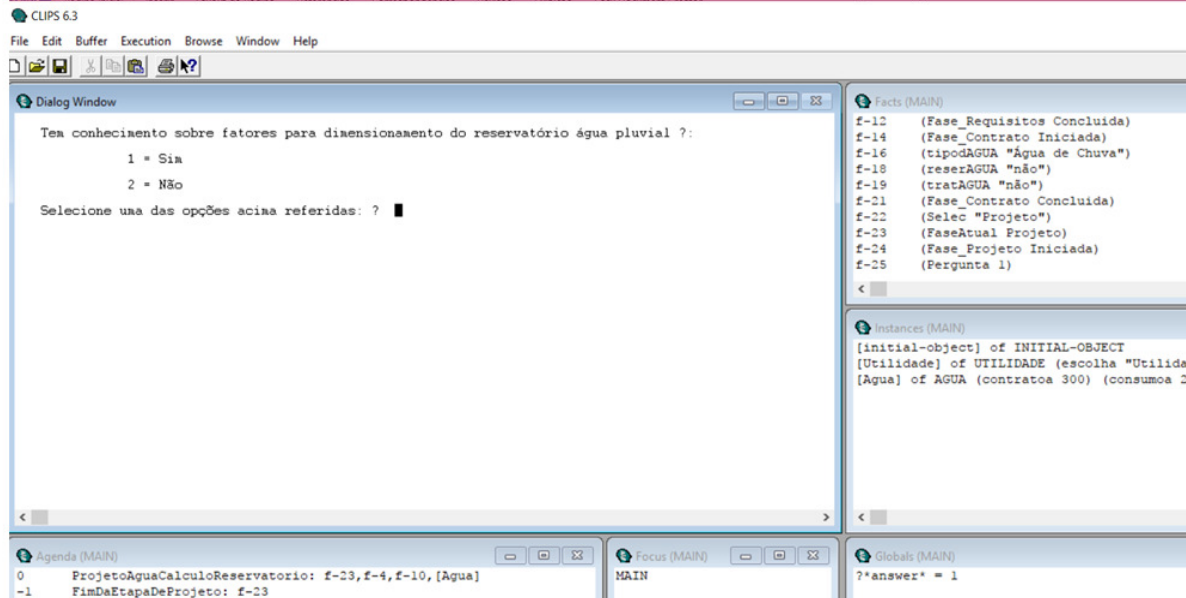
Fonte: Própria

A definição de “Projeto” traz as características de melhorias de projeto e recomendações para a utilidade selecionada. A definição de “Manutenção”, por sua vez, traz as características de melhorias de manutenção e recomendações relativas para a utilidade. A título de ilustração, foi selecionada a opção “Projeto”. O protótipo SE então efetua duas perguntas: a primeira pergunta trata do conhecimento do usuário sobre os fatores para dimensionamento de um reservatório água pluvial e a segunda pergunta trata do conhecimento do usuário sobre os componentes de um sistema de captação e utilização de água pluvial.

A primeira pergunta pode ser observada na Figura 25, na janela Dialog Window do CLIPS, canto superior esquerdo. Na janela Facts (MAIN) também pode ser observado o encerramento da fase de contrato, f-21 (Fase_Contrato Concluída), e o início da fase de

projeto, f-23 (FaseAtual Projeto) e f-24 (Fase_Projeto Iniciada). A janela de agenda, canto inferior esquerdo, mostra a sequência de regras em espera e a relevância da saliência para esta etapa do processamento.

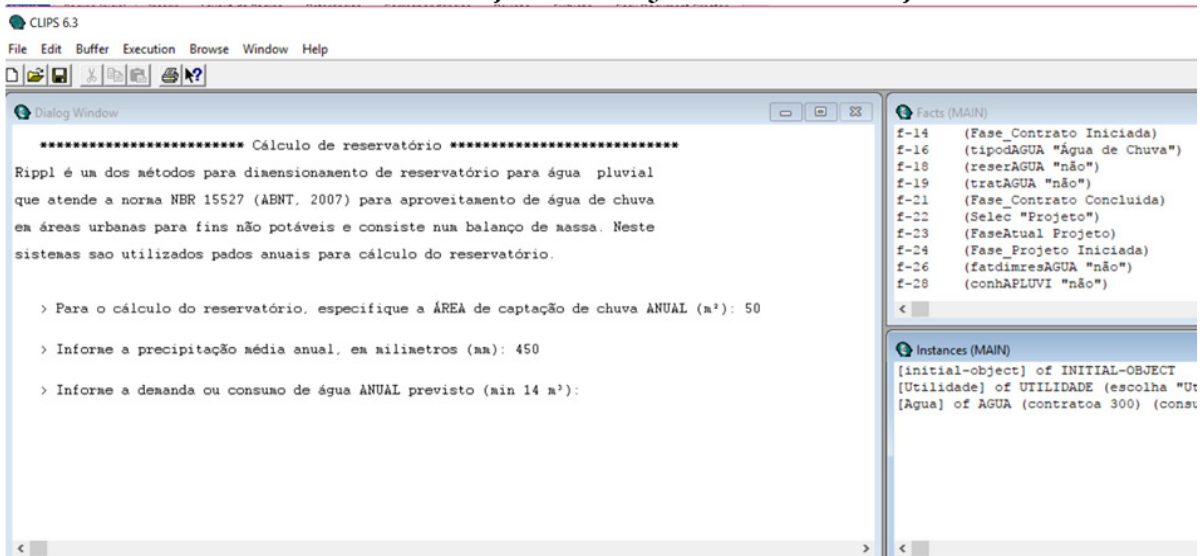
Figura 25 - Janelas do CLIPS: Fatores de dimensionamento de água pluvial



Fonte: Própria

A seguir o sistema requer informações para dimensionamento de um reservatório para captação de água de chuva. Na Figura 26 podem ser observadas na janela *Dialog Window* do CLIPS, as três perguntas necessárias para que o sistema efetue o referido cálculo de dimensionamento.

Figura 26 - Janelas do CLIPS: Cálculo de dimensionamento de reservatório

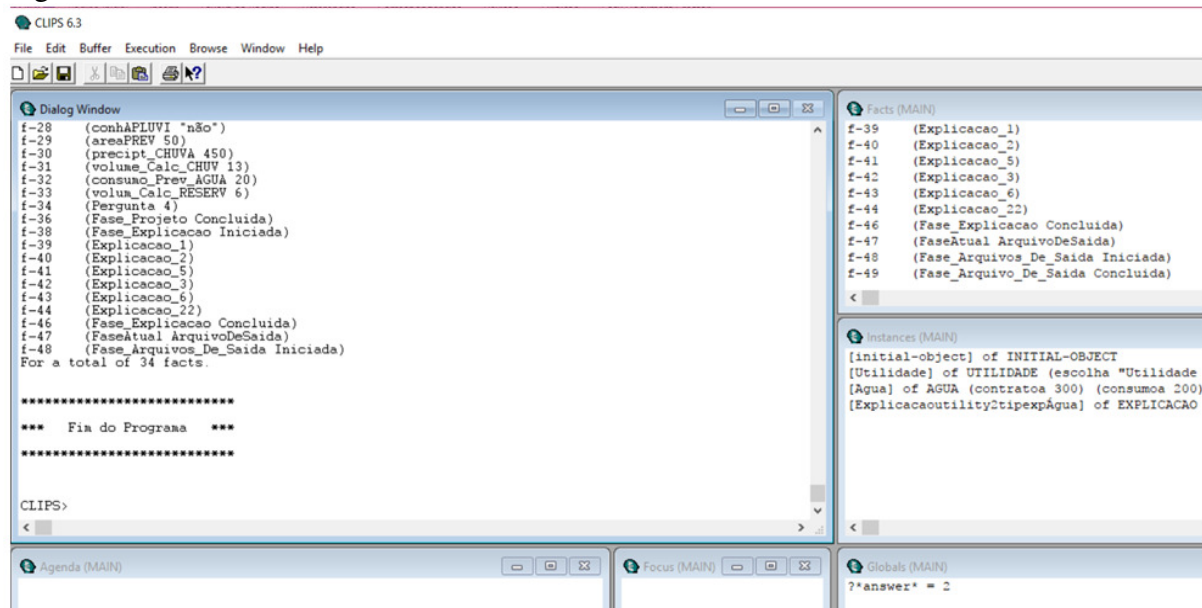


Fonte: Própria

Estas três perguntas são: especificação da área de captação de chuva (m^2); precipitação média anual de chuva na região (mm); demanda ou consumo de água anual previsto (o sistema fornece um volume mínimo em m^3). Nessa mesma figura também podem ser observados na janela *Facts* (MAIN), a seleção do usuário sobre o conhecimento quanto ao dimensionamento do reservatório água pluvial, f-28 (conhAPLUVI “não”) e componentes de um sistema de captação e utilização de água pluvial, f-26 (fatdimresAGUA “não”).

Nesse caso, o protótipo encerra a fase de projeto, processa a fase de explicações e gera os arquivos de saída, os respectivos fatos associados a essas etapas (f-46, f-47, f-48 e f-49) podem ser observados na janela *Facts* (MAIN) da Figura 27. Pode-se observar também na janela *Instances* (MAIN), canto central direito, que um objeto “Explicação” foi criado. Com isso, o encadeamento chega ao fim, como evidenciado pela ausência de regras listadas na janela Agenda (MAIN), canto inferior esquerdo.

Figura 27 - Janelas do CLIPS: Final de encadeamento.



Fonte: Própria

Os arquivos de saída têm o objetivo de explicitar e justificar os resultados produzidos pelo protótipo, o que permite ao usuário avaliar criticamente as recomendações de melhoria de eficiência energética fornecidas pelo protótipo SE, o que, por sua vez, traz mais confiança e aceitação das recomendações fornecidas.

No APÊNDICE E é apresentado o arquivo de Saída1 (extensão.txt) para a avaliação da utilidade “Água”, que fornece: todos os dados informados pelo usuário durante o processamento; tomadas de decisão do sistema, com a sequência de fatos e ocorrências;

explicações, recomendações e cálculos efetuados pelo sistema. Tais informações, aliadas às explicações contidas e registradas no arquivo de Saída2 (extensão.txt), criam rastreabilidade importante para o usuário e o Engenheiro de Conhecimento, conforme abordado nos capítulos anteriores.

Outra possibilidade mostrada na Figura 24 para a utilidade “Água” é a opção “Manutenção”, que permite elucidar o acompanhamento das próximas perguntas efetuadas pelo protótipo. A dinâmica da interação com o usuário é semelhante ao caso apresentado de “Projeto”, e é omitida por razões de simplicidade.

4.4 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO

No desenvolvimento do protótipo SE aqui apresentado, o processo de verificação e validação de cada ciclo de desenvolvimento, passa pela avaliação do EC e dos especialistas, respectivamente, conforme apresentado no Capítulo 3. Cabe lembrar que a verificação é de responsabilidade do EC e consiste na eliminação de erros semânticos e de sintaxe introduzidos durante a implantação do protótipo SE. A validação é de responsabilidade dos especialistas, que devem testar o desempenho e a utilidade do protótipo, além de julgar se as soluções apresentadas são corretas ou mesmo se o protótipo é capaz de encontrar soluções. Durante o processo de validação, os especialistas contam com o apoio do EC, que deve posteriormente corrigir eventuais erros encontrados.

Quatro versões do protótipo SE (inicial, 1, 2 e 3) foram necessárias para formar a base de conhecimento estabelecida pelos especialistas, conforme descrito na seção 4.3.2. Os incrementos de funcionalidade foram divididos em grupos, de forma paralela aos ciclos de desenvolvimento, podendo assim ambos, ser revisados pelo EC e posteriormente apresentados aos especialistas para validação mútua. Este tipo de procedimento assegura a consistência e a qualidade das informações durante o processo de desenvolvimento, evitando longos períodos de testes pelos especialistas, bem como evita excessivo consumo de tempo para retrabalho, em caso de necessidade de ajuste.

Durante o processo de verificação do protótipo SE, alguns importantes detalhes relacionados a regras foram revisados pelo EC com objetivo de evitar: redundância – quando duas ou mais regras possuem premissas idênticas e levam a conclusões idênticas; conflito - quando duas regras possuem premissa idêntica e levam a conclusões conflitantes; incluídas - uma regra é incluída por outra se esta tem mais restrições condicionais com as conclusões idênticas; loops - conjunto de regras que apresentam um encadeamento entre si; sem_saída -

regras cujas ações não afetam qualquer conclusão e não são usadas por outras regras para gerar outras conclusões; desnecessárias – regras com fatos que não são usados no processo de inferência ou conclusões não afetadas por qualquer outra regra ou função ou falhas em cobrir todos os possíveis valores das entradas; inatingíveis - regra que indica que suas premissas jamais serão satisfeitas, pela ausência de certas regras ou pela falta de dados de entrada.

Para o processo de validação foram elaboradas listas de validação para todas as quatro versões do protótipo SE (inicial, 1, 2 e 3), com o objetivo de estabelecer uma metodologia de acompanhamento, validação e comprovação para mudança de versão. Dessa forma, uma primeira lista de validação do protótipo SE (versão inicial) foi elaborada, ajustada e verificada pelo EC e posteriormente submetida aos especialistas. Nesta lista de validação, cada conjunto de entrada de dados contém as saídas de dados esperadas pelos especialistas, dessa forma ocorre à validação se o protótipo SE reproduz as saídas esperadas.

A cada nova versão do SE, um conjunto de funcionalidades é acrescida a lista anterior e renomeada de acordo com a nova versão do protótipo SE. A nova lista de validação passa por um processo de verificação pelo EC, antes de ser submetida aos especialistas para as sessões de validação. Caso os especialistas concordem com as soluções apresentadas pela nova versão do SE, esta é considerada validada e operacional. Do contrário, o protótipo SE deverá ser reprogramado de modo a eliminar os erros apontados e novamente submetido para validação dos especialistas. Esse ciclo se repete até que os especialistas concordem com as soluções apresentadas pelo SE.

O processo de desenvolvimento do protótipo SE, com todas suas fases (aquisição, representação, implantação, verificação e validação) continua até que a última versão do protótipo SE seja finalizada, ou seja, a versão 3 deste trabalho. A lista de validação, que faz parte da documentação do ciclo de desenvolvimento do protótipo SE, aqui desenvolvido, pode ser observada de forma parcial, nos APÊNDICES A, B, C e D deste trabalho.

A primeira lista de validação do protótipo SE (versão inicial) foi elaborada pelo EC a partir do relatório geral do protótipo SE, descrito na seção 4.1 deste documento, e submetida para avaliação dos especialistas uma semana antes das sessões específicas de validação, que ocorreram entre os dias 15 de abril e 03 de maio de 2017. Munidos desse documento, os especialistas puderam validar as funções básicas da versão inicial do protótipo: primeiros requisitos das utilidades; explicações genéricas e relatórios de saída gerados por uma versão simplificada do MGE; integração geral. Também puderam sugerir melhorias, tanto nas informações de tela, encontradas na interação com o sistema, como nos textos de explicação e recomendação dos arquivos de Saída1 e Saída2. Importante registrar que nestas primeiras

sessões de validação, muitos ajustes no sistema foram sugeridos pelos especialistas ao EC, especialmente em virtude do desconhecimento sobre as técnicas de SEs, bem como pela limitada gama de informações sobre eficiência energética contida.

A segunda lista de validação do protótipo SE (versão 1) foi elaborada a partir da primeira lista de validação (versão inicial), contendo todas as observações de melhorias e sugestões efetuadas pelos especialistas na versão inicial do protótipo SE, bem como com o conjunto das novas funcionalidades da versão 1 do protótipo SE. Esta segunda lista foi então encaminhada individualmente aos especialistas para avaliação uma semana antes das sessões específicas de validação, que ocorreram entre os dias 22 de junho e 10 de julho de 2017. Durante as sessões de validação, os especialistas puderam validar: o detalhamento das utilidades primárias; explicações mais aprofundadas e relatórios de saída gerados por uma versão mais completa do MGE. Também puderam sugerir melhorias, tanto nas informações de tela, encontradas na interação com o sistema, como nos textos de explicação e recomendação dos arquivos de Saída 1 e Saída 2. Foi possível notar que o número de observações sugeridas nas sessões de validação deste segundo ciclo de desenvolvimento do protótipo SE foi reduzido em relação ao primeiro, provavelmente devido à maior familiaridade com o sistema e também pela maior profundidade das recomendações.

Procedimento similar aos dois primeiros também foi adotado para a terceira lista de validação do protótipo SE (versão 2), que foi elaborada a partir da segunda lista de validação, contendo todas as observações de melhorias e sugestões efetuadas pelos especialistas na versão 1, bem como com o conjunto de novas funcionalidades da versão 2 do protótipo SE. A terceira lista foi encaminhada individualmente aos especialistas, com uma semana de antecedência ao período das sessões específicas de validação, que ocorreram entre os dias 28 de agosto e 09 de setembro de 2017. Durante as sessões de validação, os especialistas puderam validar: o detalhamento das utilidades secundárias; explicações mais aprofundadas e relatórios de saída gerados por uma versão mais completa do MGE. Assim como na segunda sessão, o número de observações sugeridas foi mais reduzido em relação ao anterior.

A quarta e última lista de validação do protótipo SE (versão 3) seguiu o mesmo procedimento das versões anteriores e foi apresentada aos especialistas pouco antes das últimas sessões de validação, que ocorreram nos dias 30 de outubro e 26 de novembro de 2017. Durante as duas últimas sessões de validação, os especialistas puderam validar: os conceitos de contrato, manutenção e conservação para todas as utilidades; conjunto de explicações completas e relatórios de saída gerados por uma versão final do MGE. Neste terceiro ciclo de desenvolvimento do protótipo SE também foram incluídas funcionalidades

de desenvolvimento de projetos para algumas utilidades, fato que surpreendeu e agradou muito aos especialistas, uma vez que propicia maior abrangência e profundidade às recomendações sobre utilidades ao usuário, além de agregar valor do ponto de vista de avaliação empresarial por parte dos executivos.

De acordo com estes especialistas, esta avaliação com visão mais administrativa pode ser complementar a técnica, com base em uma análise detalhada do relatório fornecido pelo arquivo de Saída1. Pode propiciar, além da identificação de pontos de redução de custos por meio de eliminação de penalidades contratuais, também aprimoramentos na manutenção devido a falta de visão da referida equipe ou mesmo pela dificuldade desta equipe em relatar com honestidade as falhas de suas áreas de atuação preocupados com possíveis sanções. Da mesma forma, pequenos investimentos em projetos podem propiciar melhorias consideráveis em termos de redução de consumo e, por consequência, custos para a planta.

Estas possibilidades tornam-se evidentes a partir das informações disponibilizadas pelo protótipo para cada utilidade em avaliação pelo usuário, em consonância com seu potencial para estabelecer julgamento coerente sobre a forma de atuação das áreas de gestão, operação e manutenção da empresa. Tais possibilidades podem inclusive gerar planos de ação apropriados em vários níveis da empresa, do administrativo ao operacional, por meio da aplicação de treinamentos específicos e da análise comportamental de seus colaboradores.

Uma vez encerrado o processo de validação da ferramenta, o protótipo SE foi submetido a um grupo de três “não especialistas” da área de eficiência energética visando avaliar a facilidade quanto ao uso da ferramenta. Importante ressaltar que esta atividade não seguiu o procedimento adotado junto aos especialistas nas versões de validação devido ao caráter subjetivo de avaliação da ferramenta por parte do grupo. Outro ponto relevante ao grupo é que todos os seus componentes possuem nível técnico ou superior e trabalham em diferentes áreas de indústrias da região: logística, suprimentos e controladoria. Além disso, os “não especialistas” puderam avaliar a individualmente a ferramenta, em datas e locais diferentes, ou seja, livres de qualquer tipo de critério abordado anteriormente neste trabalho, apenas com a supervisão a distância do EC para sanar dúvidas, caso pudessem ocorrer e a observação de um dos especialistas.

A atividade foi iniciada com uma explanação básica do EC a cada indivíduo do grupo sobre a ferramenta e objetivo da atividade. Todos puderam operar livremente pela ferramenta, escolhendo de forma independente as utilidades, visão de contrato, manutenção, projeto, explicações e relatórios de saída gerados pelo MGE. O resultado da avaliação geral do grupo foi similar, em que a simplicidade de operação e a velocidade de resposta da ferramenta

agradou a todos do grupo. Não houve dificuldade quanto ao entendimento dos questionamentos do protótipo aos usuários. O reduzido número de perguntas para a obtenção do diagnóstico preliminar de eficiência energética também foi elogiado pelo grupo. A atividade foi encerrada com um questionamento individual sobre restrições ou possíveis dificuldades quanto à implantação da ferramenta nas empresas em que trabalham especialmente nas respectivas áreas de trabalho. As respostas foram positivas e sem qualquer resistência ou restrição por parte de nenhum dos indivíduos do grupo.

5 ESTUDO DE CASO E DISCUSSÃO

5.1 ESTUDO DE CASO 1

Este caso corresponde a uma consulta feita por um usuário ao protótipo SE, a respeito de uma das utilidades de uma planta industrial genérica, selecionando a utilidade “Água”. Os requisitos da planta e informações adicionais de processos solicitados pelo protótipo podem variar dependendo das condições e características da planta fornecidas pelo usuário. A seguir é apresentado o diálogo para o referido caso:

Protótipo: As UTILIDADES INDUSTRIAIS representam uma parcela importante dos custos operacionais de uma planta industrial, portanto a preocupação com esses itens é vital para a competitividade do negócio. As utilidades primárias são aquelas compradas de empresas de serviços públicos (eletricidade, gás e água). As utilidades secundárias são aquelas geradas na planta a partir de utilitários primários (aquecimento de água, ar comprimido, ar condicionado e iluminação).

Protótipo: Em termos de UTILIDADES, identifique qual o interesse relacionado a pesquisa: (1 = Energia Elétrica), (2 = Água), (3 = Gás Natural), (4 = Aquecimento de Água), (5 = Ar Comprimido), (6 = Ar Condicionado), (7 = Iluminação): (1 2 3 4 5 6 7)?

Usuário: 2

Protótipo: A empresa possui SISTEMA DE MEDIÇÃO para utilidades independentes da Concessionária (1= sim) ou (2= não)?

Usuário: 2

Protótipo: Existe na empresa um departamento com foco nas oportunidades de EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (1= sim) ou (2= não)?

Usuário: 2

Protótipo: Definição de Demanda Contratada de Água: quantidade de água declarada a ser consumida da Concessionária medida em m³.

Protótipo: Informe a Demanda Mensal Contratual de Água em m³:

Usuário: 90

Protótipo: Definição de CONSUMO: água consumida pelo cliente, medida em m³.

Protótipo: Informe o Consumo Médio Mensal de Água em m³:

Usuário: 75

Protótipo: Além do fornecimento de Água pela Concessionária, há mais algum tipo de abastecimento de Água? (1 = Nenhum), (2 = Água de Chuva), (3 = Água de Reuso), (4 = Água de Poço), (5 = Mais de um).

Protótipo: Selecione uma das opções acima referidas: (1 2 3 4 5):

Usuário: 1

Protótipo: Para continuar a análise da utilidade, selecione um dos dois caminhos possíveis (1 = Projeto) ou (2 = Manutenção):

Protótipo: Selecione uma das opções acima referidas:

Usuário: 2

Protótipo: São muito significativos os ganhos em rendimento e eficiência quando se põe em prática um bom esquema de manutenção periódica dos sistemas de abastecimento de Água. Atividades que passam pela eliminação de vazamentos, regulagem de equipamentos, substituição de componentes básicos, e pela divulgação e treinamento de funcionários.

Protótipo: Há um plano de manutenção preventiva para os sistemas de abastecimento de água da planta (1= sim) ou (2= não)?

Usuário: 1

Protótipo: Há um processo periódico de CAÇA VAZAMENTO na planta (1= sim) ou (2= não)?

Usuário: 2

O protótipo finaliza a inferência e gera arquivos: O protótipo neste momento interrompe os questionamentos e finaliza o processo de inferência, estabelecendo as recomendações necessárias, as conclusões e gerando dois arquivos de saída específicos.

Alguns trechos do arquivo Saida1 gerado nesse caso são apresentados e discutidos a seguir. Os trechos do arquivo são destacados em itálico. O protótipo SE informa que água é considerada uma utilidade primária. *“A utilidade 'Água' é considerada 'Utilidade Primária', uma vez que é obtida através de contratação externa junto a concessionária.”* e explica: *“ATENÇÃO: A utilização de mais de um tipo de UTILIDADE na indústria requer especial atenção na gestão apropriada desses recursos, desde questões contratuais, medição específica e controles de consumo, até a aplicação de ações de eficiência energética.”*

A cada resposta informada pelo usuário, o protótipo apresenta recomendações. Um exemplo de recomendação relacionado à medição de utilidades encontrado no arquivo de saída é: *“A empresa não dispõe de sistema de medição para utilidades - O monitoramento e verificação das utilidades na indústria têm como objetivo o estudo dos fluxos energéticos, com o propósito de racionalizar o uso da energia elétrica, água, combustíveis, e reduzir seus*

*custos. Sua implantação é considerada uma das ações de eficiência energética e busca a obtenção do menor índice de custo em relação à utilidade utilizada em um processo.” e “ATENÇÃO: A implantação do sistema de monitoramento e verificação é considerada uma das principais ações de eficiência energética e busca a obtenção do menor índice de custo em relação à utilidade utilizada em um processo. ***** Quem não mede, não controla, não gerencia e não melhora qualquer variável ou resultado *****”.*

Outro exemplo que pode ser observado é em relação à existência de abastecimento adicional de água além da concessionária. Como o usuário informou não haver tal abastecimento, o protótipo apresentou a seguinte recomendação: *“APROVEITAMENTO DE ÁGUA - CHUVA, REUSO e/ou POÇO: A captação de águas pluviais, reuso e/ou poço pode ser considerada como uma solução alternativa e sustentável para o abastecimento de água local e descentralizado na indústria, podendo reduzir a demanda de abastecimento pela concessionária, além de possibilitar redução de custos. Contudo, sua utilização necessita de estudos acerca da viabilidade e eficiência no atendimento dos usos a que será destinada, avaliação dos possíveis riscos sanitários, adequação das instalações hidráulicas prediais, dimensionamento do sistema de captação, coleta e reserva, observando as características locais, evitando a implantação de projetos inadequados que comprometam os aspectos positivos da alternativa. Dentre os componentes do sistema de captação e utilização de água, o reservatório é o item mais oneroso, podendo representar entre 50% e 85% de seu valor total, devendo, portanto, ser dimensionado de forma bastante criteriosa, uma vez que influencia diretamente na viabilidade financeira.”*

Neste caso 2, especificamente, o usuário selecionou o caminho da manutenção, informando haver plano de manutenção preventiva para os sistemas de água além de não haver processo periódico de caça vazamento na planta. Para a negativa de caça vazamento, o protótipo recomenda *“CAÇA VAZAMENTO: A solução para eliminar perdas de vazamento é implantar um processo eficiente e bem estruturado de localização, identificação, registro e solução dos vazamentos. Para alcançar o melhor resultado no caça vazamento, é primordial estabelecer rotina de verificação anual, e se possível segregar os circuitos de circulação de água através de registros devidamente identificados. Inspeccionar toda linha, incluindo válvulas de controle, calibração e manutenção preventiva nos equipamentos de medição e controle, dispositivos de consumo e redes de distribuição. Importante programar as atividades de caça vazamentos em períodos de parada de produção, uma vez que os acessos a locais específicos ficam menos restritivos. O treinamento constante das equipes operacionais*

também é muito importante, uma vez que quaisquer vazamentos identificados devem ser rapidamente comunicados e registrados.”

Por fim o protótipo SE fornece uma serie de recomendações gerais para a utilidade selecionada: *“CONSUMO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA: A indústria em suas várias atividades necessita de modo geral de dois sistemas de abastecimento: um de água potável para algum consumo específico como alimentos e farmacêuticos, onde é necessária uma melhor qualidade da água, ou para o consumo humano dos empregados; o outro de água não potável dita água industrial, destinada ao aquecimento de caldeiras, torres de resfriamento, processos industriais, além de jardins, pátios e descargas nas bacias sanitárias. Importante ressaltar que o custo da água potável vem aumentando consideravelmente nos últimos anos, motivado principalmente pelo aumento da poluição de rios e córregos. Portanto, uma das medidas de conservação de água é o uso da água industrial, deixando a água potável para fins mais nobres.”*

O outro arquivo gerado pelo MGE, denominado Saída2, registra a sequência de informações (fatos, dados, explicações e posicionamento estrutural) ocorridas durante o processamento da inferência do protótipo. O objetivo deste arquivo é dar suporte ao EC durante a fase de implantação, permitindo monitorar e acompanhar o funcionamento do protótipo, especialmente ajudando a identificar as razões de interrupções imprevistas da inferência. Como é um arquivo intermediário e ligado ao desenvolvimento do protótipo, ele é mostrado no APÊNDICE F. Os arquivos Saída2 dos próximos casos são gerados de forma similar com o mesmo propósito e são apresentados também no APÊNDICE F.

5.2 ESTUDO DE CASO 2

Este caso corresponde a uma segunda consulta feita pelo usuário ao protótipo SE, que selecionou a utilidade “Aquecimento de Água”. As perguntas do protótipo e respostas do usuário para o referido caso são apresentadas a seguir:

Protótipo: As UTILIDADES INDUSTRIAIS representam uma parcela importante dos custos operacionais de uma planta industrial, portanto a preocupação com esses itens é vital para a competitividade do negócio. As utilidades primárias são aquelas compradas de empresas de serviços públicos (eletricidade, gás e água). As utilidades secundárias são aquelas geradas na planta a partir de utilitários primários (aquecimento de água, ar comprimido, ar condicionado e iluminação).

Protótipo: Em termos de UTILIDADES, identifique qual o interesse relacionado a pesquisa: (1 = Energia Elétrica), (2 = Água), (3 = Gás Natural), (4 = Aquecimento de Água), (5 = Ar Comprimido), (6 = Ar Condicionado), (7 = Iluminação): (1 2 3 4 5 6 7) ?

Usuário: 4

Protótipo: A empresa possui SISTEMA DE MEDIÇÃO para utilidades independentes da Concessionária (1= sim) ou (2= não)?

Usuário: 1

Protótipo: Existe na empresa um departamento com foco nas oportunidades de EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (1= sim) ou (2= não)?

Usuário: 1

Protótipo: A próxima cadeia de questionamentos requer informações sobre a Utilidade AQUECIMENTO DE ÁGUA da planta. Estas informações são importantes para avaliação do comportamento de consumo, utilização, insumos e situação desta utilidade na empresa, bem como observar possibilidades de adequação, melhorias necessárias e eventualmente redução de custos.

Protótipo: Há mais de uma aplicação de AQUECIMENTO DE ÁGUA nos setores produtivos e/ou conforto na planta? (1= sim) ou (2= não):

Usuário: 2

Protótipo: É utilizada apenas a ENERGIA ELÉTRICA como insumo para o sistema de AQUECIMENTO DE ÁGUA na planta? (1= sim) ou (2= não):

Usuário: 1

Protótipo: Há aplicação de isolamento térmico nas tubulações, acessórios e reservatórios de água quente? (1= sim) ou (2= não):

Usuário: 2

Protótipo: As definições do Consumo efetivo e da Demanda prevista de aquecimento de água para planta são de extrema importância para um entendimento apropriado de eficiências energética industrial uma vez que propicia definir a quantidade de energia necessária para sua produção.

Protótipo: Informe a Demanda mensal prevista de água aquecida para planta (m³):

Usuário: 6

Protótipo: Informe a Consumo médio mensal de água aquecida para planta (m³):

Usuário: 7,5

Protótipo: Para continuar a análise da utilidade, selecione um dos dois caminhos possíveis (1 = Projeto) ou (2 = Manutenção):

Protótipo: Selecione uma das opções acima referidas:

Usuário: 1

Protótipo: Há utilização de energia solar para o sistema de AQUECIMENTO DE AGUA?

(1= sim) ou (2= não):

Usuário: 2

Protótipo: Há critérios claros e restrições para o uso de água quente na planta? (1= sim) ou

(2= não):

Usuário: 2

Protótipo: ***** Cálculo de Aquecedor Solar *****

Os Sistemas de Aquecimento Solar para temperaturas até 60 °C através da utilização de coletores solares vem sendo cada vez mais empregados na indústria, especialmente em países com grande incidência solar como o caso do Brasil. Estes sistemas trabalham em circuito fechado, composto basicamente por coletores solar, bomba para circulação de água, sistema automático de controle de temperatura e componentes discretos: tais como tubulação, válvulas, sensores, entre outros.

Protótipo: Especifique a Temperatura de Uso / Consumo da Água (55 > Temp. Média > 15) em °C:

Usuário: 35

Protótipo: Para 35 °C, a Temperatura de Armazenamento da Água indicada é de: 43,75 °C.

Protótipo: Informe a Média Anual da Temperatura Ambiente do local de instalação em °C:

Usuário: 21

Protótipo: Informe o Volume Total de água quente consumido diariamente em litros:

Usuário: 250

Protótipo: Informe o Volume do Sistema de Armazenamento (min 287,5 litros):

Usuário: 300

Protótipo: Energia Útil calculada é de: 7,92 kWh/dia.

Protótipo: As Perdas de Energia estimadas do Sistema: 1,19 kWh/dia.

Protótipo: Especifique a Eficiência (%) do coletor solar informada pelo fabricante (0 > E > 100):

Usuário: 75

Protótipo: *** MÉDIA ANUAL DA IRRADIAÇÃO SOLAR GLOBAL POR CAPITAL ***

*** CAPITAL	VALOR	*** CAPITAL	VALOR	***
*** Aracaju	4,55	*** Maceió	4,90	***

*** Belém	4,90	*** Manaus	4,55	***
*** Belo Horizonte	4,80	*** Natal	4,90	***
*** Boa Vista	4,90	*** Porto Alegre	4,55	***
*** Brasília	5,60	*** Porto Velho	4,55	***
*** Campo Grande	4,90	*** Recife	4,55	***
*** Cuiabá	4,90	*** Rio Branco	5,60	***
*** Curitiba	4,20	*** Rio de Janeiro	4,55	***
*** Florianópolis	4,20	*** Salvador	4,55	***
*** Fortaleza	4,90	*** São Luís	4,90	***
*** Goiânia	5,60	*** São Paulo	4,55	***
*** João Pessoa	4,55	*** Teresina	5,60	***
*** Macapá	4,90	*** Vitória	4,55	***

Protótipo: Informe o valor da irradiação global (média anual) para o local da instalação (kWh/m²/dia):

Usuário: 4,90

O protótipo finaliza a inferência e gera arquivos: O protótipo neste momento interrompe os questionamentos e finaliza o processo de inferência, estabelecendo as recomendações necessárias, as conclusões e gerando dois arquivos de saída específicos.

Novamente, alguns trechos do arquivo Saidal gerado nesse caso são apresentados e discutidos, com os trechos do arquivo destacados em itálico. O protótipo SE informa que água quente é considerada uma UTILIDADE SECUNDÁRIA. “*A utilidade 'Aquecimento de Água' é considerada 'Utilidade Secundária', uma vez que é obtida através de utilização de outra Utilidade como insumo.*”

Como o consumo de água aquecida está acima da demanda, o protótipo SE recomenda o seguinte: “*ATENÇÃO: O Consumo de Aquecimento de Água é maior ou igual a Demanda. Esta situação requer atenção sob dois pontos de vista: CONTRATUAL, pois poderá acarretar em despesas adicionais ao planejado; TÉCNICO: O Consumo acima do previsto pode evidenciar possibilidade de desperdício ou vazamento. Em ambos os casos a situação requer providências imediatas de ajuste envolvendo as áreas de manutenção e controle. A boa prática enfatiza que o volume contratado deve estar entre 5 a 8% acima do volume consumido.*”

O usuário informou não haver critérios claros e restrições para o uso de água quente na planta, para o que o protótipo recomenda: “*MELHORIAS NO PROJETO: estabelecer critérios claros e restrições para o uso de água quente (22°C máximo para lavatórios, entre*

outros); sistemas independentes para temperaturas críticas; possibilidade de instalar redutores de fluxo de água para torneiras; concentração do uso nas necessidades de água quente (lava louças); isolamento térmico em tubulações, acessórios e reservatórios; adoção de coletores solares e o uso de combustíveis alternativos como o gás natural, sempre que possível; programa de conscientização dos usuários”.

Neste caso 2, especificamente, houve seleção do caminho por projeto. Assim sendo, a partir de requisitos informados pelo usuário, o protótipo dimensiona um aquecedor solar para as necessidades da planta: *“DIMENSIONAMENTO DE UM AQUECEDOR SOLAR PARA AS NECESSIDADES DA PLANTA.”*; *“A Temperatura de Uso / Consumo da Água é de: 35°C”*; *“Para 35°C, a Temperatura de Armazenamento da Água indicada é de: 43.75°C”*; *“A Média Anual da Temperatura Ambiente do local de instalação é de: 21°C”*; *“O Volume Total de água quente consumido diariamente é de: 250 litros”*; *“O Volume do Sistema de Armazenamento é de: 300 litros”*; *“Energia Útil calculada é de: 7,92 kWh/dia”*; *“As Perdas de Energia estimadas do Sistema: 1,19 kWh/dia”*; *“A Eficiência do coletor solar informada pelo fabricante é de: 75%”*; *“A Produção Média de Energia por coletor solar é de: 2,81 kWh/m²”*; *“Valor da irradiação global (média anual) para o local da instalação: 4,90 kWh/m²/dia”*; *“Fator de Correção adotado para a inclinação e orientação do coletor solar: 5%”*; e chega a uma solução: *“O cálculo da área coletora é 3,41 m²”*.

Os cálculos do projeto para dimensionamento do aquecedor solar (energia útil, perdas de energia do sistema, fator de correção e área coletora) são efetuados conforme norma NBR 7198/93 e 02:146.03 da ABNT (APENDICE G).

Por fim o protótipo SE fornece uma série de recomendações gerais para a utilidade selecionada, a exemplo: *“MELHORIAS POR LAYOUT: Em alguns casos é possível que se mostre interessante descentralizar o aquecimento mantendo-se vários aquecedores localizados estrategicamente o mais próximo possível dos pontos de consumo, ou ainda modificar os pontos finais de uso da água aquecida, de modo a agrupá-los mais perto dos aquecedores existentes. Para evitar o uso desnecessário, por comodidade ou simplesmente conforto, a tubulação de água quente deve ser estendida e ficar disponível apenas nos pontos em que for absolutamente necessária”*.

5.3 ESTUDO DE CASO 3

Este caso corresponde a uma terceira consulta feita pelo usuário ao protótipo SE, que selecionou a utilidade “Iluminação”. As perguntas do protótipo e respostas do usuário para o referido caso são apresentadas a seguir:

Protótipo: As UTILIDADES INDUSTRIAIS representam uma parcela importante dos custos operacionais de uma planta industrial, portanto a preocupação com esses itens é vital para a competitividade do negócio. As utilidades primárias são aquelas compradas de empresas de serviços públicos (eletricidade, gás e água). As utilidades secundárias são aquelas geradas na planta a partir de utilitários primários (aquecimento de água, ar comprimido, ar condicionado e iluminação).

Protótipo: Em termos de UTILIDADES, identifique qual o interesse relacionado à pesquisa: (1 = Energia Elétrica), (2 = Água), (3 = Gás Natural), (4 = Aquecimento de Água), (5 = Ar Comprimido), (6 = Ar Condicionado), (7 = Iluminação): (1 2 3 4 5 6 7)?

Usuário: 7

Protótipo: A empresa possui SISTEMA DE MEDIÇÃO para UTILIDADES INDEPENDENTE da Concessionária? (1= sim) ou (2= não):

Usuário: 2

Protótipo: Existe na empresa um departamento com foco nas oportunidades de EFICIÊNCIA ENERGÉTICA? (1= sim) ou (2= não):

Usuário: 1

Protótipo: A definição sobre a POTÊNCIA INSTALADA e o consumo efetivo para a Iluminação da planta é de extrema importância para um entendimento apropriado da eficiência energética industrial, uma vez que propicia definir a quantidade de energia necessária a sua produção. A unidade de medida da potência elétrica é o kW. O Consumo efetivo máximo é fornecido no sentido de oferecer alinhamento sobre o regime de utilização em período limite de 24 h diário.

> POTÊNCIA INSTALADA: potência elétrica demandada de Iluminação para planta que deve agrupar todos os equipamentos desta utilidade, normalmente medida em kW ou MW.

> CONSUMO EFETIVO: quantidade de energia elétrica prevista ou medida a ser consumida de Iluminação para planta (medido em kWh), considerando o fator de simultaneidade previsto em norma. Importante lembrar as oportunidades de uso da iluminação natural, que ocorrem no território nacional em período médio de 12 h diário.

Protótipo: Informe a POTÊNCIA INSTALADA de iluminação em kW:

Usuário: 300

Protótipo: Informe o Consumo Médio de Energia Elétrica para iluminação (kWh):

Usuário: 7000

Protótipo: A próxima cadeia de questionamentos requer informações sobre a Utilidade ILUMINAÇÃO na planta. Estas informações são importantes para avaliação do comportamento de consumo, utilização, insumos e situação desta utilidade na empresa, bem como observação das possibilidades de adequação, melhorias e necessários e eventualmente redução de custos.

Protótipo: A empresa utiliza luz natural (solar) como um tipo de aplicação para Iluminação nesta planta? (1= sim) ou (2= não):

Usuário: 2

Protótipo: Houve avaliação técnica para iluminação por área nos últimos três anos (medições de energia) (medições de iluminância, lâmpadas e luminárias mais eficientes)? (1= sim) ou (2= não):

Usuário: 2

Protótipo: Existe aplicação de técnica de setorização nos circuitos de iluminação? (1= sim) ou (2= não):

Usuário: 2

Protótipo: Para continuar a análise da utilidade, selecione um dos dois caminhos possíveis (1 = Projeto) ou (2 = Manutenção):

Protótipo: Selecione uma das opções acima referidas:

Usuário: 1

Protótipo: O sistema de iluminação adequado para um local de trabalho deve proporcionar luz uniforme sobre todos os planos, com luz suficientemente difusa, bem dirigida e distribuída para evitar sombras e contrastes nocivos, sem ofuscamento direto ou refletido, além de reprodução de cor compatível com a natureza do trabalho. Em termos de AMBIENTE DE TRABALHO, identifique qual a opção que melhor se enquadra: (1 = Tarefas visuais simples e não contínuas - 150 a 249 lux), (2 = Tarefas visuais limitadas e variadas - 250 a 500 lux), (3 = Tarefas visuais normais com requisitos contínuos - 501 a 1.000 lux), (4 = Tarefas visuais com requisitos especiais - 1.001 a 2.000 lux), (5 = Tarefas visuais exatas com requisitos prolongados - 2.001 a 5.000 lux), (6 = Tarefas visuais muito exatas - acima de 5.001 lux):

Protótipo: Selecione uma das opções acima referidas: (1 2 3 4 5 6):

Usuário: 3

Protótipo: Para o ajuste fino do cálculo da iluminação, especifique o NÍVEL DE ILUMINAÇÃO DESEJADO (entre 501 e 1000 lux):

Usuário: 800

Protótipo: Informe a ÁREA a ser iluminada (m²):

Usuário: 300

Protótipo: *****		FATOR DE DEPRECIÇÃO para a área selecionada			*****
***** AMBIENTE	*****	PERÍODO	DE	MANUTENÇÃO	*****
**		2500h	5000h	7500h	*****
***** Limpo	*****	0,95	0,91	0,88	*****
***** Normal	*****	0,92	0,85	0,80	*****
***** Sujo	*****	0,80	0,66	0,57	*****

Protótipo: Informe o FATOR DE DEPRECIÇÃO de acordo com a manutenção e o ambiente (TABELA ACIMA):

Usuário: 0,91

Protótipo: **		FATOR DE UTILIZAÇÃO para a área selecionada			**
***** TIPO DE SUPERFICIE	*****	FATOR DE UTILIZAÇÃO	*****	*****	*****
** TETO	**** PAREDE	***** PISO	***	FATOR DE UTILIZAÇÃO	**
** claro	**** clara	***** claro	***	0,8	**
** claro	**** clara	***** escuro	***	0,6	**
** claro	**** escura	***** claro	***	0,5	**
** escuro	**** clara	***** claro	***	0,5	**
** claro	**** escura	***** escuro	***	0,4	**
** escuro	**** clara	***** escuro	***	0,3	**
** escuro	**** escura	***** escuro	***	0,2	**

Protótipo: Informe o FATOR de UTILIZAÇÃO conforme a TABELA ACIMA:

Usuário: 0,5

Protótipo:

TIPO DE LÂMPADA	* POTENCIA(W)	* LÚMENS	* VIDA MEDIA	* APLICAÇÃO
Fluorescente compacta	9	400	8000h	interna / Escritórios
Fluorescente compacta	20	1200	8000h	interna / Escritórios
Led	6	460	30000h	interna / Escritórios
Led	10	580	30000h	interna / Escritórios
Vapor de Sódio AP	50	3000	18000h	externa / Pátios
Vapor de Sódio AP	150	12500	18000h	externa / Pátios

Mista	160	5500	6000h	externa / Jardins
Mista	300	13500	6000h	externa / Jardins
Multivapor Metálico	150	12000	15000h	externa / Pátios
Multivapor Metálico	400	31500	15000h	externa / Pátios

Protótipo: Informe a quantidade de emissão de lúmens da lâmpada desejada:

Usuário: 580

O protótipo finaliza a inferência e gera arquivos: O protótipo neste momento interrompe os questionamentos e finaliza o processo de inferência, estabelecendo as recomendações necessárias, as conclusões e gerando dois arquivos de saída específicos.

Novamente, alguns trechos do arquivo Saida1 gerado nesse caso são apresentados e discutidos, com os trechos do arquivo destacados em itálico. O protótipo SE informa que iluminação é considerada uma UTILIDADE SECUNDÁRIA. *“A utilidade 'Iluminação' é considerada 'Utilidade Secundária', uma vez que é obtida através de utilização de outra Utilidade como insumo.”*

O usuário informa que a planta não dispõe de sistema de medição de utilidades, contudo possui um departamento especializado em eficiência energética. Por não dispor de sistema de medição, a recomendação apresentada pelo protótipo foi: *“A empresa não dispõe de sistema de medição para utilidades - O monitoramento e verificação das utilidades na indústria têm como objetivo o estudo dos fluxos energéticos, com o propósito de racionalizar o uso da energia elétrica, água, combustíveis, e reduzir seus custos. Sua implantação é considerada uma das ações de eficiência energética e busca a obtenção do menor índice de custo em relação à utilidade utilizada em um processo”*. Além disso, o protótipo SE também alerta: *“ATENÇÃO: A implantação do sistema de monitoramento e verificação é considerada uma das principais ações de eficiência energética e busca a obtenção do menor índice de custo em relação à utilidade utilizada em um processo. ***** Quem não mede, não controla, não gerencia e não melhora qualquer variável ou resultado *****”*.

O usuário também informa não fazer uso de luz natural (solar) em aplicações de iluminação na planta, ao que o protótipo recomenda. *“ILUMINAÇÃO NATURAL: a utilização da luz natural em substituição à luz artificial em edificações, especialmente no período diurno, tem a possibilidade de produzir uma contribuição extremamente significativa para a redução do consumo de energia elétrica, além da melhoria do conforto visual e bem-estar dos usuários. A presença da luz natural garante uma maior sensação de bem-estar e relacionamento com o ambiente no qual estamos inseridos, com variabilidade e qualidade mais agradável do que a luz do ambiente proporcionado pela iluminação artificial,*

melhorando em até 40% a desempenho e o bem-estar de quem trabalha no local. A iluminação natural industrial disponibiliza para os funcionários o contato visual com o mundo exterior e permitem também o relaxamento do sistema visual por causa da mudança das distâncias focais. A utilização da iluminação natural na indústria vem aumentando em virtude da utilização de materiais para conforto térmico mais eficiente, que contribuem com a transmissão completa do coeficiente de cor ao ambiente, conforto térmico, eliminação da pontualidade solar e integração com o sistema elétrico, proporcionando uma economia substancial no gasto de energia e no custo fixo das edificações. Um bom exemplo de novos materiais se destacam os domos industriais, que conseguem distribuir a iluminação natural de uma maneira muito mais eficiente do que os materiais como o vidro, o policarbonato ou a fibra de vidro. Dependendo do projeto de iluminação natural industrial, os domos têm a capacidade de iluminar prédios de qualquer dimensão e fim. Os custos iniciais de instalação dos equipamentos podem ser recuperados em até doze meses depois que é feita a iluminação natural industrial, deixando o usuário bem menos dependente das distribuidoras de energia e de suas alterações de custos, especialmente em horários de pico de demanda.”

Neste caso 3 também foi selecionado o caminho projeto. Assim sendo, o usuário informa os requisitos, a partir do quais o protótipo dimensiona a iluminação para uma área a ser estabelecida: “**PROJETO DE ILUMINAÇÃO ESTABELECIDO PARA CÁLCULO:**”; “*** **FLUXO LUMINOSO TOTAL CALCULADO é de 527472 lumens**”; “*** **ÁREA ILUMINADA é de 300 m²**”; “*** **NÍVEL DE ILUMINAÇÃO é de 800 lux de nível de iluminação para o tipo de local**”; “*** **FATOR DE DEPRECIÇÃO de 0,91**”; “*** **FATOR DE UTILIZAÇÃO de 0,5**” e chega a uma solução: “*Dessa forma, 909 lâmpadas foram calculadas, de acordo com a opção de fluxo luminoso de 580 estabelecidos por lâmpada.*”

Os cálculos do projeto de iluminação (fluxo luminoso, nível de iluminação e número de lâmpadas) são efetuados conforme norma ABNT NBR 8995-1.

Por fim o protótipo SE fornece uma serie de recomendações gerais para a utilidade selecionada, a exemplo: “**ILUMINAÇÃO I: O sistema de iluminação de um local de trabalho deve proporcionar: luz uniforme sobre todos os planos de trabalho; luz suficientemente difusa, bem dirigida e distribuída, para evitar sombras e contrastes nocivos; iluminação adequada, sem ofuscamento direto ou refletido; reprodução de cor compatível com a natureza do trabalho**”.

5.4 DISCUSSÃO

As soluções encontradas e recomendações efetuadas pelo protótipo SE nos três casos apresentados são compatíveis às soluções e recomendações apresentadas nos relatórios elaborados pelos especialistas. A base de conhecimento do sistema foi construída a partir da experiência de especialistas multidisciplinares da área de eficiência energética industrial e posteriormente validada por estes especialistas em sessões específicas de verificação e validação para esse fim, conforme descrito na seção 4.4. Dessa forma, o protótipo SE é considerado validado pelos especialistas.

A técnica para reter o conhecimento dos especialistas, apresentada neste trabalho, demonstra potencial adequado para a gestão do conhecimento (GC) em um ambiente organizacional, uma vez que a capacidade de diagnosticar e recomendar oportunidades de eficiência energética não depende exclusivamente de especialistas humanos, mas está permanentemente disponível nos computadores da organização.

Além da capacidade solução, o protótipo SE também apresenta as justificativas que levam a esta solução pelo módulo de geração de explicações (MGE) implantado. Estas características tornam o protótipo SE uma forma muito poderosa e confiável para compor uma memória corporativa permanente. Esta é uma grande vantagem relacionada ao SE, uma vez que ele manipula o conhecimento explicitamente representado. Ao tornar o conhecimento humano explícito, o conhecimento passa a pertencer a toda a organização, não só para os especialistas.

Por outro lado, a maior desvantagem do protótipo SE é de não ser capaz de realizar a aprendizagem automática. Geralmente, a aprendizagem não é automática em sistemas especialistas, de modo que os novos conhecimentos devem ser representados de forma facilitar a expansão e a validação da base de conhecimento adicional (MATELLI; BAZZO; SILVA, 2009; SILVA et al., 2014; MATELLI, 2015).

O MGE proposto neste trabalho gera explicações completas e com um bom nível de profundidade. Os sistemas especialistas têm potencial para gerar explicações sofisticadas devido às relações de causa-efeito abrangido pelas heurísticas, podendo ser mais aprofundadas quanto maior conhecimento for adquirido. Neste trabalho, a aquisição de conhecimento foi limitada a um contexto de diagnóstico preliminar de eficiência energética, onde houve contato direto com os especialistas humanos e informações adicionais, de modo que foi possível adquirir mais conhecimento para gerar explicações em caráter preliminar. Contudo, a profundidade das explicações e da capacidade de explicar o seu raciocínio, o

protótipo SE é certamente um recurso valioso para a retenção de informações e evolução da aprendizagem num contexto GC.

É importante ressaltar que o protótipo SE aqui apresentado apresenta características que o tornam adequado num contexto GC: permite que os conhecimentos dos especialistas, gerados durante os processos organizacionais e anos de experiência, sejam compartilhados, assegurando a melhoria contínua dos processos; permite identificar e transformar o conhecimento dos especialistas em valor duradouro, possibilitando ações de compartilhamento e retenção; possibilita o exercício de reflexão dos usuários, por meio da revisão de processos da área de utilidades, facilitando a aplicação e o desenvolvimento do conhecimento dos especialistas na organização, de forma a criar valor e sustentar vantagens competitivas.

Uma vez implantado computacionalmente, o conhecimento do painel de especialistas sobre análise e recomendações de eficiência energética industrial passa a pertencer também à organização, compondo sua memória corporativa. Mesmo que os especialistas humanos não estejam disponíveis por qualquer motivo, a organização continua apta a realizar os diagnósticos preliminares, por meio de “não especialistas” devidamente treinados na ferramenta. A principal vantagem do SE capacitado com o MGE é a manipulação explícita de conhecimento, o que não só evidencia o caráter inteligente do protótipo como também registra suas explicações em arquivos independentes e possibilita rastrear o caminho das soluções propostas. Sendo assim, a tecnologia SE é apropriada como ferramenta de GC em ambientes organizacionais.

Outras características da tecnologia SE referenciadas por Giarratano e Riley (1998) que foram observadas no protótipo SE desenvolvido no presente trabalho são:

a) A experiência e o conhecimento são disponibilizados a todos da organização, não ficando concentrados apenas nos especialistas;

b) O custo de acesso ao conhecimento é significativamente reduzido devido à maior disponibilidade do conhecimento, o que frequentemente justifica financeiramente o investimento em um SE (cabe enfatizar que o custo de desenvolvimento do protótipo aqui apresentado foi muito baixo, pois grande parte do esforço de aquisição de conhecimento foi realizado em Buccieri, 2014);

c) A preservação do conhecimento por tempo indeterminado, criando uma memória organizacional independente de especialistas humanos sujeitos à demissão, aposentadoria e problemas de saúde;

d) Os múltiplos pontos-de-vista, uma vez que o conhecimento de diversos especialistas compõe a base de conhecimento do SE, fazendo com que o nível intelectual do protótipo supere o de um único especialista;

e) Maior confiabilidade, pois seres humanos estão sujeitos a fatores que comprometem seu melhor julgamento, tais como cansaço, problemas de saúde e estresse;

f) A capacidade de explicação, porque um especialista humano pode estar cansado ou pode não ser capaz (ou simplesmente não querer) para fornecer explicações sobre uma proposta de solução;

g) Soluções rápidas, porque o protótipo SE fornece diagnóstico preliminar e recomendações de forma praticamente instantânea, que é mais rápido do que qualquer especialista humano;

h) A consistência e a imparcialidade são fornecidas pelos sistemas especialistas sob qualquer circunstância, desde que o julgamento especialista humano pode ser comprometido por preconceitos ou pressão de uma situação de emergência.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposta a aplicação de uma técnica de Inteligência Artificial denominada Sistema Especialista como ferramenta de Gestão de Conhecimento em ambientes organizacionais.

Para demonstrar a adequação deste escopo, foi desenvolvido um protótipo de um sistema especialista (SE), dotado de um módulo de geração de explicação (MGE), para avaliação e aplicação da eficiência energética em plantas industriais (diagnóstico preliminar), considerando as características fundamentais de operação e manutenção dessas plantas. O conhecimento exigido foi obtido a partir do conhecimento multidisciplinar de especialistas da área de eficiência energética industrial.

O processo de seleção dos especialistas passa necessariamente pela seleção de empresas de uma mesma região. A avaliação de oportunidades de eficiência energética pode ser complexa, devido a fatores culturais, econômicos, técnicos, mercadológicos e políticos, exigindo competências multidisciplinares para análise e integração de informações, que nem sempre estão disponíveis. Também é importante frisar que a formação do grupo de especialistas de uma mesma região, com experiências multidisciplinares, propicia a troca de experiências bem-sucedidas, a comparação de informações relevantes, oportunidades de aperfeiçoamento entre os especialistas do grupo e a transferência de conhecimento, além de atender aos requisitos de proximidade dos especialistas junto ao Engenheiro do Conhecimento, apresentado na fase de seleção de especialistas (seção 4.1.2).

A região do Vale do Paraíba foi escolhida devido à concentração de indústrias de grande porte, forte característica de desenvolvimento tecnológico, atuação do poder público relacionado às questões ambientais e o atendimento dos requisitos do projeto, que possibilitaram maior assertividade aos propósitos do trabalho. A seleção das empresas consistiu no estabelecimento dos seguintes critérios: plantas do setor industrial de grande porte, com características de infraestrutura similares, de diferentes ramos de atividade e experiência na aplicação de eficiência energética. A colaboração da alta gestão das empresas envolvidas também foi importante, devido a necessidade de disponibilização dos especialistas e da troca ágil de informações. Ao final do processo, sete empresas da região do Vale do Paraíba, de diferentes setores industriais foram selecionadas e participaram do trabalho: aeronáutico, automobilístico, equipamentos industriais, máquinas e equipamentos pesados, metalúrgico e químico.

Embora a capacidade de explicar processos de raciocínio utilizados para a resolução de problemas distinga o SE de outros sistemas de apoio à decisão, disponibilizar um MGE ajuda a promover uma análise crítica das decisões tomadas pelo SE. Em adição, o MGE é muito útil também na validação da base de conhecimento, permitindo detectar erros semânticos do sistema e monitorar detalhes do processo de inferência, o que pode levar a uma redução de tempo de desenvolvimento e maior probabilidade de aceitação do sistema, aumentando dessa forma sua confiabilidade e principalmente, sua credibilidade.

A implantação do MGE foi bem aceita pelos especialistas, uma vez que facilitou a validação das recomendações inferidas pelo sistema, que propiciou acompanhar o conjunto de explicações completas por meio dos relatórios de saída gerados pela ferramenta. A inclusão da funcionalidade de desenvolvimento de projetos para algumas utilidades foi outro ponto que surpreendeu os especialistas, uma vez que propicia maior abrangência e profundidade as recomendações sobre utilidades ao usuário.

De acordo com os especialistas, os relatórios de saída gerados pela ferramenta fornecem informações completas e com muita profundidade para uma visão de diagnóstico preliminar a que foi projetada. Este fato agradou muito aos especialistas uma vez que pode agregar valor do ponto de vista de avaliação empresarial por parte da gestão das empresas. A avaliação com visão mais administrativa pode se complementar a técnica, com base em uma análise detalhada do relatório fornecido pelo arquivo de Saída1. Isto pode propiciar além da identificação de pontos de redução de custos por meio de eliminação de penalidades contratuais, também aprimoramentos na manutenção devido à falta de visão da referida equipe ou mesmo pela dificuldade desta equipe em relatar com honestidade as falhas de suas áreas de atuação preocupados com possíveis sanções. Da mesma forma, pequenos investimentos em projeto, podem propiciar melhorias consideráveis em termos de redução de consumo e por consequência custos para a planta.

Estas possibilidades tornam-se evidentes a partir da leitura minuciosa e detalhada da grande quantidade de informações disponibilizadas pela ferramenta para cada utilidade em avaliação pelo usuário e de acordo com o potencial do avaliador para estabelecer julgamento coerente sobre a forma de atuação das áreas de gestão, operação e manutenção da empresa. Tais possibilidades podem inclusive gerar “planos de ação” apropriados em vários níveis da empresa, do administrativo ao operacional, possibilitando análise comportamental de seus colaboradores, além da possibilidade de aplicação de treinamentos específicos. Esta é sem dúvida uma importante contribuição do trabalho.

A inclusão de benefícios não energéticos para a avaliação de rentabilidade das empresas pode contribuir para viabilizar a aplicação de novos investimentos em eficiência energética na indústria. Alguns exemplos de benefícios não energéticos tratados nesse trabalho incluem: melhoria da iluminação por meio de aprimoramentos em manutenção, adequação dos sistemas, uso de luz natural e projeto; redução de ruído nos sistemas de ar comprimido por meio de aprimoramentos na área de manutenção e da aplicação de caça vazamentos; melhoria na qualidade do ar nos sistemas de ar condicionado por meio de aprimoramentos na área de manutenção e da utilização de ar externo.

A base de conhecimento do sistema foi construída e validada a partir da experiência de especialistas multidisciplinares da área de eficiência energética industrial, o que é certamente um recurso valioso para um contexto de gestão do conhecimento (GC) organizacional. Este conceito permite tornar o conhecimento dos especialistas em valor duradouro, compondo sua memória corporativa por meio de ações de compartilhamento e retenção, o que pode assegurar a melhoria contínua dos processos, de forma a criar valor e sustentar vantagens competitivas.

Os estudos de caso executados no protótipo demonstraram a capacidade de fornecer soluções completas e recomendações confiáveis, com um bom nível de profundidade. Também reflete a adequação do SE em um contexto de GC, especialmente no que diz respeito à criação de uma memória corporativa permanentemente disponível nos computadores da organização e independente da disponibilidade de especialistas humanos.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Aperfeiçoar o núcleo da base de conhecimento por meio da inclusão de orientação a objetos para representação do conhecimento com objetivo de facilitar a expansão do código computacional e a inclusão de novas utilidades.

Implantar funções de análise de viabilidade econômica (cálculo de taxa interna de retorno, valor presente líquido e tempo de retorno de investimento) para ampliar o campo de utilização da ferramenta.

Implantar módulo de aprendizagem automática para expansão da base de conhecimento do sistema relacionado à inserção de itens de eficiência energética (produtos, equipamentos, dispositivos, entre outros) com objetivo de comparação e melhorias.

REFERÊNCIAS

- ALI, B. A. A.; SALIT, M. S.; ZAINUDIN, E. Z.; OTHMAN, M. Integration of Artificial Neural Network and Expert System for Material Classification of Natural Fibre Reinforced Polymer Composites. **American Journal of Applied Sciences**, 2015. v. 12, n. 3, 174-184 p.
- ARAGÓN, C. S., PAMPLONA, E., MEDINA, J.R.V. Identificação de investimentos em eficiência energética e sua avaliação de risco. **Revista Gestão e Produção**, 2013. v. 20, n. 3, 525-536 p.
- BORRÀS, J.; MORENO, A.; VALLS, A. Intelligent tourism recommender systems: A survey. **Journal of Expert Systems with Applications**, 2014. v. 41. 7370–7389 p.
- BOYD, G. A.; DUTROW, E. B.; TUNNESSEN, W. B. The evolution of the ENERGY STAR® energy performance indicator for benchmarking industrial plant manufacturing energy use. **Journal of Cleaner Production**, 2008. v. 16, 709-715 p.
- BRAHAN, J. W.; LAM, K. P.; CHAN, H.; LEUNG, W. AICAMS: artificial intelligence crime analysis and management system. **Journal of Knowledge-Based Systems**, 1998. v. 11, 355–361 p.
- BUCCIARI, G. P. **Modelagem para identificação de indicadores de Eficiência Energética para edificações e plantas industriais**. 2014. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica - Transmissão e Conversão de Energia) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.
- BUNSE, K. A.; VODICKA, M. A.; SCHÖNSLEBEN, P. A.; BRÜLHART, M. B.; ERNST, F. O. B. Integrating energy efficiency performance in production management - gap analysis between industrial needs and scientific literature. **Journal of Cleaner Production**, 2011. v. 19 667-679.
- CASTELLANOS, V.; ALBITER, A.; HERNÁNDEZ, P.; BARRERA, G. Failure analysis expert system for onshore pipelines. Part – I: Structured database and knowledge acquisition. **Journal of Expert Systems with Applications**, 2011a. v. 38, n. 9, 11085–1109 p.
- CASTELLANOS, V.; ALBITER, A.; HERNÁNDEZ, P.; BARRERA, G. Failure analysis expert system for onshore pipelines. Part – II: End-User interface and algorithm. **Journal of Expert Systems with Applications**, 2011b. v. 38, n. 9, 11091–1110 p.
- CHANG, T. C.; CHUANG, S. H. Performance implications of knowledge management processes: Examining the roles of infrastructure capability and business strategy. **Journal of Expert Systems with Applications**, 2011. v. 38, n. 5, 6170–6178 p.
- CHEN, M. Y.; HUANG, M. J.; CHENG, Y. C. Measuring knowledge management performance using a competitive perspective: An empirical study. **Journal of Expert Systems with Applications**, 2009. v. 36, n. 4, 8449–8459 p.
- CLIPS 2015. **C-language integrated production system, v 6.30 beta**. Disponível em: <<http://clipsrules.sourceforge.net/>>. Acesso em: 17 março 2015.

CPFL Energia 2005. **Eficiência Energética: Manual para otimização do uso de energia elétrica na indústria / CPFL Energia**. Campinas, SP, 2005. 176 p.

CORSATTO, C. A.; HOFFMANN, W. A. M. Gestão do Conhecimento e Inteligência competitiva: delineamento de estratégias de competitividade e inovação para pequenas empresas. **Encontros Bibliográficos: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, 2013. v. 18, n. 38, p. 19-36.

D'IPPOLITO, B.; MIOZZO, M.; CONSOLI, D. Knowledge systematization, reconfiguration and the organization of firms and industry: The case of design. **Journal of Research Policy**, 2014. v. 43, 1334-1352 p.

DELINA, L. L. Coherence in energy efficiency governance. **Journal of Energy for Sustainable Development**, 2012. V.16, 493-499 p.

DIEDERICH, J. Explanation and artificial neural networks. **Academic Press Limited of German National Research Center for Computer Science**, 1992. v. 37, 335-355 p.

DHALIWAL, J. S.; TUNG, L. L. Using group support systems for developing a knowledge-based explanation facility. **International Journal of Information Management**, 2000. v. 20, 131-149 p.

DOUKASA, H.; PAPADOPOULOUA, A. G.; PSARRASA, J., RAGWITZB, M.; SCHLOMANNB, B. Sustainable reference methodology for energy end-use efficiency data in the EU. **Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2008. v. 12, 2159–2176 p.

ELETROBRAS 2016. <http://www.planejabrasil.com.br/images/Release%20Energia%203.pdf?preview=true&preview_id=1530&preview_nonce=602f584a66>. Acesso em 11 nov. 2016. (5º Seminário Nacional de Energia Renováveis e Eficiência Energética)

ELETROBRAS. **BEN - Balanço Energético Nacional**. 2017. <<http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/default.aspx?CategoriaID=347>>. Acesso em 07 dez. 2017.

ELETROBRAS. **Procel**. 2017. <http://eletrobras.com/pt/Paginas/Procel.aspx> Acesso em 06 dez. 2017.

GAJZLER, M. Knowledge modeling in construction of technical management system for large warehousing facilities. **Journal of Procedia Engineering**, 2015. v. 122, 181–190 p.

GARCIA, A. J.; CHESÑEVAR, C. I.; ROTSTEIN, N. D.; SIMARI, G. R. Formalizing dialectical explanation support for argument-based reasoning in knowledge-based systems. **Journal of Expert Systems with Applications**, 2013. v. 40, 3233–3247 p.

GEDIKLIA, F.; JANNACH, D.; GEB, M. How should I explain? A comparison of different explanation types for recommender systems. **Journal of Human-Computer Studies**, 2014. v. 72, 367-382 p.

GIARRATANO, J. C.; RILEY, G. **Expert Systems: Principles and Programming** 3rd ed. Boston: PWS Publishing Company, 1998. 595 p.

GOUD, R.; HASMAN, A.; PEEK, N. Development of a guideline-based decision support system with explanation facilities for outpatient therapy. **Journal of Computer Methods and Programs in Biomedicine**, 2008. v. 91, 145–153 p.

GUERRERO, J. I.; LEÓN, C.; MONEDERO, I.; BISCARRI, F.; BISCARRI, J. Improving Knowledge-Based Systems with statistical techniques, text neural networks for non-technical loss detection. **Journal of Knowledge-Based Systems**, 2014. v.71, 376-388 p.

HAKIMA, S. A.; OPPACHER, F. Improving explanations in knowledge-based systems: Rationale. **Journal of Knowledge Acquisition**, 1990. v. 2, 301-343 p.

HENRIQUES, J.; CATARINO, J. Motivating towards energy efficiency in small and medium enterprises. **Journal of Cleaner Production**, 2016. v. 139, 42-50 p.

HORRIDGE, M.; BAIL, S.; PARSIA, B.; SATTLER, U. Toward cognitive support for OWL justifications. **Journal of Knowledge-Based Systems**, 2013. v. 53, 66–79 p.

HROVATIN, N.; DOLSAK, N.; ZORIC, J. Factors impacting investments in energy efficiency and clean technologies: empirical evidence from Slovenian manufacturing firms. **Journal of Cleaner Production**, 2016. v.127, 475-486 p.

JOVANOVI, B.; FILIPOVI, J. ISO 50001 standard-based energy management maturity model - proposal and validation in industry. **Journal of Cleaner Production**, 2016. v. 112, 2744-2755 p.

KAHNEMAN, D. **Thinking, fast and slow** 1st ed. Farrar, Straus and Giroux 18 West 18th Street, New York 10011, 2011. 533p.

KANG, D.; HEE LEE, D. H. Energy and environment efficiency of industry and its productivity effect. **Journal of Cleaner Production**, 2016. v. 135, 188-193 p.

KIRIS, S.; YÜZÜGÜLLÜ, N.; ERGÜN, N.; ÇEVİK, A. A. A knowledge-based scheduling system for Emergency Departments. **Journal of Knowledge-Based Systems**, 2010. v. 23, 890–900 p.

LACAVE, C.; ONIS´KO, A.; DI´EZ, F. J. Use of Elvira’s explanation facility for debugging probabilistic expert systems. **Journal of Knowledge-Based Systems**, 2006. v. 19, 730–738 p.

LENDEL, V.; VARMUS, M. The Expert System as a Proposal for Creating Innovative Strategy. **Journal of Competitiveness**, 2010. 47-57 p.

LI, Y.; TARAFDAR, M.; RAO, S. S. Collaborative knowledge management practices: Theoretical development and empirical analysis. **International Journal of Operations and Production Management**, 2012. v. 32, n. 4, 398-422 p.

MATELLI, J. A. **Sistemas baseados em conhecimento para projeto de plantas de cogeração a gás natural**. 2008. 133f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MATELLI, J. A.; BAZZO, E.; SILVA, J. C. An expert system prototype for designing natural gas cogeneration plants. **Journal of Expert Systems with Applications**, 2009. v. 36, n. 4, 8375–8384 p.

MATELLI, J. A. Conceptual design of biomass-fired cogeneration plant through a knowledge-based system. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, 2015. v. 38, n. 2, 535–549 p.

MORADI, M.; AGHAIE, A.; HOSSEINI, M. Knowledge-collector agents: Applying intelligent agents in marketing decisions with knowledge management approach. **Journal of Knowledge-Based Systems**, 2013. v. 52, 181–193 p.

MURA, M.; LETTIERI, E.; RADAELLI, G.; SPILLER, N. Behavioural operations in healthcare. A knowledge sharing perspective. **International Journal of Operations and Production Management**, 2016. v. 36, n. 10, 1222-1246 p.

MWASHA, A.; WILLIAMS, G.; IWARO, J. Modeling the performance of residential building envelope: the role of sustainable energy performance indicators. **Journal of Energy and Buildings**, 2011. v. 43, 2108-2117 p.

NEHLER, T.; RASMUSSEN, J. How do firms consider non-energy benefits? Empirical findings on energy-efficiency investments in Swedish industry. **Journal of Cleaner Production**, 2016. v. 113, 472-482 p.

PALAZZO, L. A. M. **Modelagem Conceitual Orientada a Objetos**. 2002. 15f. Universidade Católica de Pelotas, Pelotas, RS. 2002.

PARAMONOVA, S.; THOLLANDER, P.; OTTOSSON, M. 2015 - Quantifying the extended energy efficiency gap-evidence from Swedish electricity-intensive industries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2015. v. 51, 472-483p.

PATIL, S. K.; KANT, R. A fuzzy AHP-TOPSIS framework for ranking the solutions of Knowledge Management adoption in Supply Chain to overcome its barriers. **Journal of Expert Systems with Applications**, 2014. v. 41, n. 2, 679–693 p.

PATLITZIANAS, K. D.; DOUKAS H.; KAGIANNAS, A. G.; PSARRAS, J. Sustainable energy policy indicators: Review and recommendations. **Journal of Renewable Energy**, 2008. v. 33, 966–973 p.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R; ABREU, S. L.; RÜTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar – São José dos Campos : INPE, 2006. il. 60p**. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf>. Acesso em 06 nov. 2017.

PETEK, J.; GLAVIC, P.; KOSTEVEK, A. Comprehensive approach to increase energy efficiency based on versatile industrial practices. **Journal of Cleaner Production**, 2016. v. 112, 2813-2821 p.

QUINTANS, M. L. A. **Um estudo exploratório sobre o conhecimento e utilização de técnicas de elicitação de requisitos em empresas de software**. 2009. 174f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Faculdade de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba, SP, 2009.

RATHORE, A. S.; CHOPDA, V. R.; GOMES, J. Knowledge management in a waste based biorefinery in the QbD paradigm. **Journal of Bioresource Technology**, 2016. v. 215, 63–75 p.

RISSOLI, V. R. V.; FABRI, J. A.; CAMARGO, H. A. **Inteligência artificial e os sistemas especialistas**, 1999. 33f. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 1999.

ROY, M.; KHASTAGIR, D. Exploring role of green management in enhancing organizational efficiency in petro-chemical industry in India. **Journal of Cleaner Production**, 2016. v. 121, 109-115 p.

SANTOS, I. G.; SOUZA, R. V. G. Revisão de Regulamentações em Eficiência Energética: Uma Atualização das Últimas Décadas. **FÓRUM - Cadernos de Trabalho – Edição Especial**, 2012.

SCHULZE, M.; HEIDENREICH, S. Linking energy-related strategic flexibility and energy efficiency - The mediating role of management control systems choice. **Journal of Cleaner Production**, 2016. 1-10 p.

SCHULZE, M.; NEHLER, H.; OTTOSSON, M.; THOLLANDER, P. Energy management in industry - a systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework. **Journal of Cleaner Production**, 2016. v. 112, 3692-3708 p.

SIEMIENIUCH, C. E.; SINCLAIR, M. A. CLEVER: a process framework for knowledge lifecycle management. **International Journal of Operations and Production Management**, 2004. v. 24, n. 11, 1104-1125 p.

SILVA, J. C.; MATELLI, J. A.; BAZZO, E. Development of a knowledge-based system for cogeneration plant design: Verification, validation and lessons learned. **Journal of Knowledge-Based Systems**, 2014. v. 67, 230-243 p.

SUAREZ, A. L.; KAMEL, M. DyKOR: a method for generating the content of explanations in knowledge systems. **Journal of knowledge-Based Systems**, 1994. v. 7, n. 3 September 1994.

SWINNEY, L. The Explanation Facility and the Explanation Effect. **Journal of expert Systems with Applications**, 1995. v. 9, n. 4, 557-567 p.

TRONCHIN, L. A.; FABBRI, K. B. Energy Performance Certificate of building and confidence interval in assessment: An Italian case study. **Journal of Energy Policy**, 2012. v. 48, 176–184 p.

VIANA, F. L. E.; BEZERRA, F. D. **Informe Setorial Indústria e Serviços – Panorama da Infraestrutura Energética do Brasil e do Nordeste.** Dez. 2009. <http://www.bnb.gov.br/documents/88765/89729/iis_infraestrutura_energetica.pdf/ad31ad86-7782-4260-af96-1244a628bf33>. Acesso em 16 nov. 2016.

XU, Y.; BERNARD, A. A quantitative model on knowledge management for team cooperation. **Journal of Knowledge-Based Systems**, 2013. v. 45, 41–46 p.

WICK, M. R.; THOMPSON, W. B. Reconstructive expert system explanation. **Journal of artificial intelligence**, 1992. v. 54, 33-70 p.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

CLIPS Version 6.30 - Reference Manual Volume I - The Basic Programming Guide, 2015. 410 p.

CLIPS Version 6.30 - Reference Manual - Volume II - The Advanced Programming Guide, 2015. 253p.

CLIPS Version 6.30 - User's Guide, 2015. 154p.

MARINO, N. M. R. **Diretrizes para apresentação de trabalhos acadêmicos da FEG/UNESP**. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. STBD – Guaratinguetá: [s.n.], 2016. 96 p.

APÊNDICE A – LISTA DE VALIDAÇÃO INICIAL (PARCIAL)

Lista de validação do protótipo SE (INICIAL)

Nome: _____

Data: 03/05/2017

Neste documento são apresentadas uma lista de recomendações inseridas no protótipo SE, que se referem aos dados que o sistema deverá reproduzir (saída) de acordo com as situações de entrada informadas pelo usuário, as quais devem ser validadas pelos especialistas.

Arquivo de requisitos

*** TELA DE ABERTURA E REGRA DE CONTROLE ***

*** As Utilidades Industriais representam uma parcela importante dos custos operacionais de uma empresa, portanto a preocupação com esses itens é vital para a competitividade do negócio. Podemos destacar a Água, a Energia Elétrica e o Gás Natural como insumos/ utilidades primárias, o Ar Comprimido, a Iluminação e a Refrigeração, entre outras, como utilidades secundárias.

Arquivo de explicações

A Eficiência Energética é uma dimensão da Preservação do Meio Ambiente e, portanto um legado para as futuras gerações que utilizam o Planeta Terra.

*** ETAPA DE EXPLICAÇÕES ***

O consumo da energia elétrica na indústria representa um dos custos mais elevados para o processo produtivo, dessa forma, o uso adequado e eficiente dessa energia deve fazer parte de seu planejamento estratégico. Em especial sendo esta Energia Elétrica, o único insumo energético da planta, fato que requer atenção especial.

O consumo da energia elétrica na indústria representa um dos custos mais elevados para o processo produtivo, dessa forma, o uso adequado e eficiente dessa energia deve fazer parte de seu planejamento estratégico. Em especial sendo esta Energia Elétrica, o único insumo energético da planta, fato que requer atenção especial.

A empresa que trabalha com mais de um tipo de UTILIDADE para seu funcionamento, requer especial atenção na gestão apropriada desses recursos, que inicia desde questões contratuais, passando por medição específica e controles de consumo, até a aplicação da eficiência energética.

A utilização de mais de um tipo de UTILIDADE na indústria requer especial atenção na gestão apropriada desses recursos, que inicia desde questões contratuais, passando por medição

Lista de validação do protótipo SE

específica e controles de consumo, até a aplicação da eficiência energética. (Fonte: CPFL Energia).

*** A empresa dispõe de um sistema de medição para utilidades ***

A empresa dispõe de sistema de medição para utilidades - O monitoramento e verificação das utilidades na indústria tem como objetivo o estudo dos fluxos energéticos, com o propósito de racionalizar o uso da energia elétrica, água e combustíveis, e reduzir seus custos. Sua implantação é considerada uma das ações de eficiência energética e busca a obtenção do menor índice de custo em relação à utilidade utilizada em um processo.

*** A empresa não dispõe de um sistema de medição para utilidades ***

A empresa não dispõe de sistema de medição para utilidades - O monitoramento e verificação das utilidades na indústria tem como objetivo o estudo dos fluxos energéticos, com o propósito de racionalizar o uso da energia elétrica, água e combustíveis, e reduzir seus custos. Sua implantação é considerada uma das ações de eficiência energética e busca a obtenção do menor índice de custo em relação à utilidade utilizada em um processo.

ATENÇÃO: A implantação do sistema de monitoramento e verificação é considerado uma das principais ações de eficiência energética e busca a obtenção do menor índice de custo em relação à utilidade utilizada em um processo. ***** Quem mede controla ***** Quem controla gerencia ***** Quem não mede não gerencia *****

quem não mede, não controla, não gerencia e não melhora qualquer variável ou resultado.

*** A empresa tem um Departamento Especializado em Eficiência Energética ***

A empresa dispõe de um Departamento Especializado em Eficiência Energética - O gerenciamento da eficiência energética na indústria tem por objetivo a visualização de forma macro do consumo dos energéticos de todas as áreas responsáveis pelo funcionamento produtivo da planta, proporcionando: Integrar os vários setores de consumo na indústria; Apontar, através da coleta de dados de medição e verificação, os setores responsáveis pelo maior consumo de energia na planta, propondo ações de controle e eliminação dos desperdícios de consumo; Identificar as principais áreas de desperdícios de energia; Mostrar a importância do planejamento estratégico de produção como ferramenta de redução do desperdício e melhor aproveitamento dos energéticos; Propor ações de combate as perdas e ao desperdício; Mostrar economia alcançada após a implementação das ações.

*** A empresa não tem um Departamento Especializado em Eficiência Energética ***

Lista de validação do protótipo SE

A empresa não dispõe de um Departamento Especializado em Eficiência Energética - O gerenciamento da eficiência energética na indústria tem por objetivo a visualização de forma macro do consumo dos energéticos de todas as áreas responsáveis pelo funcionamento produtivo da planta, proporcionando: Integrar os vários setores de consumo na indústria; Apontar, através da coleta de dados de medição e verificação, os setores responsáveis pelo maior consumo de energia na planta, propondo ações de controle e eliminação dos desperdícios de consumo; Identificar as principais áreas de desperdícios de energia; Mostrar a importância do planejamento estratégico de produção como ferramenta de redução do desperdício e melhor aproveitamento dos energéticos; Propor ações de combate as perdas e ao desperdício; Mostrar economia alcançada após a implementação das ações.

*** FASE DE EXPLICAÇÕES ELETRICAS CONTRATUAIS ***

- > Atenção: a empresa está pagando PENALIDADE TÉCNICA devido a necessidade de correção do fator de potência!
- > A empresa está livre de PENALIDADES TÉCNICAS por correção do fator de potência.
- > A empresa não está pagando penalidades por ULTRAPASSAGEM de DEMANDA.
- > Atenção: A empresa está pagando PENALIDADE por ULTRAPASSAGEM de DEMANDA, necessário calcular a DEMANDA requerida e ajustar o contrato junto a concessionária.

As Tarifas aplicadas aos consumidores do Grupo A são intituladas como <Tarifa Binômia>, ou seja, são cobrados pelo Consumo e pela Demanda, podendo ser: Tarifa convencional, Horosazonal verde ou Horosazonal azul (compulsória para subgrupos A1, A2 e A3), dependendo da Tensão de entrada.

As Tarifas aplicadas aos consumidores do Grupo B são intituladas como <Tarifa Binômia>, ou seja, são cobrados apenas o Consumo. Não há diferenciação entre o horário do dia ou da estação do ano.

*** FASE DE EXPLICAÇÕES - AGUA ***

A água potável, ou mesmo água doce disponível na natureza, é bastante restrita. Cerca de 97,61% da água total do planeta é proveniente das águas dos oceanos; Calotas polares e geleiras representam 2,08%, água subterrânea 0,29%, água doce de lagos 0,009%, água salgada de lagos 0,008%, água misturada no solo 0,005%, rios 0,00009% e vapor d'água na atmosfera 0,0009%. (Fonte: ?)

A água, em condições normais de temperatura e pressão, predomina em estado líquido e aparentemente é incolor, inodora e insípida e indispensável a toda e qualquer forma de vida. Nessa perspectiva, a ONU (Organização das Nações Unidas) divulgou uma nota com uma previsão de que até 2050, aproximadamente 45% da população não terá a quantidade mínima de água. (para auto-consumo? indústria, cocção e banho?)
(somente água potável?)

Lista de validação do protótipo SE

Possibilidades de Desperdício: Vazamentos em equipamentos (torneiras, chuveiros, vasos sanitários e equipamentos diversos); Vazamentos da rede de distribuição (Tubulações, reservatórios, boias e conexões); desregularem em torneiras, válvulas de descarga dos vasos sanitários e acionadores; Bombeamento (Equipamento, Altura manométrica, Vazão requerida, Tubulação, Velocidade); Falta de treinamento de funcionários (Rotina desajustada: Lavar locais em excesso, Equipamentos inadequados. (Fonte: CPFL Energia). *CPFL falando sobre água?!*

ATENÇÃO: O Consumo de água é maior ou igual ao Contrato. Esta situação requer atenção sob dois pontos de vista: O Contratual, pois poderá acarretar em despesas adicionais ao planejado; Técnico-ambiental: O Consumo acima do previsto pode evidenciar possibilidade de desperdício ou vazamento. Em ambos os casos a situação requer providencias imediatas de ajuste envolvendo as áreas de manutenção e controle. A boa prática enfatiza que o volume de água contratado deve estar entre 5 a 8% acima do volume consumido.

*** FASE DE EXPLICAÇÕES - GAS NATURAL E GLP ***

O gás natural é uma fonte de energia segura, versátil e econômica. Sua queima produz baixa emissão de poluentes, graças a uma combustão mais limpa e eficiente. A utilização de gás natural na indústria vem proporcionando benefícios significativos para o meio ambiente, além de diminuir o custo operacional com manutenção de máquinas, transporte e armazenamento de combustível. O gás natural proporciona a otimização do uso de matérias-primas e consequentemente melhora nos processos de produção; aumenta a segurança, a eficiência dos equipamentos e a qualidade do produto final. (FONTE: Comgas).

Se for possível listar uma fonte consumidora e não fornecedora, melhor!

Os benefícios do uso do gás natural estão sendo percebidos por um número cada vez maior de indústrias: em 2006, a Comgas conta com quase 1000 clientes industriais no estado de São Paulo. Para atender a este mercado, a Comgas dispõe de uma equipe especializada na orientação quanto à conversão dos equipamentos e construção da rede interna de gás. (Fonte: Comgas). *→ Este trecho parece "marketing"*

ATENÇÃO: O Consumo de gás natural é maior ou igual ao Contrato? Esta situação requer atenção sob dois pontos de vista: O Contratual, pois poderá acarretar em despesas adicionais ao planejado; Técnico-ambiental: O Consumo acima do previsto pode evidenciar possibilidade de desperdício ou vazamento. Em ambos os casos a situação requer providencias imediatas de ajuste envolvendo as áreas de manutenção e controle. A boa pratica enfatiza que o volume de gás natural contratado deve estar ^{entre 3 a 5%} entre 3 a 5% acima do volume consumido.

*** FASE DE EXPLICAÇÕES - AQUECIMENTO DE AGUA ***

AQUECIMENTO DE AGUA: Existem basicamente dois sistemas de aquecimento de água: o de passagem e o de acumulação; cada um deles pode ser alimentado por gás, energia elétrica, energia solar, entre outras opções, como lenha. Não há um melhor, mas sim produtos diferentes

entre outras opções diferentes

Lista de validação do protótipo SE

que podem suprir as necessidades específicas de cada indústria, com variações razoáveis acerca de consumo, capacidade, dimensões e praticidade, entre outras variáveis. Contudo, deve-se evitar ao máximo uso de energia elétrica como insumo para aquecimento e utilizar preferência ao gás natural e/ou aquecimento solar.

ASPECTOS IMPORTANTES PARA REDUÇÃO DE CONSUMO NO SISTEMA DE AQUECIMENTO DE AGUA: Três aspectos principais devem ser visados: reduzir a temperatura de água quente utilizada; reduzir o consumo de água quente; reduzir perdas (as perdas nos sistemas de aquecimento podem ocorrer por vazamento de água ou por falta de isolamento térmico apropriado dos aquecedores e tubulações).

REDUÇÃO DE PERDAS: Eliminação de vazamentos nas conexões, torneiras e registros; Cuidados na determinação de necessidades: Estudar possibilidade de concentrar atividades de uso de água quente, de modo permitir o desligamento temporário do sistema, retirando de funcionamento nos horários de ^{energia elétrica} demanda mais cara; Redução de temperatura ao máximo possível, ~~quanto maior a temperatura~~, mais difícil mantê-la sem custo; Melhorias no plano de manutenção preventiva: Aumento da rotina de limpeza de detritos sólidos que diminuem o rendimento do sistema ~~no processo~~ de transferência de calor.

ALTERNATIVAS ADICIONAIS PARA REDUÇÃO: O consumo de água quente para lavagem pode ser reduzido através do uso de produtos de limpeza que a dispensam ou utilizem-na levemente aquecida. A utilização de tanques permitindo a lavagem simultânea de várias peças na água quente, com posterior enxágue em água fria, também pode resultar em diminuição da quantidade de água quente utilizada.

CAÇA VAZAMENTO: A solução para eliminar perdas de vazamento é implementar um processo eficiente e bem estruturado de localização, identificação, registro e solução dos vazamentos. Para alcançar o melhor resultado no caça vazamento, é primordial estabelecer rotina de verificação anual, e se possível segregar os circuitos de circulação de água através de registros devidamente identificados. Importante programar as atividades de caça vazamentos em períodos de parada de produção, uma vez que os acessos a locais específicos ficam menos restritivos. O ~~treinamento~~ ^{treinamento} constante das equipes operacionais também é muito importante, uma vez que ~~devem ser rapidamente comunicado e registrado~~, ^{quando de identificação de vazamentos} quando de identificação de vazamentos.

MELHORIAS NO PROJETO: Possibilidade de evitar uso de água quente (22C máximo para lavatórios, outros); Sistemas independentes para temperaturas críticas; Possibilidade de instalar redutores de fluxo de água para torneiras; Concentração do uso nas necessidades de água quente (Lava loucas); Isolamento térmico em tubulações, acessórios e reservatórios; Programa de conscientização dos usuários.

Lista de validação do protótipo SE

MELHORIAS POR LAYOUT: Em alguns casos, é possível que se mostre interessante descentralizar o aquecimento mantendo-se vários aquecedores localizados estrategicamente o mais próximo possível dos pontos de consumo, ou ainda modificar os pontos finais de uso da água aquecida, de modo a agrupá-los mais perto dos aquecedores existentes. Para evitar o uso desnecessário, por comodidade ou simplesmente conforto, a tubulação de água quente deve ser estendida e ficar disponível apenas nos pontos em que for absolutamente necessária.

MELHORIAS NA MANUTENÇÃO: Implantar sistema periódico de CAÇA VAZAMENTO em toda linha (inspeção completa da rede duas vezes por ano, incluindo válvulas de controle); calibrar e efetuar manutenção preventiva em equipamentos de medição e controle, além de dispositivos de consumo; Verificação constante dos sistemas de isolamento térmico das redes de distribuição.

*** FASE DE EXPLICAÇÕES - AR COMPRIMIDO ***

AR COMPRIMIDO: O ar comprimido é uma das mais antigas formas de transmissão de energia conhecidas pelo homem, sendo utilizada em quase todos os ramos de atividade industrial. Suas instalações apresentam grandes oportunidades relativas a economia de energia que vão desde um projeto adequado, forma correta de operação, até um programa eficiente de manutenção.

COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS COM AR COMPRIMIDO: Em um ciclo de vida de 5 anos, seu custo pode ter uma divisão como segue: 12% (Aquisição de equipamentos), 9% (Manutenção do equipamento de geração), 2% (Custo de instalação) e 77% (Custo de energia elétrica).

REDUÇÃO DE PERDAS: O esforço para reduzir as perdas de ar comprimido é recompensado financeiramente em poucos meses. O vazamento de ar é a perda mais óbvia e frequente nas empresas.

PERDA POR VAZAMENTO DE AR: É natural e economicamente compreensível que uma empresa tenha entre 5 e 10% de sua geração de ar comprimido sendo perdido em vazamentos, considerando que o custo de reparação e caça vazamento para manter níveis inferiores a este são até mais elevados que o próprio gasto com energia elétrica. Os vazamentos de ar comprimido podem ocorrer devido a inúmeros fatores, dentre eles, problema de qualidade no material pneumático, desgaste natural de componentes pelo uso ou pelo tempo de vida e ainda o relaxamento por vibração de aperto de conexões e juntas de vedação.

CAÇA VAZAMENTO: A solução para eliminar perdas de vazamento é implementar um processo eficiente e bem estruturado de localização, identificação, registro e solução dos vazamentos. Para alcançar o melhor resultado no caça vazamento, é primordial o uso de uma ferramenta adequada que capte as frequências de ultrassom emitidas, afinal a cada 100 vazamentos de ar

APÊNDICE B – Lista de VALIDAÇÃO VERSÃO 1 (PARCIAL)

Lista de validação do protótipo SE (versão 1)

Nome: _____

Data: 22,06,2017

Neste documento é apresentado um resumo dos conhecimentos adquiridos de especialistas da área de eficiência energética industrial a serem inseridos no protótipo SE, que se referem aos dados e recomendações que o sistema deverá produzir (saida) de acordo com as condições de entrada informadas pelo usuário, as quais foram validadas por especialistas da área.

Arquivo de requisitos

*** TELA DE ABERTURA E REGRA DE CONTROLE ***

*** As UTILIDADES INDUSTRIAIS representam uma parcela importante dos custos operacionais de uma empresa, portanto a preocupação com esses itens é vital para a competitividade do negócio. Neste trabalho são destacadas Água, Energia Elétrica e Gás Natural como insumos/ utilidades primárias, e Aquecimento, ^{de Água} Ar Comprimido, Ar Condicionado e Iluminação, como utilidades secundárias. ***

Arquivo de explicações

Eficiência Energética é uma dimensão da Preservação do Meio Ambiente e, portanto, um legado para as futuras gerações que utilizam o Planeta Terra.

*** ETAPA DE EXPLICAÇÕES ***

O consumo da energia elétrica na indústria representa um dos custos mais elevados para o processo produtivo, dessa forma, o uso adequado e eficiente dessa energia deve fazer parte de seu planejamento estratégico. Se esta utilidade primária for o único insumo energético da planta, requererá atenção especial.

A empresa que trabalha com mais de um tipo de UTILIDADE PRIMÁRIA para seu funcionamento requer especial atenção na gestão apropriada desses recursos, desde questões contratuais, medição específica e controles de consumo, até a aplicação de ações de eficiência energética.

Lista de validação do protótipo SE (versão 1)

A utilização de mais de um tipo de UTILIDADE PRIMÁRIA na indústria requer especial atenção na gestão apropriada desses recursos, desde questões contratuais, medição específica e controles de consumo, até a aplicação de ações de eficiência energética.

*** A empresa dispõe de um sistema de medição para utilidades ***

A empresa dispõe de sistema de medição para utilidades - O monitoramento e verificação das utilidades na indústria têm como objetivo o estudo dos fluxos energéticos, com o propósito de racionalizar o uso da energia elétrica, água, combustíveis, e reduzir seus custos. Sua implantação é considerada uma das ações de eficiência energética e busca a obtenção do menor índice de custo em relação à utilidade utilizada em um processo.

*** A empresa não dispõe de um sistema de medição para utilidades ***

A empresa não dispõe de sistema de medição para utilidades - O monitoramento e verificação das utilidades na indústria têm como objetivo o estudo dos fluxos energéticos, com o propósito de racionalizar o uso da energia elétrica, água, combustíveis, e reduzir seus custos. Sua implantação é considerada uma das ações de eficiência energética e busca a obtenção do menor índice de custo em relação à utilidade utilizada em um processo.

ATENÇÃO: A implantação do sistema de monitoramento e verificação é considerada uma das principais ações de eficiência energética e busca a obtenção do menor índice de custo em relação à utilidade utilizada em um processo. ***** Quem não mede, não controla, não gerencia e não melhora qualquer variável ou resultado. *****

*** A empresa dispõe de um Departamento Especializado em Eficiência Energética ***

A empresa dispõe de um Departamento Especializado em Eficiência Energética - O gerenciamento da eficiência energética na indústria tem por objetivo a visualização de forma macro do consumo dos energéticos de todas as áreas responsáveis pelo funcionamento produtivo da planta, proporcionando: integrar os vários setores de consumo na indústria; apontar através da coleta de dados de medição e verificação os setores responsáveis pelo maior consumo de energia na planta, propor ações de controle

Lista de validação do protótipo SE (versão 1)

e eliminação dos desperdícios de consumo; identificar as principais áreas de desperdícios de energia; mostrar a importância do planejamento estratégico de produção como ferramenta de redução do desperdício e de melhor aproveitamento dos energéticos; propor ações de combate às perdas e ao desperdício; mostrar economia alcançada após a implementação das ações.

*** A empresa não tem um Departamento Especializado em Eficiência Energética ***

A empresa não dispõe de um Departamento Especializado em Eficiência Energética - O gerenciamento da eficiência energética na indústria tem por objetivo a visualização de forma macro do consumo dos energéticos de todas as áreas responsáveis pelo funcionamento produtivo da planta, proporcionando: integrar os vários setores de consumo na indústria; apontar através da coleta de dados de medição e verificação os setores responsáveis pelo maior consumo de energia na planta, propor ações de controle e eliminação dos desperdícios de consumo; identificar as principais áreas de desperdícios de energia; mostrar a importância do planejamento estratégico de produção como ferramenta de redução do desperdício e de melhor aproveitamento dos energéticos; propor ações de combate as perdas e ao desperdício; mostrar economia alcançada após a implementação das ações.

*** FASE DE EXPLICAÇÕES ELÉTRICAS CONTRATUAIS ***

> Atenção: a empresa está pagando PENALIDADE TÉCNICA devido à necessidade de correção do FATOR DE POTÊNCIA!

> A empresa está livre de PENALIDADES TÉCNICAS por correção do FATOR DE POTÊNCIA.

> A empresa está livre de PENALIDADES TÉCNICAS por ULTRAPASSAGEM de DEMANDA.

> Atenção: A empresa está pagando PENALIDADE por ULTRAPASSAGEM de DEMANDA, necessário calcular a DEMANDA requerida e ajustar o contrato junto a concessionária.

As Tarifas aplicadas aos consumidores do Grupo A são intituladas como <Tarifa Binômica>, ou seja, são cobrados pelo Consumo e pela Demanda, podendo ser tarifa: convencional, horo-sazonal verde ou horo-sazonal azul (compulsória para subgrupos A1, A2 e A3), dependendo da tensão de entrada.

Lista de validação do protótipo SE (versão 1)

TARIFAS DO GRUPO A: São aplicadas a plantas ligadas por níveis de tensão de 2,3 a 230 kV (alta tensão), ou inferior a 2,3 kV a partir de sistema subterrâneo de distribuição. Para estes consumidores foi estabelecido um conjunto de tarifas intitulado <Tarifa Binômia>, composto por preços aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa e à demanda faturável. A estrutura tarifária binômia está dividida em convencional e horosazonal, no que diz respeito aos componentes de CONSUMO e DEMANDA, bem como a relatividade de preços nos diversos horários e períodos do ano. As modalidades de contrato de fornecimento de energia elétrica podem ser optadas fixando o valor da DEMANDA (em quilowatts), que pode ser único ou segmentado por período do dia, conforme a estrutura tarifária em que melhor se enquadrar. Também a apuração do CONSUMO para fins de faturamento depende da estrutura tarifária selecionada, podendo apresentar uma tarifa única ou segmentada por período do dia. A estrutura tarifária do Grupo A pode ser definida como: CONVENCIONAL, HORO-SAZONAL VERDE ou HORO-SAZONAL AZUL (compulsória para subgrupos A1, A2 e A3), dependendo da tensão de entrada assim estabelecido: A1 - 230 kV ou mais; A2 - 88 a 138 kV; A3 - 69 kV; A3a - 30 a 44 kV; A4 - 2,3 a 25 kV; e AS - tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, atendidas a partir do sistema subterrâneo de distribuição e faturadas neste grupo em caráter opcional (Os consumidores enquadrados no subgrupo AS deverão satisfazer um dos seguintes requisitos: consumo maior ou igual a 30.000 kWh/mês por 3 ciclos consecutivos e completos, nos 6 (seis) meses anteriores a opção; demanda contratada maior ou igual a 150 kW). Em linhas gerais, as definições para as estruturas tarifárias são: Tarifa CONVENCIONAL: estrutura caracterizada pela aplicação de tarifas de CONSUMO de energia elétrica e de DEMANDA de potência, independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano, e aplicada aos consumidores atendidos em tensão inferior a 69 kV com DEMANDA contratada inferior a 300 kW e que não tenham optado pela tarifa HORO-SAZONAL. A tarifa CONVENCIONAL é indicada para plantas onde o período de maior utilização da energia elétrica ocorre por volta das 18 às 21 horas; HORO-SAZONAL VERDE: É composta por tarifas diferenciadas de CONSUMO de energia elétrica na ponta e fora de ponta (seco ou úmido), de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, e por uma única tarifa de DEMANDA de potência em qualquer horário de utilização ao longo de todo o período. Observações: período úmido: dezembro a abril;

*possível
trabalhar
com isso?*

Lista de validação do protótipo SE (versão 1)

período seco: maio a novembro; horário de ponta: das 18h às 21h (fora do horário de verão) e das 19h às 22h (durante horário de verão); horário fora de ponta: demais horas do dia, finais de semana. Os consumidores com valor de DEMANDA contratada igual ou superior a 300 kW são enquadrados, obrigatoriamente, na estrutura HORO-SAZONAL. Contudo é importante enfatizar que os consumidores HORO-SAZONAIS atendidas em tensão de fornecimento inferior a 69 kV podem optar entre as modalidades VERDE e AZUL. A estrutura HORO-SAZONAL VERDE é destinada a plantas com baixo fator de carga no horário de ponta, com capacidade limitada de modulação neste mesmo horário, ou ainda que possuam geração própria; HORO-SAZONAL AZUL: estrutura composta por tarifas diferenciadas por períodos do dia, tanto para a DEMANDA quanto para o CONSUMO, com tarifas específicas para cada um dos períodos (ponta e fora de ponta). No caso do CONSUMO, existe ainda diferenciação ao longo do ano por período (seco ou úmido). Observações: período úmido: dezembro a abril; período seco: maio a novembro; horário de ponta: das 18h às 21h (fora do horário de verão) e das 19h às 22h (durante horário de verão); horário fora de ponta: demais horas do dia, finais de semana. Os consumidores com valor de DEMANDA contratada igual ou superior a 300 kW são enquadradas, obrigatoriamente, na estrutura HORO-SAZONAL. Contudo é importante enfatizar que a estrutura HORO-SAZONAL AZUL será obrigatoriamente aplicável: quando a tensão de fornecimento for igual ou superior a 69 kV; ou quando a unidade consumidora HORO-SAZONAL não houver exercido qualquer opção; ou para consumidores dos níveis A1, A2 e A3. A estrutura HORO-SAZONAL AZUL é destinada a plantas que têm alto fator de carga no horário de ponta, portanto, apresentam um consumo significativo de energia elétrica nesse período, além de apresentarem um elevado grau de eficiência na utilização da DEMANDA contratada, ou seja, apresentam um consumo maior por quilowatt de DEMANDA.

As Tarifas aplicadas aos consumidores do Grupo B são intituladas como <Tarifa Monômnia>, ou seja, são cobrados apenas o Consumo. Não há diferenciação entre o horário do dia ou da estação do ano.

TARIFAS DO GRUPO B: As Tarifas do Grupo B são aplicadas aos consumidores ligados em tensão inferior a 2.300 volts. Para estes consumidores foi estabelecida a estrutura tarifária intitulada como <Tarifa Monômnia >, ou seja, a tarifa de fornecimento de energia elétrica constituída por preços aplicáveis unicamente ao consumo de energia

Lista de validação do protótipo SE (versão 1)

elétrica ativa (baixa tensão). Não há diferenciação entre o horário do dia ou da estação do ano.

BANDEIRAS: O sistema de bandeiras tarifárias foi estabelecido pela ANEEL para informar ao consumidor o custo mensal de geração de energia elétrica, criando uma relação entre o valor pago pelo consumidor e o custo atualizado pago pelas geradoras de energia elétrica. O sistema de bandeiras indica o custo de geração de energia e permite o repasse mensal de parte dos custos adicionais na geração às tarifas, com isso, a receita que as distribuidoras tiverem com o pagamento será descontada do cálculo do reajuste tarifário anual. Esta informação mensal proporciona ao consumidor a oportunidade de ajustar seu consumo ao seu preço real da energia, lembrando que este custo já está na conta habitual de energia elétrica, contudo geralmente não é percebido. Importante esclarecer que a energia elétrica o Brasil é gerada predominantemente por usinas hidrelétricas, e para funcionar, essas usinas dependem das chuvas e do nível de água nos reservatórios. Quando há pouca água armazenada, usinas termelétricas, conectadas a matriz elétrica nacional, podem ser ligadas com a finalidade de poupar água nos reservatórios das usinas hidrelétricas. Com isso, o custo de geração aumenta, uma vez que essas usinas termelétricas são movidas a combustíveis como gás natural, carvão, óleo combustível e diesel. Por outro lado, quando há muita água armazenada, as térmicas podem ser menos utilizadas e o custo de geração é menor. As BANDEIRAS TARIFÁRIAS são classificadas por cores (verde, amarela e vermelha) e funcionam como um semáforo de trânsito: a BANDEIRA VERDE significa custos baixos para gerar a energia, portanto, a tarifa de energia não terá nenhum acréscimo naquele mês. A BANDEIRA AMARELA indicará um sinal de atenção, pois os custos de geração estão aumentando. Já a BANDEIRA VERMELHA mostra que o custo da geração está mais alto, por exemplo, com o maior acionamento de termelétricas. As bandeiras “amarela e vermelha” apresentarão custos extras nas contas de energia elétrica para cada 100 quilowatts-hora consumidos. Um *espaço equivalente* a vez por mês, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) calcula o Custo Marginal de Operação (CMO) nas reuniões do Programa Mensal de Operação (PMO) - quando também é decidido se haverá ou não a operação das usinas termelétricas e o custo associado a essa geração. Após cada reunião, com base nas informações do ONS, a Aneel aciona a bandeira tarifária vigente no mês seguinte.

Lista de validação do protótipo SE (versão 1)

DETALHES DA POLÍTICA TARIFÁRIA: De acordo com a política tarifária definida pela ANEEL, tanto consumidores cativos, quanto clientes livres, atendidos em baixa ou em alta tensão, estão sujeitos a encargos de uso do sistema de distribuição e transmissão que reflitam a proporção com eles utilizam os referidos sistemas. Assim, o realinhamento tarifário nada mais é do que o resultado da aplicação da tarifa de energia (TE) resultante dos custos com a compra de energia e da tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD), acrescida da tarifa de uso do sistema de transmissão (TUST). Dessa forma, a abertura das tarifas é conduzida de modo que a tarifa de energia (TE) seja a diferença entre a tarifa de fornecimento vigente (TF) e a "tarifa fio" (TUSD + TUST), assim denominada a parcela que deverá cobrir os investimentos e custos operacionais da CONCESSIONÁRIA com relação ao seu sistema elétrico, bem como da REDE BÁSICA.

SAZONALIDADE: A sazonalidade é a caracterização de necessidades de utilização da energia elétrica que variam de acordo com o período do ano para uma determinada unidade consumidora. Normalmente, esta condição é verificada em unidades consumidoras nas quais ocorra a utilização de matéria-prima advinda, diretamente, da agricultura, pecuária, pesca, ou, ainda, cuja atividade econômica esteja relacionada à extração de sal ou de calcário, este último destinado à agricultura. As plantas enquadradas nessa condição e que, nos últimos 12 (doze) ciclos completos de faturamento, apresentarem valor igual ou inferior a 20% (vinte por cento) para a relação entre a soma dos 04 (quatro) menores e a soma dos 04 (quatro) maiores consumos de energia elétrica ativa, podem solicitar à CONCESSIONÁRIA o reconhecimento de sua sazonalidade para fins de faturamento. Uma vez reconhecida a sazonalidade, o critério de faturamento da unidade consumidora observará as regras a seguir para determinação das grandezas faturáveis, a saber: **DEMANDA FATURÁVEL:** um único valor, observado no fornecimento com tarifas horo-sazonais, os respectivos segmentos: no caso da planta incluída na estrutura tarifária convencional - a demanda faturável será o maior valor verificado entre a demanda medida no ciclo de faturamento e 10% (dez por cento) da maior demanda medida em qualquer dos 11 (onze) ciclos completos de faturamento anteriores; no caso da planta incluída na estrutura tarifária horo-sazonal - a demanda faturável será o maior valor verificado entre a demanda medida no ciclo de

Lista de validação do protótipo SE (versão 1)

faturamento e 10% (dez por cento) da demanda contratada. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ATIVA: o valor apurado por medição durante o período de faturamento, observados no fornecimento com tarifas horo-sazonais, os respectivos segmentos. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E DEMANDA DE POTÊNCIA REATIVAS EXCEDENTES: o valor apurado por medição durante o período de faturamento, observados no fornecimento com tarifas horo-sazonais, os respectivos segmentos, bem como as regras estabelecidas na legislação. OBS: A cada 12 (doze) meses, se a CONCESSIONÁRIA não verificar, por segmento horário, demanda medida superior à contratada em pelo menos 03 (1 três) ciclos completos de faturamento, a planta ficará sujeita à cobrança complementar, na fatura referente ao 12º (décimo segundo) ciclo, das diferenças positivas entre as 03 (três) maiores demandas contratadas e as respectivas demandas medidas.

ASPECTOS IMPORTANTES: Segue a terminologia básica do setor elétrico para melhor compreender as diretrizes que constituem o regulamento do setor, bem como adquirir a familiaridade com alguns dos termos mais amplamente empregados: CARGA INSTALADA - é o somatório das potências nominais dos equipamentos elétricos existentes na planta industrial (kW), conectados à rede elétrica e em condições de entrar em funcionamento a qualquer momento; CONSUMIDOR - é a pessoa jurídica de fato ou de direito, legalmente representada a assumir a responsabilidade pelo pagamento das faturas de energia elétrica e pelas demais obrigações fixadas em normas e regulamentos da ANEEL, assim vinculando-se aos contratos de fornecimento, de uso e de conexão, conforme cada caso; CLIENTE LIVRE - é o consumidor que pode optar pela compra de energia elétrica junto a qualquer fornecedor, conforme estabelecido pelos artigos 15 e 16 da Lei 9.074, de 07 de julho de 1995, ou seja: a) Consumidores com carga instalada igual ou maior a 3.000 kW, atendidos em nível de tensão igual ou superior a 69 kV, que foram atendidos antes de 07 de julho de 1995; b) Consumidores com carga instalada igual ou maior a 3.000 kW, atendidos em qualquer nível de tensão, atendidos após 07 de julho de 1995; CONTRATO DE FORNECIMENTO - instrumento contratual em que a concessionária e o consumidor responsável por unidade consumidora do Grupo A ajustam as características técnicas e as condições comerciais do fornecimento de energia elétrica; CONTRATO DE USO E DE CONEXÃO - instrumento contratual em que o cliente livre ajusta com a concessionária as características técnicas e as condições de

Lista de validação do protótipo SE (versão 1)

utilização do sistema elétrico local, conforme estabelecido pela Resolução ANEEL nº 281, de 1º de outubro de 1999; CICLO DE FATURAMENTO - intervalo de tempo de, aproximadamente, 30 (trinta) dias, observados o mínimo de 27 (vinte e sete) dias e o máximo de 33 (trinta e três) dias, ao fim do qual a concessionária efetuará a leitura dos medidores da unidade consumidora para apuração das grandezas faturáveis; DEMANDA - é a média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada, em operação simultânea, na planta industrial, durante um intervalo de tempo especificado; DEMANDA CONTRATADA - é a demanda de potência ativa a ser, obrigatória e continuamente, disponibilizada pela concessionária, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência fixados no contrato de fornecimento, e que deverá ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW); DEMANDA DE ULTRAPASSAGEM - é a parcela da demanda medida que excede o valor da demanda contratada, expressa em quilowatts (kW); DEMANDA FATURÁVEL - é o maior valor verificado dentre a demanda contratada e a demanda medida, durante um ciclo de faturamento, que é considerado para fins de cobrança com a aplicação da respectiva tarifa; DEMANDA MEDIDA - é o maior valor de demanda de potência ativa, apurada em intervalos de 15 (quinze) minutos e expressa em quilowatts (kW), verificado por medição ao longo do ciclo de faturamento, correspondendo à área sob a curva de consumo da unidade consumidora; ESTRUTURA TARIFÁRIA - é o conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência ativas, de acordo com a modalidade de fornecimento; HORÁRIO DE PONTA - é o período de 03 (três) horas diárias consecutivas, definido pela concessionária, considerando as características do sistema elétrico da planta, à exceção dos sábados, domingos, feriados estabelecidos por lei federal (Dia da Confraternização Universal, Tiradentes, Dia do Trabalho, Proclamação da Independência, Nossa Sra. Aparecida, Proclamação da República e Natal), terça-feira de Carnaval, sexta-feira da Paixão, "Corpus Christi" e Dia de Finados; HORÁRIO FORA DE PONTA - é o período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta; PERÍODO ÚMIDO - período de 05 (cinco) meses consecutivos, caracterizados pela estação das chuvas no território brasileiro, iniciando-se em dezembro de um ano e findando em abril do ano seguinte; PERÍODO SECO - período de 07 (sete) meses consecutivos, caracterizado pela ausência de chuvas

Lista de validação do protótipo SE (versão 1)

abundantes no território brasileiro, iniciando-se em maio e findando em novembro; PONTO DE ENTREGA - é o ponto de conexão do sistema elétrico da concessionária com as instalações elétricas da planta industrial, caracterizando-se como o limite legal de responsabilidade da concessionária para com o fornecimento de energia elétrica a planta; TARIFA - preço da unidade de consumo de energia elétrica e/ ou da demanda, fixado em Reais / quilowatt x hora (RS / kWh) e/ou Reais/ quilowatt (RS / kW), respectivamente; TARIFA MONÔMIA - tarifa de fornecimento de energia elétrica composta por preços aplicáveis unicamente ao consumo de energia elétrica; TARIFA BINÔMIA - conjunto de tarifas de fornecimento composto por preços aplicáveis ao consumo de energia elétrica e à demanda faturável; TARIFA DE ULTRAPASSAGEM - tarifa aplicável sobre a diferença positiva entre a demanda medida e a demanda contratada, respeitado o limite de tolerância fixado para cada nível de tensão (110% da demanda contratada para a planta industrial atendida em nível de tensão igual ou inferior a 34,5 kV e 105% da demanda contratada para a planta industrial atendida em nível de tensão superior a 34,5 kV); PLANTA INDUSTRIAL - é o conjunto de instalações e equipamentos elétricos caracterizado pelo recebimento de energia elétrica em um só ponto de entrega, com medição individualizada e correspondente a um único local.

PRINCIPAIS CAUSAS DO ELEVADO CUSTO MÉDIO DA CONTA DE ENERGIA: As causas mais comuns do encarecimento desnecessário da conta de energia elétrica são: ENQUADRAMENTO INADEQUADO EM ESTRUTURA TARIFÁRIA: enquadramento em estrutura tarifária inadequada às necessidades da unidade consumidora; DEMANDA CONTRATADA INCOMPATÍVEL: a fixação de valores de demanda contratada incompatíveis com a utilização: muito superiores à necessidade (fato que sujeita a planta ao pagamento desnecessário de demanda); inferiores à necessidade (fato que sujeita a planta ao pagamento de penalidades pela ultrapassagem dos valores contratados); BAIXA EFICIÊNCIA de UTILIZAÇÃO: a baixa eficiência na utilização da energia elétrica, normalmente causada por processos produtivos irregulares e equipamentos ultrapassados; o BAIXO FATOR DE POTÊNCIA das instalações elétricas da unidade consumidora.

Lista de validação do protótipo SE (versão 1)

REDUZINDO A CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA: A existência do enquadramento em estrutura tarifária inadequada às necessidades da planta, permite ao consumidor negociar junto a concessionária, a possibilidade do reenquadramento e revisão do valor contratual da DEMANDA que resultam em menor despesa com a energia elétrica. Esta decisão, porém, só deve ser tomada após adequada verificação dos padrões de CONSUMO e DEMANDA nos segmentos horários (ponta e fora de ponta) e sazonais (períodos seco e úmido). Além de revelar relações entre hábitos e CONSUMO de energia elétrica, úteis ao se estabelecer rotinas de combate ao desperdício, a análise da fatura de energia elétrica é a base para a avaliação econômica dos projetos de eficiência energética. A análise pode ser dividida em três partes: correção do fator de potência; determinação do valor da demanda contratual; enquadramento tarifário.

(i) CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA: Em geral, a correção do fator de potência é uma das medidas de custo mais baixo para a redução de despesa com energia elétrica. Inicialmente, verifique se nas 12 últimas faturas de energia elétrica existe o pagamento de parcelas de CONSUMO de Energia Reativa Excedente e/ou DEMANDA Reativa Excedente. Se isso ocorre com frequência, faça um levantamento da instalação, com a finalidade de localizar pontos onde ocorra uma ou mais das situações relacionadas: motores trabalhando em vazio durante grande parte de tempo; motores superdimensionados para as respectivas cargas; grandes transformadores alimentando pequenas cargas por muito tempo; lâmpadas de descarga (de vapor de mercúrio, fluorescente, entre outras) sem correção individual do fator de potência; grande quantidade de motores de pequena potência.

(ii) ESTUDO DE DEMANDA CONTRATUAL: Para a realização deste estudo é recomendável ter em mãos as últimas trinta e seis faturas de energia elétrica e o 'Relatório de DEMANDA' da instalação, que deve ser solicitado junto à concessionária de energia elétrica. Nesse relatório estão contidas informações importantes, tais como: DEMANDA ativa e reativa e CONSUMO de energia ativa e reativa, que foram armazenadas na memória do medidor de energia por um período superior a um mês em um intervalo de tempo de quinze minutos. Estas informações são importantes para se obter a curva de carga da instalação, sendo assim possível diagnosticar os horários em que estão ocorrendo os maiores CONSUMOS de energia e DEMANDA. Esta

Lista de validação do protótipo SE (versão 1)

documentação somente estará disponível caso o medidor de energia elétrica possua “memória de massa”.

(iii) **ESTUDO DE ENQUADRAMENTO TARIFÁRIO:** A última análise a ser realizada é aquela relativa à seleção do grupo tarifário. Como as informações registradas nas faturas de energia elétrica das modalidades de tarifação menos complexas são insuficientes para analisar vantagens ou desvantagens de modalidades mais complexas, nem sempre esta análise pode ser realizada sem um bom conhecimento de engenharia elétrica e sem medições confiáveis. Por exemplo, se a unidade de consumo é tarifada no Grupo B (tarifa monômnia), a fatura de energia elétrica apresenta apenas os dados de consumo cheio, informação insuficiente para a análise das tarifas do grupo A, que exigem o conhecimento das parcelas de CONSUMO e DEMANDA nos horários de ponta e fora de ponta. Ainda, se a unidade é enquadrada na tarifação HORO-SAZONAL VERDE, a fatura de energia elétrica não mostra os valores demandados na ponta e fora de ponta, daí a dificuldade da avaliação das vantagens do enquadramento na tarifação HORO-SAZONAL AZUL. No entanto, a partir das modalidades tarifárias mais complexas, podemos avaliar as mais simples.

ESTUDO DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA: um levantamento básico das instalações para a correção do fator de potência pode ser feito com a finalidade de localizar pontos onde ocorra uma ou mais das situações relacionadas: motores trabalhando em vazio durante grande parte de tempo; motores superdimensionados para as respectivas cargas; grandes transformadores alimentando pequenas cargas por muito tempo; lâmpadas de descarga (de vapor de mercúrio, fluorescente, entre outras) sem correção individual do fator de potência; grande quantidade de motores de pequena potência; equipamentos utilizados e operados de forma inconvenientemente; instalação de bancos de capacitores onde for necessário - esta instalação pode ser na entrada da edificação ou em algum equipamento específico. Os bancos de capacitores também podem ser do tipo potência fixa ou automática (potência variável). No caso de instalações que não possuam corpo técnico capacitado para realizar um diagnóstico localizando os equipamentos responsáveis pelo baixo fator de potência e as providências básicas para a correção do fator de potência, recomenda-se contatar empresas de engenharia especializadas para a realização dos serviços.

Lista de validação do protótipo SE (versão 1)

MANUTENÇÃO PREVENTIVA: A manutenção preventiva de instalações e equipamentos elétricos pode ser considerada como um dos ramos da técnica que mais evoluiu na atualidade, pois se constitui em uma poderosa ferramenta para garantir o funcionamento contínuo das instalações responsáveis pelo suprimento e aproveitamento de energia elétrica. A avaliação precisa dos custos envolvidos em qualquer tipo de interrupção de processo, sem sombra de dúvida, resulta na necessidade de implantação de programas de manutenção preventiva. Os objetivos principais são adequar a cada intervalo de tempo, as condições da instalação e seus equipamentos a um novo período ininterrupto de funcionamento. Isto permite reduzir os custos dos problemas intempestivos, que eventualmente ocorram durante os períodos de operação normal. Importante observar que executar a manutenção preventiva de um equipamento não implica necessariamente na abertura, desmonte e remonte, nem ensaio do mesmo, mas na realização de uma série de procedimentos padrão. Inspeções de rotina, objetivando o levantamento de dados de corrente, tensão, temperatura e parâmetros capazes de indicar a existência ou evolução de problemas internos ao equipamento também se inserem dentro das práticas de manutenção preventiva. O objetivo das inspeções visando a manutenção preventiva dos equipamentos elétricos é salvaguardá-los contra interrupções e danos através da detecção e eliminação de causas potenciais de defeitos. Neste sentido, a manutenção periódica deve possibilitar muitos anos de operação livre de problemas.

ROTINAS DE INSPEÇÃO: A rotina para a execução das inspeções relativas a manutenção preventiva de equipamentos elétricos envolve a observação visual de algumas de suas condições específicas, bem como, quando possível, os reparos necessários que podem ser realizados no campo. A frequência destas inspeções depende, sobretudo, da importância crítica do equipamento em questão, das condições ambientais, e/ou das condições operacionais. Atitudes simples, como verificar se há ventilação suficiente e efetuar a limpeza frequentemente são fatores da maior importância. Além disto, é necessário intervir imediatamente ao surgirem ou ao serem notados quaisquer indicativos de anormalidades. As rotinas de inspeção básicas para equipamentos elétricos em operação normal envolvem, de uma forma geral, avaliar: **CORRENTE, TENSÃO E LIMPEZA.**

Lista de validação do protótipo SE (versão 1)

CORRENTE e TEMPERATURA: O aquecimento de um equipamento elétrico depende de sua capacidade térmica. O controle da temperatura de operação se reveste de elevada importância, pois, quando o mesmo opera acima do nível máximo de temperatura permitido pela classe de isolamento, ocorre um decréscimo na sua expectativa de vida. Por exemplo, um equipamento com isolamento classe B ou F, operando com 8 a 10 °C acima de sua temperatura normal de trabalho, tem sua expectativa de vida reduzida à metade. Estes fatos reforçam a necessidade de um monitoramento adequado das condições de carregamento, ou seja, da corrente de carga e da temperatura associadas, para evitar eventuais sobrecargas.

TENSÃO: A tensão aplicada a um equipamento deve ser monitorada de forma similar à corrente de carga. Sobre e subtensões, tensões desequilibradas e/ou com conteúdo harmônico são fatores que afetam o seu isolamento e o seu desempenho em muitos casos.

LIMPEZA: É importante que o equipamento fique isento de poeiras, teias de aranha, fiapos de algodão, óleo, ou seja, sujeira em geral. A sujeira acumulada na carcaça de um equipamento por exemplo, diminui a troca de calor com o ambiente, além de poder reter umidade e provocar curto-circuito, bem como, ser um elemento propagador de incêndios. Desta forma, é conveniente limpar externamente o equipamento e, logo após, as suas partes internas. Para tanto, usa-se ar comprimido seco e limpo, soprando-se o pó e os resíduos do seu interior. É importante também certificar-se que todas as passagens de ar estão livres e desimpedidas.

MANUTENÇÃO DA ENTRADA DE ENERGIA E SUBESTAÇÃO (13.8 Kv): Os procedimentos listados a seguir compõem a manutenção preventiva semestral da Entrada de Energia e Subestação Básica de uma planta industrial: verificar as condições da estrutura de entrada (postes, cruzetas, isoladores); verificar as condições dos Protetores de Surto de Tensão (para-raios): observar se há a conexão dos para-raios com o aterramento e sua integridade; quando possível, verificar o elo fusível, de acordo com a ABNT - (Norma para Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária de Distribuição); verificar o aterramento dos transformadores; verificar as temperaturas dos

Lista de validação do protótipo SE (versão 1)

transformadores e das conexões da subestação abrigada com o sensor térmico. Para a realização desta manutenção são necessários: sensor térmico; alicate multitestes; haste para aterramento temporário; placa de sinalização de impedimento de reenergização; material para limpeza dos quadros e reaperto das conexões. **PRECAUÇÕES IMPORTANTES:** Para qualquer intervenção nas instalações e/ou equipamentos de um sistema elétrico, algumas precauções preliminares de segurança devem ser observadas com o objetivo de prevenir a integridade, tanto do pessoal quanto dos equipamentos: sinalizar adequadamente os equipamentos, delimitando-se a área de trabalho e de passagem; utilizar somente ferramental adequado a cada tipo de tarefa; jamais executar individualmente serviços próximos a circuitos energizados; certificar-se, através de inspeção visual, de que os equipamentos liberados para a manutenção estejam totalmente desenergizados; cuidar para que todos os profissionais envolvidos estejam utilizando equipamentos de proteção individual (EPI's), para prevenir danos físicos que possam ser causados pelos riscos existentes da atividade (principais EPI's: botas de proteção (eletricista); protetores auriculares; óculos de proteção; luvas isolantes de borracha/couro; capacete); tomar medidas adicionais de controle para se minimizar ainda mais o nível de risco (utilizar vestimentas adequadas às atividades; não utilizar adornos pessoais; garantir iluminação adequada e uma posição de trabalho segura, tendo os membros superiores livres para a realização das tarefas; não improvisar EPI's; observar circunstâncias que impossibilitem a execução das tarefas - sempre consultar o responsável pela operação e manutenção). **QUADROS DE COMANDO – SISTEMAS ENERGIZADOS:** Verificar a temperatura dos componentes. Os cabos, conexões e terminais se deterioram quando conduzem uma corrente acima de sua capacidade. O desgaste reduz a capacidade de condução e a qualidade da isolação, o que aumenta o risco de incêndio. Para temperaturas acima de 70°C em cabos e 80°C em terminais de conexão, investigar as possíveis causas: folgas nas conexões, subdimensionamento dos cabos, terminais ou conexões, desequilíbrio da rede de distribuição de energia, avaria nos enrolamentos do motor, emendas malfeitas nos cabos, entre outros. **Identificar ruídos incomuns:** Geralmente são causados por folgas nas conexões internas dos contadores, no entanto nada impede a ocorrência em outros equipamentos. As folgas podem ocasionar um superaquecimento nas conexões, podendo incendiar o equipamento. **Verificar desequilíbrios de tensão e corrente nas três fases com o alicate multitestes:** Um pequeno desequilíbrio de tensão da ordem de

Lista de validação do protótipo SE (versão 1)

2,3%, é responsável por um desequilíbrio de corrente da ordem de 17%, juntamente com uma elevação de temperatura de 30°C; a cada 10 °C de elevação de temperatura, a vida útil da isolação de um motor elétrico diminui pela metade. **QUADROS DE COMANDO – SISTEMAS DESENERGIZADOS:** O procedimento básico para desenergização: **desenergização** da área onde será realizada a manutenção com o travamento, se houver, dos dispositivos de seccionamento, impedindo a reenergização; constatação da ausência de tensão; instalação de aterramento temporário e proteções adicionais; instalação da sinalização de impedimento de reenergização. Uma vez tomados todos os cuidados relativos ao procedimento de desenergização da área: **limpeza do quadro de comando** - A poeira causa o isolamento térmico dos contatos e conexões elétricas, prejudicando a dissipação de calor (para a limpeza, podem ser utilizados aspirador de pó, panos ou pincel); **reaperto de todas as conexões:** Quanto mais frouxa a conexão, a corrente circulará por uma área menor, o que aumenta a temperatura e as perdas, podendo ocasionar incêndios. **Reenergização:** O estado de instalação desenergizada deve ser mantido até a autorização para reenergização, devendo ser reenergizada respeitando a sequência de procedimentos a seguir: retirada das ferramentas, utensílios e equipamentos; retirada das proximidades de todos os trabalhadores não envolvidos no processo de reenergização; remoção do aterramento temporário e das proteções adicionais; remoção da sinalização de impedimento de reenergização e do aterramento temporário; destravamento, se houver, e religação dos dispositivos de seccionamento. **PERIODICIDADE DE MANUTENÇÃO:** A seguir é fornecida uma sugestão de periodicidade de manutenção dos equipamentos de uma subestação básica. Equipamento Periodicidade: Fios, Cabos e Muflas 6 a 12 meses; Isoladores 12 a 15 meses; Ferragens 6 a 12 meses; Baterias 3 meses; Capacitores - Reapertos 6 a 12 meses Medição 3 meses; Relés 6 a 12 meses; Para-raios 12 meses; TC's e TP's 6 a 12 meses; Transformadores - Estanqueidade permanente Válvula de segurança permanente, Relés 3 meses, Resistência de terra 3 meses, Limpeza 3 meses Termômetro 3 meses, Relé Buchholz 4 a 6 meses; Comutador - lubrificação 4 a 6 meses, Guarnições e vedações 4 a 6 meses, Sílica gel 4 a 6 meses, Óleo comutador 12 meses, Óleo geral 2 a 4 anos, Radiadores 2 a 4 anos; Disjuntores Óleo 6 meses; Câmaras de extinção 3 meses, Reaperto de parafusos 3 a 6 meses, Pressão dos contatos 6 meses, Mecanismo 1 mês; Seccionadores - Limpeza dos contatos 6 meses Reaperto de parafusos 6 meses Pressão dos contatos 12 meses Isoladores 12 meses.

APÊNDICE C – LISTA DE VALIDAÇÃO VERSÃO 2 (parcial)

Lista de validação do protótipo SE (versão 2)

Nome: _____

Data: 28/08/2017

Neste documento é apresentado um resumo dos conhecimentos adquiridos de especialistas da área de eficiência energética industrial a serem inseridos no protótipo SE, que se referem aos dados e recomendações que o sistema deverá produzir (saída) de acordo com as condições de entrada informadas pelo usuário, as quais foram validadas por especialistas da área.

Arquivo de requisitos

*** TELA DE ABERTURA E REGRA DE CONTROLE ***

*** As UTILIDADES INDUSTRIAIS representam uma parcela importante dos custos operacionais de uma empresa, portanto a preocupação com esses itens é vital para a competitividade do negócio. Neste trabalho são destacadas Água, Energia Elétrica e Gás Natural como insumos/ utilidades primárias, e Aquecimento, Ar Comprimido, Ar Condicionado e Iluminação, como utilidades secundárias. ***

Arquivo de explicações

Eficiência Energética é uma dimensão da Preservação do Meio Ambiente e, portanto, um legado para as futuras gerações que utilizam o Planeta Terra.

*** ETAPA DE EXPLICAÇÕES ***

O consumo da energia elétrica na indústria representa um dos custos mais elevados para o processo produtivo, dessa forma, o uso adequado e eficiente dessa energia deve fazer parte de seu planejamento estratégico. Se esta utilidade primária for o único insumo energético da planta, requererá atenção especial.

A empresa que trabalha com mais de um tipo de UTILIDADE para seu funcionamento requer especial atenção na gestão apropriada desses recursos, desde questões contratuais, medição específica e controles de consumo, até a aplicação de ações de eficiência energética.

Lista de validação do protótipo SE (versão 2)

A utilização de mais de um tipo de UTILIDADE na indústria requer especial atenção na gestão apropriada desses recursos, desde questões contratuais, medição específica e controles de consumo, até a aplicação de ações de eficiência energética.

***** A empresa dispõe de um sistema de medição para utilidades *****

A empresa dispõe de sistema de medição para utilidades - O monitoramento e verificação das utilidades na indústria têm como objetivo o estudo dos fluxos energéticos, com o propósito de racionalizar o uso da energia elétrica, água, combustíveis, e reduzir seus custos. Sua implantação é considerada uma das ações de eficiência energética e busca a obtenção do menor índice de custo em relação à utilidade utilizada em um processo.

***** A empresa não dispõe de um sistema de medição para utilidades *****

A empresa não dispõe de sistema de medição para utilidades - O monitoramento e verificação das utilidades na indústria têm como objetivo o estudo dos fluxos energéticos, com o propósito de racionalizar o uso da energia elétrica, água, combustíveis, e reduzir seus custos. Sua implantação é considerada uma das ações de eficiência energética e busca a obtenção do menor índice de custo em relação à utilidade utilizada em um processo.

ATENÇÃO: A implantação do sistema de monitoramento e verificação é considerada uma das principais ações de eficiência energética e busca a obtenção do menor índice de custo em relação à utilidade utilizada em um processo. ***** Quem não mede, não controla, não gerencia e não melhora qualquer variável ou resultado. *****

***** A empresa dispõe de um Departamento Especializado em Eficiência Energética *****

A empresa dispõe de um Departamento Especializado em Eficiência Energética - O gerenciamento da eficiência energética na indústria tem por objetivo a visualização de forma macro do consumo dos energéticos de todas as áreas responsáveis pelo funcionamento produtivo da planta, proporcionando: integrar os vários setores de consumo na indústria; apontar através da coleta de dados de medição e verificação os setores responsáveis pelo maior consumo de energia na planta, propor ações de controle e eliminação dos desperdícios de consumo; identificar as principais áreas de

Lista de validação do protótipo SE (versão 2)

desperdícios de energia; mostrar a importância do planejamento estratégico de produção como ferramenta de redução do desperdício e de melhor aproveitamento dos energéticos; propor ações de combate às perdas e ao desperdício; mostrar economia alcançada após a implementação das ações.

***** A empresa não tem um Departamento Especializado em Eficiência Energética *****

A empresa não dispõe de um Departamento Especializado em Eficiência Energética - O gerenciamento da eficiência energética na indústria tem por objetivo a visualização de forma macro do consumo dos energéticos de todas as áreas responsáveis pelo funcionamento produtivo da planta, proporcionando: integrar os vários setores de consumo na indústria; apontar através da coleta de dados de medição e verificação os setores responsáveis pelo maior consumo de energia na planta, propor ações de controle e eliminação dos desperdícios de consumo; identificar as principais áreas de desperdícios de energia; mostrar a importância do planejamento estratégico de produção como ferramenta de redução do desperdício e de melhor aproveitamento dos energéticos; propor ações de combate às perdas e ao desperdício; mostrar economia alcançada após a implementação das ações.

***** FASE DE EXPLICAÇÕES ELÉTRICAS CONTRATUAIS *****

> Atenção: a empresa está pagando PENALIDADE TÉCNICA devido à necessidade de correção do FATOR DE POTÊNCIA!

> A empresa está livre de PENALIDADES TÉCNICAS por correção do FATOR DE POTÊNCIA.

> A empresa está livre de PENALIDADES TÉCNICAS por ULTRAPASSAGEM de DEMANDA.

> Atenção: A empresa está pagando PENALIDADE por ULTRAPASSAGEM de DEMANDA, necessário calcular a DEMANDA requerida e ajustar o contrato junto a concessionária.

As Tarifas aplicadas aos consumidores do Grupo A são intituladas como <Tarifa Binômia>, ou seja, são cobrados pelo Consumo e pela Demanda, podendo ser tarifa: convencional, horo-sazonal verde ou horo-sazonal azul (compulsória para subgrupos A1, A2 e A3), dependendo da tensão de entrada.

Lista de validação do protótipo SE (versão 2)

Tarifas:

Grupo A: As Tarifas aplicadas aos consumidores do Grupo A são intituladas como <Tarifa Binômia>, ou seja, são cobrados pelo Consumo e pela Demanda, podendo ser tarifa: convencional, horo-sazonal verde ou horo-sazonal azul (compulsória para subgrupos A1, A2 e A3), dependendo da tensão de entrada.

Grupo B: As Tarifas do Grupo B são aplicadas aos consumidores ligados em tensão inferior a 2.300 volts. Para estes consumidores foi estabelecida a estrutura tarifária intitulada como <Tarifa Monômia >, ou seja, a tarifa de fornecimento de energia elétrica constituída por preços aplicáveis unicamente ao consumo de energia elétrica ativa (baixa tensão). Não há diferenciação entre o horário do dia ou da estação do ano.

Tensão inferior a 2.3 kV:

⇒ Atendimento por Sistema Subterrâneo de Distribuição (Grupo AS)

Tipo de TARIFA: Convencional Monômia

⇒ Atendimento por Sistema Convencional de Distribuição (Grupo B)

Tipo de TARIFA: Convencional Monômia

Tensão > 2.3 kV, demanda \geq 150 kW e \leq 300 kW (Grupo B)

Tipo de TARIFA: Convencional Monômia

Tensão \geq 2.3 kV e < 69 kV, demanda < 300 kW (Grupo A)

✓ Tipo de TARIFA: Convencional Binômia

Tensão \geq 2.3 kV e < 69 kV, demanda \geq 300 kW, baixo fator de carga (Grupo A)

Tipo de TARIFA: Horo-Sazonal Verde

Tensão \geq 69 kV, demanda \geq 300 kW, alto fator de carga ou não (Grupo A)

Tipo de TARIFA: Horo-Sazonal Azul

Tensão \geq 69 kV, demanda \geq 300 kW, Sem opção de tarifa (Grupo A)

Tipo de TARIFA: Horo-Sazonal Azul

Lista de validação do protótipo SE (versão 2)

TARIFAS DO GRUPO A: São aplicadas a plantas ligadas por níveis de tensão de 2,3 a 230 kV (alta tensão), ou inferior a 2,3 kV a partir de sistema subterrâneo de distribuição. Para estes consumidores foi estabelecido um conjunto de tarifas intitulado <Tarifa Binômia>, composto por preços aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa e à demanda faturável. A estrutura tarifária binômia está dividida em convencional e horo-sazonal, no que diz respeito aos componentes de CONSUMO e DEMANDA, bem como a relatividade de preços nos diversos horários e períodos do ano. As modalidades de contrato de fornecimento de energia elétrica podem ser optadas fixando o valor da DEMANDA (em quilowatts), que pode ser único ou segmentado por período do dia, conforme a estrutura tarifária em que melhor se enquadrar. Também a apuração do CONSUMO para fins de faturamento depende da estrutura tarifária selecionada, podendo apresentar uma tarifa única ou segmentada por período do dia. A estrutura tarifária do Grupo A pode ser definida como: CONVENCIONAL, HORO-SAZONAL VERDE ou HORO-SAZONAL AZUL (compulsória para subgrupos A1, A2 e A3), dependendo da tensão de entrada assim estabelecido: A1 - 230 kV ou mais; A2 - 88 a 138 kV; A3 - 69 kV; A3a - 30 a 44 kV; A4 - 2,3 a 25 kV; e AS - tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, atendidas a partir do sistema subterrâneo de distribuição e faturadas neste grupo em caráter opcional (Os consumidores enquadrados no subgrupo AS deverão satisfazer um dos seguintes requisitos: consumo maior ou igual a 30.000 kWh/mês por 3 ciclos consecutivos e completos, nos 6 (seis) meses anteriores a opção; demanda contratada maior ou igual a 150 kW). Em linhas gerais, as definições para as estruturas tarifárias são: Tarifa CONVENCIONAL: estrutura caracterizada pela aplicação de tarifas de CONSUMO de energia elétrica e de DEMANDA de potência, independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano, e aplicada aos consumidores atendidos em tensão inferior a 69 kV com DEMANDA contratada inferior a 300 kW e que não tenham optado pela tarifa HORO-SAZONAL. A tarifa CONVENCIONAL é indicada para plantas onde o período de maior utilização da energia elétrica ocorre por volta das 18 às 21 horas; HORO-SAZONAL VERDE: É composta por tarifas diferenciadas de CONSUMO de energia elétrica na ponta e fora de ponta (seco ou úmido), de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, e por uma única tarifa de DEMANDA de potência em qualquer horário de utilização ao longo de todo o período. Observações: período úmido: dezembro a abril; período seco: maio a novembro; horário de ponta: das 18h às 21h (fora do horário de

*aplicar
Tensão de
entrada*

Lista de validação do protótipo SE (versão 2)

verão) e das 19h às 22h (durante horário de verão); horário fora de ponta: demais horas do dia, finais de semana. Os consumidores com valor de DEMANDA contratada igual ou superior a 300 kW são enquadrados, obrigatoriamente, na estrutura HORO-SAZONAL. Contudo é importante enfatizar que os consumidores HORO-SAZONAIS atendidas em tensão de fornecimento inferior a 69 kV podem optar entre as modalidades VERDE e AZUL. A estrutura HORO-SAZONAL VERDE é destinada a plantas com baixo fator de carga no horário de ponta, com capacidade limitada de modulação neste mesmo horário, ou ainda que possuam geração própria; HORO-SAZONAL AZUL: estrutura composta por tarifas diferenciadas por períodos do dia, tanto para a DEMANDA quanto para o CONSUMO, com tarifas específicas para cada um dos períodos (ponta e fora de ponta). No caso do CONSUMO, existe ainda diferenciação ao longo do ano por período (seco ou úmido). Observações: período úmido: dezembro a abril; período seco: maio a novembro; horário de ponta: das 18h às 21h (fora do horário de verão) e das 19h às 22h (durante horário de verão); horário fora de ponta: demais horas do dia, finais de semana. Os consumidores com valor de DEMANDA contratada igual ou superior a 300 kW são enquadradas, obrigatoriamente, na estrutura HORO-SAZONAL. Contudo é importante enfatizar que a estrutura HORO-SAZONAL AZUL será obrigatoriamente aplicável: quando a tensão de fornecimento for igual ou superior a 69 kV; ou quando a unidade consumidora HORO-SAZONAL não houver exercido qualquer opção; ou para consumidores dos níveis A1, A2 e A3. A estrutura HORO-SAZONAL AZUL é destinada a plantas que têm alto fator de carga no horário de ponta, portanto, apresentam um consumo significativo de energia elétrica nesse período, além de apresentarem um elevado grau de eficiência na utilização da DEMANDA contratada, ou seja, apresentam um consumo maior por quilowatt de DEMANDA.

As Tarifas aplicadas aos consumidores do Grupo B são intituladas como <Tarifa Monômnia>, ou seja, são cobrados apenas o Consumo. Não há diferenciação entre o horário do dia ou da estação do ano.

TARIFAS DO GRUPO B: As Tarifas do Grupo B são aplicadas aos consumidores ligados em tensão inferior a 2.300 volts. Para estes consumidores foi estabelecida a estrutura tarifária intitulada como <Tarifa Monômnia >, ou seja, a tarifa de fornecimento de energia elétrica constituída por preços aplicáveis unicamente ao consumo de energia

Lista de validação do protótipo SE (versão 2)

elétrica ativa (baixa tensão). Não há diferenciação entre o horário do dia ou da estação do ano.

BANDEIRAS: O sistema de bandeiras tarifárias foi estabelecido pela ANEEL para informar ao consumidor o custo mensal de geração de energia elétrica, criando uma relação entre o valor pago pelo consumidor e o custo atualizado pago pelas geradoras de energia elétrica. O sistema de bandeiras indica o custo de geração de energia e permite o repasse mensal de parte dos custos adicionais na geração às tarifas, com isso, a receita que as distribuidoras tiverem com o pagamento será descontada do cálculo do reajuste tarifário anual. Esta informação mensal proporciona ao consumidor a oportunidade de ajustar seu consumo ao seu preço real da energia, lembrando que este custo já está na conta habitual de energia elétrica, contudo geralmente não é percebido. Importante esclarecer que a energia elétrica no Brasil é gerada predominantemente por usinas hidrelétricas, e para funcionar, essas usinas dependem das chuvas e do nível de água nos reservatórios. Quando há pouca água armazenada, usinas termelétricas, conectadas a matriz elétrica nacional, podem ser ligadas com a finalidade de poupar água nos reservatórios das usinas hidrelétricas. Com isso, o custo de geração aumenta, uma vez que essas usinas termelétricas são movidas a combustíveis como gás natural, carvão, óleo combustível e diesel. Por outro lado, quando há muita água armazenada, as térmicas podem ser menos utilizadas e o custo de geração é menor. As BANDEIRAS TARIFÁRIAS são classificadas por cores (verde, amarela e vermelha) e funcionam como um semáforo de trânsito: a BANDEIRA VERDE significa custos baixos para gerar a energia, portanto, a tarifa de energia não terá nenhum acréscimo naquele mês. A BANDEIRA AMARELA indicará um sinal de atenção, pois os custos de geração estão aumentando. Já a BANDEIRA VERMELHA mostra que o custo da geração está mais alto, por exemplo, com o maior acionamento de termelétricas. As bandeiras “amarela e vermelha” apresentarão custos extras nas contas de energia elétrica para cada 100 quilowatts-hora consumidos. Um

a vez por mês, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) calcula o Custo Marginal de Operação (CMO) nas reuniões do Programa Mensal de Operação (PMO) - quando também é decidido se haverá ou não a operação das usinas termelétricas e o custo associado a essa geração. Após cada reunião, com base nas informações do ONS, a Aneel aciona a bandeira tarifária vigente no mês seguinte.

Lista de validação do protótipo SE (versão 2)

DETALHES DA POLÍTICA TARIFÁRIA: De acordo com a política tarifária definida pela ANEEL, tanto consumidores cativos, quanto clientes livres, atendidos em baixa ou em alta tensão, estão sujeitos a encargos de uso do sistema de distribuição e transmissão que reflitam a proporção com eles utilizam os referidos sistemas. Assim, o realinhamento tarifário nada mais é do que o resultado da aplicação da tarifa de energia (TE) resultante dos custos com a compra de energia e da tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD), acrescida da tarifa de uso do sistema de transmissão (TUST). Dessa forma, a abertura das tarifas é conduzida de modo que a tarifa de energia (TE) seja a diferença entre a tarifa de fornecimento vigente (TF) e a "tarifa fio" (TUSD + TUST), assim denominada a parcela que deverá cobrir os investimentos e custos operacionais da CONCESSIONÁRIA com relação ao seu sistema elétrico, bem como da REDE BÁSICA.

SAZONALIDADE: A sazonalidade é a caracterização de necessidades de utilização da energia elétrica que variam de acordo com o período do ano para uma determinada unidade consumidora. Normalmente, esta condição é verificada em unidades consumidoras nas quais ocorra a utilização de matéria-prima advinda, diretamente, da agricultura, pecuária, pesca, ou, ainda, cuja atividade econômica esteja relacionada à extração de sal ou de calcário, este último destinado à agricultura. As plantas enquadradas nessa condição e que, nos últimos 12 (doze) ciclos completos de faturamento, apresentarem valor igual ou inferior a 20% (vinte por cento) para a relação entre a soma dos 04 (quatro) menores e a soma dos 04 (quatro) maiores consumos de energia elétrica ativa, podem solicitar à CONCESSIONÁRIA o reconhecimento de sua sazonalidade para fins de faturamento. Uma vez reconhecida a sazonalidade, o critério de faturamento da unidade consumidora observará as regras a seguir para determinação das grandezas faturáveis, a saber: **DEMANDA FATURÁVEL:** um único valor, observado no fornecimento com tarifas horo-sazonais, os respectivos segmentos: no caso da planta incluída na estrutura tarifária convencional - a demanda faturável será o maior valor verificado entre a demanda medida no ciclo de faturamento e 10% (dez por cento) da maior demanda medida em qualquer dos 11 (onze) ciclos completos de faturamento anteriores; no caso da planta incluída na estrutura tarifária horo-sazonal - a demanda faturável será o maior valor verificado entre a demanda medida no ciclo de

Lista de validação do protótipo SE (versão 2)

faturamento e 10% (dez por cento) da demanda contratada. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ATIVA: o valor apurado por medição durante o período de faturamento, observados no fornecimento com tarifas horo-sazonais, os respectivos segmentos. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E DEMANDA DE POTÊNCIA REATIVAS EXCEDENTES: o valor apurado por medição durante o período de faturamento, observados no fornecimento com tarifas horo-sazonais, os respectivos segmentos, bem como as regras estabelecidas na legislação. OBS: A cada 12 (doze) meses, se a CONCESSIONÁRIA não verificar, por segmento horário, demanda medida superior à contratada em pelo menos 03 (três) ciclos completos de faturamento, a planta ficará sujeita à cobrança complementar, na fatura referente ao 12º (décimo segundo) ciclo, das diferenças positivas entre as 03 (três) maiores demandas contratadas e as respectivas demandas medidas.

ASPECTOS IMPORTANTES: Segue a terminologia básica do setor elétrico para melhor compreender as diretrizes que constituem o regulamento do setor, bem como adquirir a familiaridade com alguns dos termos mais amplamente empregados: CARGA INSTALADA - é o somatório das potências nominais dos equipamentos elétricos existentes na planta industrial (kW), conectados à rede elétrica e em condições de entrar em funcionamento a qualquer momento; CONSUMIDOR - é a pessoa jurídica de fato ou de direito, legalmente representada a assumir a responsabilidade pelo pagamento das faturas de energia elétrica e pelas demais obrigações fixadas em normas e regulamentos da ANEEL, assim vinculando-se aos contratos de fornecimento, de uso e de conexão, conforme cada caso; CLIENTE LIVRE - é o consumidor que pode optar pela compra de energia elétrica junto a qualquer fornecedor, conforme estabelecido pelos artigos 15 e 16 da Lei 9.074, de 07 de julho de 1995, ou seja: a) Consumidores com carga instalada igual ou maior a 3.000 kW, atendidos em nível de tensão igual ou superior a 69 kV, que foram atendidos antes de 07 de julho de 1995; b) Consumidores com carga instalada igual ou maior a 3.000 kW, atendidos em qualquer nível de tensão, atendidos após 07 de julho de 1995; CONTRATO DE FORNECIMENTO - instrumento contratual em que a concessionária e o consumidor responsável por unidade consumidora do Grupo A ajustam as características técnicas e as condições comerciais do fornecimento de energia elétrica; CONTRATO DE USO E DE CONEXÃO - instrumento contratual em que o cliente livre ajusta com a concessionária as características técnicas e as condições de

Lista de validação do protótipo SE (versão 2)

utilização do sistema elétrico local, conforme estabelecido pela Resolução ANEEL nº 281, de 1º de outubro de 1999; CICLO DE FATURAMENTO - intervalo de tempo de, aproximadamente, 30 (trinta) dias, observados o mínimo de 27 (vinte e sete) dias e o máximo de 33 (trinta e três) dias, ao fim do qual a concessionária efetuará a leitura dos medidores da unidade consumidora para apuração das grandezas faturáveis; DEMANDA - é a média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada, em operação simultânea, na planta industrial, durante um intervalo de tempo especificado; DEMANDA CONTRATADA - é a demanda de potência ativa a ser, obrigatória e continuamente, disponibilizada pela concessionária, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência fixados no contrato de fornecimento, e que deverá ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW); DEMANDA DE ULTRAPASSAGEM - é a parcela da demanda medida que excede o valor da demanda contratada, expressa em quilowatts (kW); DEMANDA FATURÁVEL - é o maior valor verificado dentre a demanda contratada e a demanda medida, durante um ciclo de faturamento, que é considerado para fins de cobrança com a aplicação da respectiva tarifa; DEMANDA MEDIDA - é o maior valor de demanda de potência ativa, apurada em intervalos de 15 (quinze) minutos e expressa em quilowatts (kW), verificado por medição ao longo do ciclo de faturamento, correspondendo à área sob a curva de consumo da unidade consumidora; ESTRUTURA TARIFÁRIA - é o conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência ativas, de acordo com a modalidade de fornecimento; HORÁRIO DE PONTA - é o período de 03 (três) horas diárias consecutivas, definido pela concessionária, considerando as características do sistema elétrico da planta, à exceção dos sábados, domingos, feriados estabelecidos por lei federal (Dia da Confraternização Universal, Tiradentes, Dia do Trabalho, Proclamação da Independência, Nossa Sra. Aparecida, Proclamação da República e Natal), terça-feira de Carnaval, sexta-feira da Paixão, "Corpus Christi" e Dia de Finados; HORÁRIO FORA DE PONTA - é o período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta; PERÍODO ÚMIDO - período de 05 (cinco) meses consecutivos, caracterizados pela estação das chuvas no território brasileiro, iniciando-se em dezembro de um ano e findando em abril do ano seguinte; PERÍODO SECO - período de 07 (sete) meses consecutivos, caracterizado pela ausência de chuvas

Lista de validação do protótipo SE (versão 2)

abundantes no território brasileiro, iniciando-se em maio e findando em novembro; PONTO DE ENTREGA - é o ponto de conexão do sistema elétrico da concessionária com as instalações elétricas da planta industrial, caracterizando-se como o limite legal de responsabilidade da concessionária para com o fornecimento de energia elétrica a planta; TARIFA - preço da unidade de consumo de energia elétrica e/ ou da demanda, fixado em Reais / quilowatt x hora (R\$ / kWh) e/ou Reais/ quilowatt (R\$ / kW), respectivamente; TARIFA MONÔMIA - tarifa de fornecimento de energia elétrica composta por preços aplicáveis unicamente ao consumo de energia elétrica; TARIFA BINÔMIA - conjunto de tarifas de fornecimento composto por preços aplicáveis ao consumo de energia elétrica e à demanda faturável; TARIFA DE ULTRAPASSAGEM - tarifa aplicável sobre a diferença positiva entre a demanda medida e a demanda contratada, respeitado o limite de tolerância fixado para cada nível de tensão (110% da demanda contratada para a planta industrial atendida em nível de tensão igual ou inferior a 34,5 kV e 105% da demanda contratada para a planta industrial atendida em nível de tensão superior a 34,5 kV); PLANTA INDUSTRIAL - é o conjunto de instalações e equipamentos elétricos caracterizado pelo recebimento de energia elétrica em um só ponto de entrega, com medição individualizada e correspondente a um único local.

PRINCIPAIS CAUSAS DO ELEVADO CUSTO MÉDIO DA CONTA DE ENERGIA:
As causas mais comuns do encarecimento desnecessário da conta de energia elétrica são: ENQUADRAMENTO INADEQUADO EM ESTRUTURA TARIFÁRIA: enquadramento em estrutura tarifária inadequada às necessidades da unidade consumidora; DEMANDA CONTRATADA INCOMPATÍVEL: a fixação de valores de demanda contratada incompatíveis com a utilização: muito superiores à necessidade (fato que sujeita a planta ao pagamento desnecessário de demanda); inferiores à necessidade (fato que sujeita a planta ao pagamento de penalidades pela ultrapassagem dos valores contratados); BAIXA EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO: a baixa eficiência na utilização da energia elétrica, normalmente causada por processos produtivos irregulares e equipamentos ultrapassados; o BAIXO FATOR DE POTÊNCIA das instalações elétricas da unidade consumidora.

Lista de validação do protótipo SE (versão 2)

REDUZINDO A CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA: A existência do enquadramento em estrutura tarifária inadequada às necessidades da planta, permite ao consumidor negociar junto a concessionária, a possibilidade do reenquadramento e revisão do valor contratual da DEMANDA que resultam em menor despesa com a energia elétrica. Esta decisão, porém, só deve ser tomada após adequada verificação dos padrões de CONSUMO e DEMANDA nos segmentos horários (ponta e fora de ponta) e sazonais (períodos seco e úmido). Além de revelar relações entre hábitos e CONSUMO de energia elétrica, úteis ao se estabelecer rotinas de combate ao desperdício, a análise da fatura de energia elétrica é a base para a avaliação econômica dos projetos de eficiência energética. A análise pode ser dividida em três partes: correção do fator de potência; determinação do valor da demanda contratual; enquadramento tarifário.

(i) CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA: Em geral, a correção do fator de potência é uma das medidas de custo mais baixo para a redução de despesa com energia elétrica. Inicialmente, verifique se nas 12 últimas faturas de energia elétrica existe o pagamento de parcelas de CONSUMO de Energia Reativa Excedente e/ou DEMANDA Reativa Excedente. Se isso ocorre com frequência, faça um levantamento da instalação, com a finalidade de localizar pontos onde ocorra uma ou mais das situações relacionadas: motores trabalhando em vazio durante grande parte de tempo; motores superdimensionados para as respectivas cargas; grandes transformadores alimentando pequenas cargas por muito tempo; lâmpadas de descarga (de vapor de mercúrio, fluorescente, entre outras) sem correção individual do fator de potência; grande quantidade de motores de pequena potência.

(ii) ESTUDO DE DEMANDA CONTRATUAL: Para a realização deste estudo é recomendável ter em mãos as últimas trinta e seis faturas de energia elétrica e o 'Relatório de DEMANDA' da instalação, que deve ser solicitado junto à concessionária de energia elétrica. Nesse relatório estão contidas informações importantes, tais como: DEMANDA ativa e reativa e CONSUMO de energia ativa e reativa, que foram armazenadas na memória do medidor de energia por um período superior a um mês em um intervalo de tempo de quinze minutos. Estas informações são importantes para se obter a curva de carga da instalação, sendo assim possível diagnosticar os horários em que estão ocorrendo os maiores CONSUMOS de energia e DEMANDA. Esta

Lista de validação do protótipo SE (versão 2)

documentação somente estará disponível caso o medidor de energia elétrica possua “memória de massa”.

(iii) ESTUDO DE ENQUADRAMENTO TARIFÁRIO: A última análise a ser realizada é aquela relativa à seleção do grupo tarifário. Como as informações registradas nas faturas de energia elétrica das modalidades de tarifação menos complexas são insuficientes para analisar vantagens ou desvantagens de modalidades mais complexas, nem sempre esta análise pode ser realizada sem um bom conhecimento de engenharia elétrica e sem medições confiáveis. Por exemplo, se a unidade de consumo é tarifada no Grupo B (tarifa monômnia), a fatura de energia elétrica apresenta apenas os dados de consumo cheio, informação insuficiente para a análise das tarifações do grupo A, que exigem o conhecimento das parcelas de CONSUMO e DEMANDA nos horários de ponta e fora de ponta. Ainda, se a unidade é enquadrada na tarifação HORO-SAZONAL VERDE, a fatura de energia elétrica não mostra os valores demandados na ponta e fora de ponta, daí a dificuldade da avaliação das vantagens do enquadramento na tarifação HORO-SAZONAL AZUL. No entanto, a partir das modalidades tarifárias mais complexas, podemos avaliar as mais simples.

ESTUDO DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA: um levantamento básico das instalações para a correção do fator de potência pode ser feito com a finalidade de localizar pontos onde ocorra uma ou mais das situações relacionadas: motores trabalhando em vazio durante grande parte de tempo; motores superdimensionados para as respectivas cargas; grandes transformadores alimentando pequenas cargas por muito tempo; lâmpadas de descarga (de vapor de mercúrio, fluorescente, entre outras) sem correção individual do fator de potência; grande quantidade de motores de pequena potência; equipamentos utilizados e operados de forma inconvenientemente; instalação de bancos de capacitores onde for necessário - esta instalação pode ser na entrada da edificação ou em algum equipamento específico. Os bancos de capacitores também podem ser do tipo potência fixa ou automática (potência variável). No caso de instalações que não possuam corpo técnico capacitado para realizar um diagnóstico localizando os equipamentos responsáveis pelo baixo fator de potência e as providências básicas para a correção do fator de potência, recomenda-se contatar empresas de engenharia especializadas para a realização dos serviços.

Lista de validação do protótipo SE (versão 2)

MANUTENÇÃO PREVENTIVA: A manutenção preventiva de instalações e equipamentos elétricos pode ser considerada como um dos ramos da técnica que mais evoluiu na atualidade, pois se constitui em uma poderosa ferramenta para garantir o funcionamento contínuo das instalações responsáveis pelo suprimento e aproveitamento de energia elétrica. A avaliação precisa dos custos envolvidos em qualquer tipo de interrupção de processo, sem sombra de dúvida, resulta na necessidade de implantação de programas de manutenção preventiva. Os objetivos principais são adequar a cada intervalo de tempo, as condições da instalação e seus equipamentos a um novo período ininterrupto de funcionamento. Isto permite reduzir os custos dos problemas imprevistos, que eventualmente ocorram durante os períodos de operação normal. Importante observar que executar a manutenção preventiva de um equipamento não implica necessariamente na abertura, desmonte e remonte, nem ensaio do mesmo, mas na realização de uma série de procedimentos padrão. Inspeções de rotina, objetivando o levantamento de dados de corrente, tensão, temperatura e parâmetros capazes de indicar a existência ou evolução de problemas internos ao equipamento também se inserem dentro das práticas de manutenção preventiva. O objetivo das inspeções visando a manutenção preventiva dos equipamentos elétricos é salvaguardá-los contra interrupções e danos através da detecção e eliminação de causas potenciais de defeitos. Neste sentido, a manutenção periódica deve possibilitar muitos anos de operação livre de problemas.

ROTINAS DE INSPEÇÃO: A rotina para a execução das inspeções relativas a manutenção preventiva de equipamentos elétricos envolve a observação visual de algumas de suas condições específicas, bem como, quando possível, os reparos necessários que podem ser realizados no campo. A frequência destas inspeções depende, sobretudo, da importância crítica do equipamento em questão, das condições ambientais, e/ou das condições operacionais. Atitudes simples, como verificar se há ventilação suficiente e efetuar a limpeza frequentemente são fatores da maior importância. Além disto, é necessário intervir imediatamente ao surgirem ou ao serem notados quaisquer indicativos de anormalidades. As rotinas de inspeção básicas para equipamentos elétricos em operação normal envolvem, de uma forma geral, avaliar: **CORRENTE, TENSÃO E LIMPEZA.**

Lista de validação do protótipo SE (versão 2)

CORRENTE e TEMPERATURA: O aquecimento de um equipamento elétrico depende de sua capacidade térmica. O controle da temperatura de operação se reveste de elevada importância, pois, quando o mesmo opera acima do nível máximo de temperatura permitido pela classe de isolamento, ocorre um decréscimo na sua expectativa de vida. Por exemplo, um equipamento com isolamento classe B ou F, operando com 8 a 10 °C acima de sua temperatura normal de trabalho, tem sua expectativa de vida reduzida à metade. Estes fatos reforçam a necessidade de um monitoramento adequado das condições de carregamento, ou seja, da corrente de carga e da temperatura associadas, para evitar eventuais sobrecargas.

TENSÃO: A tensão aplicada a um equipamento deve ser monitorada de forma similar à corrente de carga. Sobre e subtensões, tensões desequilibradas e/ou com conteúdo harmônico são fatores que afetam o seu isolamento e o seu desempenho em muitos casos.

LIMPEZA: É importante que o equipamento fique isento de poeiras, teias de aranha, fiapos de algodão, óleo, ou seja, sujeira em geral. A sujeira acumulada na carcaça de um equipamento por exemplo, diminui a troca de calor com o ambiente, além de poder reter umidade e provocar curto-circuito, bem como, ser um elemento propagador de incêndios. Desta forma, é conveniente limpar externamente o equipamento e, logo após, as suas partes internas. Para tanto, usa-se ar comprimido seco e limpo, soprando-se o pó e os resíduos do seu interior. É importante também certificar-se que todas as passagens de ar estão livres e desimpedidas.

MANUTENÇÃO DA ENTRADA DE ENERGIA E SUBESTAÇÃO (13.8 Kv): Os procedimentos listados a seguir compõem a manutenção preventiva semestral da Entrada de Energia e Subestação Básica de uma planta industrial: verificar as condições da estrutura de entrada (postes, cruzetas, isoladores); verificar as condições dos Protetores de Surto de Tensão (para-raios); observar se há a conexão dos para-raios com o aterramento e sua integridade; quando possível, verificar o elo fusível, de acordo com a ABNT - (Norma para Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária de Distribuição; verificar o aterramento dos transformadores; verificar as temperaturas dos

Lista de validação do protótipo SE (versão 2)

transformadores e das conexões da subestação abrigada com o sensor térmico. Para a realização desta manutenção são necessários: sensor térmico; alicate multitestes; haste para aterramento temporário; placa de sinalização de impedimento de reenergização; material para limpeza dos quadros e reaperto das conexões. **PRECAUÇÕES IMPORTANTES:** Para qualquer intervenção nas instalações e/ou equipamentos de um sistema elétrico, algumas precauções preliminares de segurança devem ser observadas com o objetivo de prevenir a integridade, tanto do pessoal quanto dos equipamentos: sinalizar adequadamente os equipamentos, delimitando-se a área de trabalho e de passagem; utilizar somente ferramental adequado a cada tipo de tarefa; jamais executar individualmente serviços próximos a circuitos energizados; certificar-se, através de inspeção visual, de que os equipamentos liberados para a manutenção estejam totalmente desenergizados; cuidar para que todos os profissionais envolvidos estejam utilizando equipamentos de proteção individual (EPI's), para prevenir danos físicos que possam ser causados pelos riscos existentes da atividade (principais EPI's: botas de proteção (eletricista); protetores auriculares; óculos de proteção; luvas isolantes de borracha/couro; capacete); tomar medidas adicionais de controle para se minimizar ainda mais o nível de risco (utilizar vestimentas adequadas às atividades; não utilizar adornos pessoais; garantir iluminação adequada e uma posição de trabalho segura, tendo os membros superiores livres para a realização das tarefas; não improvisar EPI's; observar circunstâncias que impossibilitem a execução das tarefas - sempre consultar o responsável pela operação e manutenção). **QUADROS DE COMANDO – SISTEMAS ENERGIZADOS:** Verificar a temperatura dos componentes. Os cabos, conexões e terminais se deterioram quando conduzem uma corrente acima de sua capacidade. O desgaste reduz a capacidade de condução e a qualidade da isolação, o que aumenta o risco de incêndio. Para temperaturas acima de 70°C em cabos e 80°C em terminais de conexão, investigar as possíveis causas: folgas nas conexões, subdimensionamento dos cabos, terminais ou conexões, desequilíbrio da rede de distribuição de energia, avaria nos enrolamentos do motor, emendas malfeitas nos cabos, entre outros. **Identificar ruídos incomuns:** Geralmente são causados por folgas nas conexões internas dos contadores, no entanto nada impede a ocorrência em outros equipamentos. As folgas podem ocasionar um superaquecimento nas conexões, podendo incendiar o equipamento. **Verificar desequilíbrios de tensão e corrente nas três fases com o alicate multitestes:** Um pequeno desequilíbrio de tensão da ordem de

Lista de validação do protótipo SE (versão 2)

2,3%, é responsável por um desequilíbrio de corrente da ordem de 17%, juntamente com uma elevação de temperatura de 30°C; a cada 10 °C de elevação de temperatura, a vida útil da isolação de um motor elétrico diminui pela metade. **QUADROS DE COMANDO – SISTEMAS DESENERGIZADOS:** O procedimento básico para desenergização: desenergização da área onde será realizada a manutenção com o travamento, se houver, dos dispositivos de seccionamento, impedindo a reenergização; constatação da ausência de tensão; instalação de aterramento temporário e proteções adicionais; instalação da sinalização de impedimento de reenergização. Uma vez tomados todos os cuidados relativos ao procedimento de desenergização da área: **limpeza do quadro de comando** - A poeira causa o isolamento térmico dos contatos e conexões elétricas, prejudicando a dissipação de calor (para a limpeza, podem ser utilizados aspirador de pó, panos ou pincel); **reaperto de todas as conexões:** Quanto mais frouxa a conexão, a corrente circulará por uma área menor, o que aumenta a temperatura e as perdas, podendo ocasionar incêndios. **Reenergização:** O estado de instalação desenergizada deve ser mantido até a autorização para reenergização, devendo ser reenergizada respeitando a sequência de procedimentos a seguir: retirada das ferramentas, utensílios e equipamentos; retirada das proximidades de todos os trabalhadores não envolvidos no processo de reenergização; remoção do aterramento temporário e das proteções adicionais; remoção da sinalização de impedimento de reenergização e do aterramento temporário; destravamento, se houver, e religação dos dispositivos de seccionamento. **PERIODICIDADE DE MANUTENÇÃO:** A seguir é fornecida uma sugestão de periodicidade de manutenção dos equipamentos de uma subestação básica. Equipamento Periodicidade: Fios, Cabos e Muffas 6 a 12 meses; Isoladores 12 a 15 meses; Ferragens 6 a 12 meses; Baterias 3 meses; Capacitores - Reapertos 6 a 12 meses Medição 3 meses; Relés 6 a 12 meses; Para-raios 12 meses; TC's e TP's 6 a 12 meses; Transformadores - Estanqueidade permanente Válvula de segurança permanente, Relés 3 meses, Resistência de terra 3 meses. Limpeza 3 meses Termômetro 3 meses, Relé Buchholz 4 a 6 meses; Comutador - lubrificação 4 a 6 meses, Guarnições e vedações 4 a 6 meses, Sílica gel 4 a 6 meses, Óleo comutador 12 meses, Óleo geral 2 a 4 anos, Radiadores 2 a 4 anos; Disjuntores Óleo 6 meses; Câmaras de extinção 3 meses, Reaperto de parafusos 3 a 6 meses, Pressão dos contatos 6 meses, Mecanismo 1 mês; Seccionadores - Limpeza dos contatos 6 meses Reaperto de parafusos 6 meses Pressão dos contatos 12 meses Isoladores 12 meses.

APÊNDICE D – LISTA DE VALIDAÇÃO VERSÃO 3 (PARCIAL)

Lista de validação do protótipo SE

Nome: _____

Data: 20/11/2017 e 30/10/2017

Neste documento é apresentada a lista de validação do protótipo SE – versão 3, que se refere aos dados que o sistema deverá produzir (saída) de acordo com as condições de entrada informadas pelo usuário, as quais devem ser validadas por especialistas da área.

***** TELA DE ABERTURA E REGRAS DE CONTROLE *****

Informação: *** As UTILIDADES INDUSTRIAIS representam uma parcela importante dos custos operacionais de uma empresa, portanto a preocupação com esses itens é vital para a competitividade do negócio. Neste trabalho são destacadas Água, Energia Elétrica e Gás Natural como insumos/ utilidades primárias, e Aquecimento, Ar Comprimido, Ar Condicionado e Iluminação, como utilidades secundárias. ***

Pergunta: Em termos de UTILIDADES, identifique qual o interesse relacionado a pesquisa:

1 = Energia Elétrica

2 = Água

3 = Gás Natural

4 = Aquecimento

5 = Ar Comprimido

6 = Ar Condicionado

7 = Iluminação

Selecione uma das opções acima referidas: ? (1 2 3 4 5 6 7)

******* Fase de Requisitos *********ENERGIA ELÉTRICA****Respostas:****1 = Energia Elétrica**

Informação: *** A empresa utiliza - Energia Elétrica - como INSUMO (UTILIDADE PRIMÁRIA) para seu PROCESSO INDUSTRIAL ***

Explicação: > O objetivo definido na consulta ao sistema foi a utilidade: Energia Elétrica

Lista de validação do protótipo SE

> A utilidade 'Energia Elétrica' é considerada 'Utilidade Primária', uma vez que é obtida através de contratação externa junto a concessionária ***

ATENÇÃO: O consumo da energia elétrica na indústria representa um dos custos mais elevados para o processo produtivo, dessa forma, o uso adequado e eficiente dessa energia deve fazer parte de seu planejamento estratégico. Se esta utilidade primária for o único insumo energético da planta, requererá atenção especial.

Pergunta: *** A empresa possui SISTEMA DE MEDIÇÃO para UTILIDADES INDEPENDENTE da Concessionária? (1= sim) ou (2= não):

Respostas:

1 = Sim

Informação: A empresa possui SISTEMA DE MEDIÇÃO de UTILIDADES INDEPENDENTE da Concessionária

Explicação: > Sistema de Medição de utilidades: sim

A empresa dispõe de sistema de medição para utilidades - O monitoramento e verificação das utilidades na indústria têm como objetivo o estudo dos fluxos energéticos, com o propósito de racionalizar o uso da energia elétrica, água, combustíveis, e reduzir seus custos. Sua implantação é considerada uma das ações de eficiência energética e busca a obtenção do menor índice de custo em relação à utilidade utilizada em um processo.

2 = Não

Informação: A empresa não possui SISTEMA DE MEDIÇÃO de UTILIDADES INDEPENDENTE da Concessionária

Explicação: > Sistema de Medição de utilidades: não

A empresa não dispõe de sistema de medição para utilidades - O monitoramento e verificação das utilidades na indústria têm como objetivo o estudo dos fluxos energéticos, com o propósito de racionalizar o uso da energia elétrica, água, combustíveis, e reduzir seus custos. Sua implantação é considerada uma das ações de eficiência energética e busca a obtenção do menor índice de custo em relação à utilidade utilizada em um processo.

Lista de validação do protótipo SE

*ATENÇÃO: A implantação do sistema de monitoramento e verificação é considerada uma das principais ações de eficiência energética e busca a obtenção do menor índice de custo em relação à utilidade utilizada em um processo. ***** Quem não mede, não controla, não gerencia e não melhora qualquer variável ou resultado. ******

Pergunta: Existe na empresa um departamento com foco nas oportunidades de EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ? (1= sim) ou (2= não):

Respostas:

1 = Sim

Informação: *Ha na empresa um departamento com foco nas oportunidades de EFICIÊNCIA ENERGÉTICA*

Explicação: > *Departamento Especializado em Eficiência Energética: sim*

A empresa dispõe de um Departamento Especializado em Eficiência Energética - O gerenciamento da eficiência energética na indústria tem por objetivo a visualização de forma macro do consumo dos energéticos de todas as áreas responsáveis pelo funcionamento produtivo da planta, proporcionando: integrar os vários setores de consumo na indústria; apontar através da coleta de dados de medição e verificação os setores responsáveis pelo maior consumo de energia na planta, propor ações de controle e eliminação dos desperdícios de consumo; identificar as principais áreas de desperdícios de energia; mostrar a importância do planejamento estratégico de produção como ferramenta de redução do desperdício e de melhor aproveitamento dos energéticos; propor ações de combate às perdas e ao desperdício; mostrar economia alcançada após a implantação das ações.

2 = Não

Informação: *Não ha na empresa um departamento com foco nas oportunidades de EFICIÊNCIA ENERGÉTICA*

Explicação: > *Departamento Especializado em Eficiência Energética: não*

A empresa não dispõe de um Departamento Especializado em Eficiência Energética - O gerenciamento da eficiência energética na indústria tem por objetivo a visualização de forma macro do consumo dos energéticos de todas as áreas responsáveis pelo funcionamento produtivo da planta, proporcionando: integrar os vários setores de consumo na indústria; apontar através da coleta de dados de medição e verificação os setores responsáveis pelo maior consumo de energia na planta, propor ações de

Lista de validação do protótipo SE

controle e eliminação dos desperdícios de consumo; identificar as principais áreas de desperdícios de energia; mostrar a importância do planejamento estratégico de produção como ferramenta de redução do desperdício e de melhor aproveitamento dos energéticos; propor ações de combate as perdas e ao desperdício; mostrar economia alcançada após a implantação das ações.

Pergunta: Informe a demanda elétrica em kW:

Limite: ≤ 0

Informação: Definição de DEMANDA: potência elétrica demandada pela unidade consumidora, normalmente medida em kW ou MW;

Nota: A demanda contratada pela unidade consumidora deve atender à potência de todos os equipamentos instalados, considerando um fator de simultaneidade previsto em norma.

Resposta: xxxx kW

Explicação: > Demanda Contratada: xxxx kW.

Pergunta: Informe o consumo médio mensal de energia elétrica (kWh):

Limites: ≤ 0 ; $> (24 * \text{demanda})$ $\times 30$

Informação: Definição de CONSUMO: energia consumida pelo cliente, normalmente medida em kWh ou MWh

Definição de HORÁRIO DE PONTA: período de três horas consecutivas (exceto sábados, domingos e feriados nacionais) definido pela concessionária local em função de suas características (o horário de ponta é definido das 17:30 às 20:30).

Definição de HORÁRIO FORA-de-PONTA: as 21 horas restantes do dia. (Sábados, domingos e feriados nacionais são considerados fora de pontas)

Respostas: xxxx

Explicação: > Consumo Médio: xxxx kWh

Pergunta: Informe a tensão elétrica em kV:

Limites: ≤ 0 ; > 25 ; < 30 ; > 44 ; < 69 ; > 69 ; < 88 ; > 138 ; < 230

Respostas: xxxx

Explicação: > Tensão de Entrada: xxxx kV

Lista de validação do protótipo SE

***** Fase de Contrato *****

ENERGIA ELÉTRICA

Para tensão < 2.3 kV e demanda >= 150 kW

Pergunta: A planta é atendida à partir de Sistema Subterrâneo de Distribuição ? (1= sim) ou (2= não):

Respostas:

1 = Sim

Informação: *A planta é atendida à partir de Sistema Subterrâneo de Distribuição.*

Tensão: xxxx kV- A empresa é caracterizada pela Concessionária como consumidora do Grupo A - Subgrupo AS

Explicação: *> Atendimento à partir de Sistema Subterrâneo de Distribuição: sim Grupo A - Subgrupo AS*

2 = Não

Informação: *A planta não é atendida à partir de Sistema Subterrâneo de Distribuição.*

Tensão: xxxx kV- A empresa é caracterizada pela Concessionária como consumidora do Grupo B

Explicação: *> Atendimento à partir de Sistema Subterrâneo de Distribuição: não Grupo B*

Para tensão < 2.3 kV

Informação: *Tensão: xxxx kV- A empresa é caracterizada pela Concessionária como consumidora do Grupo B*

Explicação: *> Atendimento à partir de Sistema Subterrâneo de Distribuição: não As Tarifas do Grupo B são aplicadas aos consumidores ligados em tensão inferior a 2.300 volts. Para estes consumidores foi estabelecida a estrutura tarifária intitulada como <Tarifa Monômnia >, ou seja, a tarifa de fornecimento de energia elétrica constituída por preços aplicáveis unicamente ao consumo de energia elétrica ativa (baixa tensão). Não há diferenciação entre o horário do dia ou da estação do ano.*

Para tensão > 2.3 kV e <= 25 kV

Informação: *A empresa é caracterizada pela Concessionária como consumidora do Grupo A - Subgrupo AS*

Lista de validação do protótipo SE

Explicação: > Atendimento à partir de Sistema Subterrâneo de Distribuição: não
As Tarifas aplicadas aos consumidores do Grupo A são intituladas como <Tarifa Binômia>, ou seja, são cobrados pelo Consumo e pela Demanda, podendo ser tarifa: convencional, horo-sazonal verde ou horo-sazonal azul (compulsória para subgrupos A1, A2 e A3), dependendo da tensão de entrada.

Para tensão ≥ 30 kV e ≤ 44 kV

Informação: A empresa é caracterizada pela Concessionária como consumidora do Grupo A - Subgrupo A3a

Explicação: > Atendimento à partir de Sistema Subterrâneo de Distribuição: não
As Tarifas aplicadas aos consumidores do Grupo A são intituladas como <Tarifa Binômia>, ou seja, são cobrados pelo Consumo e pela Demanda, podendo ser tarifa: convencional, horo-sazonal verde ou horo-sazonal azul (compulsória para subgrupos A1, A2 e A3), dependendo da tensão de entrada.

Para tensão = 69 kV

Informação: A empresa é caracterizada pela Concessionária como consumidora do Grupo A - Subgrupo A3

Explicação: > Atendimento à partir de Sistema Subterrâneo de Distribuição: não
As Tarifas aplicadas aos consumidores do Grupo A são intituladas como <Tarifa Binômia>, ou seja, são cobrados pelo Consumo e pela Demanda, podendo ser tarifa: convencional, horo-sazonal verde ou horo-sazonal azul (compulsória para subgrupos A1, A2 e A3), dependendo da tensão de entrada.

Para tensão ≥ 88 kV e ≤ 138 kV

Informação: A empresa é caracterizada pela Concessionária como consumidora do Grupo A - Subgrupo A2

Explicação: > Atendimento à partir de Sistema Subterrâneo de Distribuição: não
As Tarifas aplicadas aos consumidores do Grupo A são intituladas como <Tarifa Binômia>, ou seja, são cobrados pelo Consumo e pela Demanda, podendo ser tarifa: convencional, horo-sazonal verde ou horo-sazonal azul (compulsória para subgrupos A1, A2 e A3), dependendo da tensão de entrada.

Lista de validação do protótipo SE

Para tensão ≥ 230 kV

Informação: *A empresa é caracterizada pela Concessionária como consumidora do Grupo A - Subgrupo A1*

Explicação: *> Atendimento à partir de Sistema Subterrâneo de Distribuição: não
As Tarifas aplicadas aos consumidores do Grupo A são intituladas como <Tarifa Binômia>, ou seja, são cobrados pelo Consumo e pela Demanda, podendo ser tarifa: convencional, horo-sazonal verde ou horo-sazonal azul (compulsória para subgrupos A1, A2 e A3), dependendo da tensão de entrada.*

Pergunta: Em termos de TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA, identifique qual a opção efetuada:

- 1 = Nenhuma
- 2 = Convencional
- 3 = Horo-sazonal verde
- 4 = Horo-sazonal azul

Selecione uma das opções acima referidas: ? (1 2 3 4)

Respostas:

1 = Nenhuma

Informação: *Não houve opção para tarifa de energia elétrica.*

Explicação: *> Tipo de TARIFA atualmente praticada: Nenhuma*

2 = Convencional

Informação: *A opção 'Convencional' para tarifa de energia elétrica.*

Explicação: *> Tipo de TARIFA atualmente praticada: Convencional*

3 = Horo-sazonal verde

Informação: *A opção 'Horo-sazonal verde' para tarifa de energia elétrica.*

Explicação: *> Tipo de TARIFA atualmente praticada: Horo-sazonal verde*

4 = Horo-sazonal azul

Informação: *A opção 'Horo-sazonal azul' para tarifa de energia elétrica.*

Explicação: *> Tipo de TARIFA atualmente praticada: Horo-sazonal azul*

Pergunta: Em termos de FATOR DE CARGA de energia elétrica em horário de Ponta, identifique qual a opção que se enquadra:

1 = Baixo

*USE 212 80% ↑ ALTO
↓ BAIXO*

Lista de validação do protótipo SE

2 = Alto

Selecione uma das opções acima referidas: ? (1 2)

Respostas:

1 = Baixo

Informação: *Baixo Fator de Carga em horário de Ponta.*

Explicação: > *FATOR DE CARGA de energia elétrica em horário de Ponta: Baixo*

2 = Alto

Informação: *Alto Fator de Carga em horário de Ponta.*

Explicação: > *FATOR DE CARGA de energia elétrica em horário de Ponta: Alto*

Para tensão ≥ 2.3 kV, demanda < 300 kW, Fator de Carga = Baixo

Informação: *Tensão: xxxx kV – Grupo xxxx – Tarifa xxxx .*

Explicação: > *Tipo de TARIFA definida pelo SISTEMA: Convencional Binômia*

Para tensão ≥ 2.3 kV e < 69 kV, demanda < 300 kW

Informação: *Tensão: xxxx kV – Grupo xxxx – Tarifa xxxx .*

Explicação: > *Tipo de TARIFA definida pelo SISTEMA: Convencional Binômia*

Para tensão ≥ 2.3 kV e < 69 kV, demanda ≥ 300 kW, baixo fator de carga

Informação: *Tensão: xxxx kV – Grupo xxxx – Tarifa xxxx .*

Explicação: > *Tipo de TARIFA definida pelo SISTEMA: Horo-Sazonal Verde*

Para tensão < 2.3 kV, não atendida por Sistema Subterrâneo de Distribuição

Informação: *Tensão: xxxx kV – Grupo xxxx – Tarifa xxxx .*

Explicação: > *Tipo de TARIFA definida pelo SISTEMA: Convencional Monômia*

Para tensão < 2.3 kV, demanda ≥ 150 kW, atendida por Sistema Subt. Distr.

Informação: *Tensão: xxxx kV – Grupo xxxx – Tarifa xxxx .*

Explicação: > *Tipo de TARIFA definida pelo SISTEMA: Convencional Monômia*

Para tensão ≥ 69 kV, demanda ≥ 300 kW, alto fator de carga ou não

Informação: *Tensão: xxxx kV – Grupo xxxx – Tarifa xxxx .*

Explicação: > *Tipo de TARIFA definida pelo SISTEMA: Horo-Sazonal Azul*

Lista de validação do protótipo SE

Para tensão ≥ 69 kV, demanda ≥ 300 kW, Sem opção de tarifa de ener. elétrica

Informação: Tensão: xxx kV – Grupo xxx – Tarifa xxx .

Explicação: > Tipo de TARIFA definida pelo SISTEMA: Horo-Sazonal Azul

Para tensão ≥ 69 kV, Sem opção de tarifa de energia elétrica

Informação: Tensão: xxx kV – Grupo xxx – Tarifa xxx .

Explicação: > Tipo de TARIFA definida pelo SISTEMA: Horo-Sazonal Azul

Pergunta: As últimas 12 contas de Energia Elétrica estão livres de PENALIDADES TÉCNICAS (Fator de Potência e/ou Ultrapassagem na Demanda) ? (1= sim) ou (2= não):

Informação: *** A próxima cadeia de questionamentos requer que você tenha as últimas 12 contas de energia elétrica nas mãos visando passar informações técnicas do período de um ano. Estas informações são importantes para avaliação do comportamento do consumo e situação técnica atual desta utilidade na empresa, bem como observar possibilidades de adequação contratual e eventualmente redução de custos ***

Respostas:

1 = Sim

Informação: Não há aplicação de PENALIDADES TÉCNICAS nas contas de Energia Elétrica

Explicação: > De acordo com levantamento a planta sim esta livre de PENALIDADES TÉCNICAS.

2 = Não

Informação: ATENÇÃO: Há aplicação de PENALIDADES TÉCNICAS nas contas de Energia Elétrica

Explicação:

Pergunta: A correção do FATOR DE POTÊNCIA esta igual ou acima de 92% ? (1= sim) ou (2= não):

Respostas:

1 = Sim

"MUCHAS"

* Desperdício superior prior

Lista de validação do protótipo SE

Informação: *A empresa está livre de PENALIDADES TÉCNICAS por correção do FATOR DE POTÊNCIA.*

Explicação: *> A empresa está livre de PENALIDADES TÉCNICAS por correção do FATOR DE POTÊNCIA.*

2 = Não

Informação: *Atenção: a empresa está pagando PENALIDADE TÉCNICA devido a necessidade de correção do FATOR DE POTÊNCIA!*

Explicação: *> ATENÇÃO: A empresa está pagando PENALIDADES TÉCNICAS devido a necessidade de correção do FATOR DE POTÊNCIA!*

Pergunta: A empresa esta pagando PENALIDADE TECNICA por ULTRAPASSAGEM de DEMANDA ? (1= sim) ou (2= não):

Respostas:

1 = Sim

Informação: *Atenção: A empresa esta pagando PENALIDADE por ULTRAPASSAGEM de DEMANDA, necessário calcular a DEMANDA requerida e ajustar o contrato junto a concessionaria*

Explicação: *> ATENÇÃO: A empresa está pagando PENALIDADES TÉCNICAS por ULTRAPASSAGEM de DEMANDA, necessário calcular a DEMANDA requerida e ajustar o contrato junto a concessionária!*

2 = Não

Informação: *A empresa está livre de PENALIDADES TÉCNICAS por ULTRAPASSAGEM de DEMANDA.*

Explicação: *> A empresa está livre de PENALIDADES TÉCNICAS por ULTRAPASSAGEM de DEMANDA.*

Pergunta: Para continuar a análise da utilidade, selecione um dos dois caminhos possíveis:

1 = Projeto

2 = Manutenção

Selecione uma das opções acima referidas: ? (1 2)

Respostas:

1 = Projeto

Lista de validação do protótipo SE

Informação: *Projeto*

Explicação: > Caminho selecionado para a análise da utilidade: *Projeto*

2 = Manutenção

Informação: *Manutenção*

Explicação: > Caminho selecionado para a análise da utilidade: *Manutenção*

***** **Fase de Projeto** *****

ENERGIA ELÉTRICA

Pergunta: Há BANCO DE CAPACITORES instalados do tipo potência fixa ou automático (potência variável) na planta ?:

1 = Sim

2 = Não

Selecione uma das opções acima referidas: ? (1 2)

Respostas:

1 = Sim

Informação: *Sim*

Explicação: > *BANCO DE CAPACITORES instalados na planta: sim*

2 = Não

Informação: *Não*

Explicação: > *BANCO DE CAPACITORES instalados na planta: não*

ESTUDO DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA: um levantamento básico das instalações para a correção do fator de potência pode ser feito com a finalidade de localizar pontos onde ocorra uma ou mais das situações relacionadas: motores trabalhando em vazio durante grande parte de tempo; motores superdimensionados para as respectivas cargas; grandes transformadores alimentando pequenas cargas por muito tempo; lâmpadas de descarga (de vapor de mercúrio, fluorescente, entre outras) sem correção individual do fator de potência; grande quantidade de motores de pequena potência; equipamentos utilizados e operados de forma inconvenientemente; instalação de bancos de capacitores onde for necessário - esta instalação pode ser na entrada da edificação ou em algum equipamento específico. Os bancos de capacitores também podem ser do tipo potência fixa ou automática (potência variável). No caso de instalações que não possuam corpo técnico capacitado para realizar um diagnóstico localizando os equipamentos responsáveis pelo baixo fator de potência e as

Lista de validação do protótipo SE

providências básicas para a correção do fator de potência, recomenda-se contatar empresas de engenharia especializadas para a realização dos serviços.

Pergunta: Há realização de estudos para verificação dos padrões de CONSUMO e DEMANDA da planta ?:

1 = Sim

2 = Não

Selecione uma das opções acima referidas: ? (1 2)

Respostas:

1 = Sim

Informação: *Sim*

Explicação: > *Realização de estudos para verificação dos padrões de CONSUMO e DEMANDA da planta: sim*

2 = Não

Informação: *Não*

Explicação: > *Realização de estudos para verificação dos padrões de CONSUMO e DEMANDA da planta: não*

ESTUDO DE DEMANDA CONTRATUAL: Para a realização deste estudo é recomendável ter em mãos as últimas trinta e seis faturas de energia elétrica e o 'Relatório de DEMANDA' da instalação, que deve ser solicitado junto à concessionária de energia elétrica. Nesse relatório estão contidas informações importantes, tais como: DEMANDA ativa e reativa e CONSUMO de energia ativa e reativa, que foram armazenadas na memória do medidor de energia por um período superior a um mês em um intervalo de tempo de quinze minutos. Estas informações são importantes para se obter a curva de carga da instalação, sendo assim possível diagnosticar os horários em que estão ocorrendo os maiores CONSUMOS de energia e DEMANDA. Esta documentação somente estará disponível caso o medidor de energia elétrica possua "memória de massa".

Pergunta: Há realização de estudos para verificação do enquadramento tarifário às necessidades da planta ?:

1 = Sim

2 = Não

Lista de validação do protótipo SE

Selecione uma das opções acima referidas: ? (1 2)

Respostas:

1 = Sim

Informação: *Sim*

Explicação: > *Realização de estudos para verificação do enquadramento tarifário às necessidades da planta: sim*

2 = Não

Informação: *Não*

Explicação: > *Realização de estudos para verificação do enquadramento tarifário às necessidades da planta: não*

ESTUDO DE ENQUADRAMENTO TARIFÁRIO: A última análise a ser realizada é aquela relativa à seleção do grupo tarifário. Como as informações registradas nas faturas de energia elétrica das modalidades de tarifação menos complexas são insuficientes para analisar vantagens ou desvantagens de modalidades mais complexas, nem sempre esta análise pode ser realizada sem um bom conhecimento de engenharia elétrica e sem medições confiáveis. Por exemplo, se a unidade de consumo é tarifada no Grupo B (tarifa monômnia), a fatura de energia elétrica apresenta apenas os dados de consumo cheio, informação insuficiente para a análise das tarifas do grupo A, que exigem o conhecimento das parcelas de CONSUMO e DEMANDA nos horários de ponta e fora de ponta. Ainda, se a unidade é enquadrada na tarifação HORO-SAZONAL VERDE, a fatura de energia elétrica não mostra os valores demandados na ponta e fora de ponta, daí a dificuldade da avaliação das vantagens do enquadramento na tarifação HORO-SAZONAL AZUL. No entanto, a partir das modalidades tarifárias mais complexas, podemos avaliar as mais simples.

***** Fase de Manutenção *****

ENERGIA ELÉTRICA

Pergunta: Há manutenção preventiva nas instalações e equipamentos elétricos da planta ?:

1 = Sim

2 = Não

Selecione uma das opções acima referidas: ? (1 2)

Respostas:

Lista de validação do protótipo SE

1 = Sim

Informação: *Sim*

Explicação: > *MANUTENÇÃO PREVENTIVA nas instalações e equipamentos elétricos da planta: sim*

2 = Não

Informação: *Não*

Explicação: > *MANUTENÇÃO PREVENTIVA nas instalações e equipamentos elétricos da planta: não*

Explicação Geral para respostas “Sim e Não”: *MANUTENÇÃO PREVENTIVA: A manutenção preventiva de instalações e equipamentos elétricos pode ser considerada como um dos ramos da técnica que mais evolui na atualidade, pois se constitui em uma poderosa ferramenta para garantir o funcionamento contínuo das instalações responsáveis pelo suprimento e aproveitamento de energia elétrica. A avaliação precisa dos custos envolvidos em qualquer tipo de interrupção de processo, sem sombra de dúvida, resulta na necessidade de implantação de programas de manutenção preventiva. Os objetivos principais são adequar a cada intervalo de tempo, as condições da instalação e seus equipamentos a um novo período ininterrupto de funcionamento. Isto permite reduzir os custos dos problemas imprevistos, que eventualmente ocorram durante os períodos de operação normal. Importante observar que executar a manutenção preventiva de um equipamento não implica necessariamente na abertura, desmonte e remonte, nem ensaio do mesmo, mas na realização de uma série de procedimentos padrão. Inspeções de rotina, objetivando o levantamento de dados de corrente, tensão, temperatura e parâmetros capazes de indicar a existência ou evolução de problemas internos ao equipamento também se inserem dentro das práticas de manutenção preventiva. O objetivo das inspeções visando a manutenção preventiva dos equipamentos elétricos é salvaguardá-los contra interrupções e danos através da detecção e eliminação de causas potenciais de defeitos. Neste sentido, a manutenção periódica deve possibilitar muitos anos de operação livre de problemas.*

Pergunta: Nas rotinas de inspeção (manutenção preventiva) de equipamentos elétricos em operação normal envolvem avaliar: CORRENTE e TEMPERATURA, TENSÃO E LIMPEZA ?:

1 = Sim

2 = Não

Selecione uma das opções acima referidas: ? (1 2)

Respostas:

1 = Sim

Lista de validação do protótipo SE

Informação: *Sim*

Explicação: > Rotinas de inspeção de equipamentos elétricos em operação normal: *sim*

2 = Não

Informação: *Não*

Explicação: > Rotinas de inspeção de equipamentos elétricos em operação normal: *não*

Explicação Geral para respostas “Sim e Não”: *ROTINAS DE INSPEÇÃO: A rotina para a execução das inspeções relativas a manutenção preventiva de equipamentos elétricos envolve a observação visual de algumas de suas condições específicas, bem como, quando possível, os reparos necessários que podem ser realizados no campo. A frequência destas inspeções depende, sobretudo, da importância crítica do equipamento em questão, das condições ambientais, e/ou das condições operacionais. Atitudes simples, como verificar se há ventilação suficiente e efetuar a limpeza frequentemente são fatores da maior importância. Além disto, é necessário intervir imediatamente ao surgirem ou ao serem notados quaisquer indicativos de anormalidades. As rotinas de inspeção básicas para equipamentos elétricos em operação normal envolvem, de uma forma geral, avaliar: CORRENTE e TEMPERATURA, TENSAO E LIMPEZA.*

Pergunta: Há monitoramento das condições de carregamento, ou seja, da corrente de carga e da temperatura associadas ?:

1 = Sim

2 = Não

Selecione uma das opções acima referidas: ? (1 2)

Respostas:

1 = Sim

Informação: *Sim*

Explicação: > Monitoramento das condições de carregamento (Corrente de carga e da temperatura): *sim*

2 = Não

Informação: *Não*

Explicação: > Monitoramento das condições de carregamento (Corrente de carga e da temperatura): *não*

Explicação Geral para respostas “Sim e Não”: *CORRENTE e TEMPERATURA: O aquecimento de um equipamento elétrico depende de sua capacidade térmica. O*

Lista de validação do protótipo SE

controle da temperatura de operação se reveste de elevada importância pois, quando o mesmo opera acima do nível máximo de temperatura permitido pela classe de isolamento, ocorre um decréscimo na sua expectativa de vida. Por exemplo, um equipamento com isolamento classe B ou F, operando com 8 a 10 °C acima de sua temperatura normal de trabalho, tem sua expectativa de vida reduzida à metade. Estes fatos reforçam a necessidade de um monitoramento adequado das condições de carregamento, ou seja, da corrente de carga e da temperatura associadas, para evitar eventuais sobrecargas.

Pergunta: Há monitoramento da tensão aplicada aos equipamentos da planta ?:

1 = Sim

2 = Não

Selecione uma das opções acima referidas: ? (1 2)

Respostas:

1 = Sim

Informação: *Sim*

Explicação: > *Monitoramento da tensão aplicada aos equipamentos da planta: sim*

2 = Não

Informação: *Não*

Explicação: > *Monitoramento da tensão aplicada aos equipamentos da planta: não*

Explicação Geral para respostas “Sim e Não”: *TENSÃO: A tensão aplicada a um equipamento deve ser monitorada de forma similar à corrente de carga. Sobre e subtensões, tensões desequilibradas e/ou com conteúdo harmônico são fatores que afetam o seu isolamento e o seu desempenho em muitos casos.*

Pergunta: Há monitoramento da limpeza aplicada aos equipamentos da planta ?:

1 = Sim

2 = Não

Selecione uma das opções acima referidas: ? (1 2)

Respostas:

1 = Sim

Informação: *Sim*

Explicação: > *Monitoramento da limpeza aplicada aos equipamentos da planta: sim*

Lista de validação do protótipo SE

2 = Não

Informação: Não

Explicação: > Monitoramento da limpeza aplicada aos equipamentos da planta: não

Explicação Geral para respostas “Sim e Não”: LIMPEZA: É importante que o equipamento fique isento de poeiras, teias de aranha, fiapos de algodão, óleo, ou seja, sujeira em geral. A sujeira acumulada na carcaça de um equipamento por exemplo, diminui a troca de calor com o ambiente, além de poder reter umidade e provocar curto-circuito, bem como, ser um elemento propagador de incêndios. Desta forma, é conveniente limpar externamente o equipamento e, logo após, as suas partes internas. Para tanto, usa-se ar comprimido seco e limpo, soprando-se o pó e os resíduos do seu interior. É importante também certificar-se que todas as passagens de ar estão livres e desimpedidas.

MANUTENÇÃO DA ENTRADA DE ENERGIA E SUBESTAÇÃO (13,8 Kv): Os procedimentos listados a seguir compõem a manutenção preventiva semestral da Entrada de Energia e Subestação Básica de uma planta industrial: verificar as condições da estrutura de entrada (postes, cruzetas, isoladores); verificar as condições dos Protetores de Surto de Tensão (para-raios); observar se há a conexão dos para-raios com o aterramento e sua integridade; quando possível, verificar o elo fusível, de acordo com a ABNT - (Norma para Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária de Distribuição; verificar o aterramento dos transformadores; verificar as temperaturas dos transformadores e das conexões da subestação abrigada com o sensor térmico. Para a realização desta manutenção são necessários: sensor térmico; alicate multitemperatura; haste para aterramento temporário; placa de sinalização de impedimento de reenergização; material para limpeza dos quadros e reaperto das conexões. **PRECAUÇÕES IMPORTANTES:** Para qualquer intervenção nas instalações e/ou equipamentos de um sistema elétrico, algumas precauções preliminares de segurança devem ser observadas com o objetivo de prevenir a integridade, tanto do pessoal quanto dos equipamentos: sinalizar adequadamente os equipamentos, delimitando-se a área de trabalho e de passagem; utilizar somente ferramental adequado a cada tipo de tarefa; jamais executar individualmente serviços próximos a circuitos energizados; certificar-se, através de inspeção visual, de que os equipamentos liberados para a manutenção estejam totalmente desenergizados; cuidar para que todos os profissionais envolvidos estejam utilizando equipamentos de proteção individual (EPI's), para prevenir danos físicos que possam ser causados pelos riscos existentes da atividade (principais EPI's: botas de proteção (eletricista); protetores auriculares; óculos de proteção; luvas isolantes de borracha/couro; capacete); tomar medidas adicionais de controle para se minimizar ainda mais o nível de risco (utilizar vestimentas adequadas às atividades; não utilizar adornos pessoais; garantir iluminação adequada e uma posição de trabalho segura, tendo os membros superiores

Lista de validação do protótipo SE

livres para a realização das tarefas; não improvisar EPI's; observar circunstâncias que impossibilitem a execução das tarefas - sempre consultar o responsável pela operação e manutenção). **QUADROS DE COMANDO – SISTEMAS ENERGIZADOS:** Verificar a temperatura dos componentes. Os cabos, conexões e terminais se deterioram quando conduzem uma corrente acima de sua capacidade. O desgaste reduz a capacidade de condução e a qualidade da isolamento, o que aumenta o risco de incêndio. Para temperaturas acima de 70°C em cabos e 80°C em terminais de conexão, investigar as possíveis causas: folgas nas conexões, subdimensionamento dos cabos, terminais ou conexões, desequilíbrio da rede de distribuição de energia, avaria nos enrolamentos do motor, emendas malfeitas nos cabos, entre outros. Identificar ruídos incomuns: Geralmente são causados por folgas nas conexões internas dos contadores, no entanto nada impede a ocorrência em outros equipamentos. As folgas podem ocasionar um superaquecimento nas conexões, podendo incendiar o equipamento. Verificar desequilíbrios de tensão e corrente nas três fases com o alicate multiteste: Um pequeno desequilíbrio de tensão da ordem de 2,3%, é responsável por um desequilíbrio de corrente da ordem de 17%, juntamente com uma elevação de temperatura de 30°C; a cada 10 °C de elevação de temperatura, a vida útil da isolamento de um motor elétrico diminui pela metade. **QUADROS DE COMANDO – SISTEMAS DESENERGIZADOS:** O procedimento básico para desenergização: desenergização da área onde será realizada a manutenção com o travamento, se houver, dos dispositivos de seccionamento, impedindo a reenergização; constatação da ausência de tensão; instalação de aterramento temporário e proteções adicionais; instalação da sinalização de impedimento de reenergização. Uma vez tomados todos os cuidados relativos ao procedimento de desenergização da área: limpeza do quadro de comando - A poeira causa o isolamento térmico dos contatos e conexões elétricas, prejudicando a dissipação de calor (para a limpeza, podem ser utilizados aspirador de pó, panos ou pincel); reaperto de todas as conexões: Quanto mais frouxa a conexão, a corrente circulará por uma área menor, o que aumenta a temperatura e as perdas, podendo ocasionar incêndios. Reenergização: O estado de instalação desenergizada deve ser mantido até a autorização para reenergização, devendo ser reenergizada respeitando a sequência de procedimentos a seguir: retirada das ferramentas, utensílios e equipamentos; retirada das proximidades de todos os trabalhadores não envolvidos no processo de reenergização; remoção do aterramento temporário e das proteções adicionais; remoção da sinalização de impedimento de reenergização e do aterramento temporário; destravamento se houver, e religação dos dispositivos de seccionamento. **PERIODICIDADE DE MANUTENÇÃO:** A seguir é fornecida uma sugestão de periodicidade de manutenção dos equipamentos de uma subestação básica. Equipamento Periodicidade: Fios, Cabos e Muflas 6 a 12 meses; Isoladores 12 a 15 meses; Ferragens 6 a 12 meses; Baterias 3 meses; Capacitores - Reapertos 6 a 12 meses Medição 3 meses; Relés 6 a 12 meses; Para-raios 12 meses; TC's e TP's 6 a 12 meses; Transformadores - Estanqueidade permanente Válvula de segurança permanente, Relés 3 meses, Resistência de terra 3 meses, Limpeza 3 meses Termômetro 3 meses, Relé Buchholz 4 a 6 meses; Comutador - lubrificação 4 a 6 meses, Guarnições e vedações 4 a 6 meses, Sílica gel 4 a 6 meses, Óleo comutador 12 meses, Óleo geral 2 a 4 anos, Radiadores 2 a 4 anos; Disjuntores Óleo 6 meses; Câmaras de extinção 3

Lista de validação do protótipo SE

meses, Reaperto de parafusos 3 a 6 meses, Pressão dos contatos 6 meses, Mecanismo 1 mês; Seccionadores - Limpeza dos contatos 6 meses Reaperto de parafusos 6 meses Pressão dos contatos 12 meses Isoladores 12 meses.

***** Fase de Recomendação *****

ENERGIA ELÉTRICA

**** Definição de Demanda, Consumo, Ponta, Fora-de-ponta, Período Seco e Úmido ****

> **DEMANDA:** *potência elétrica demandada pela unidade consumidora, normalmente medida em kW ou MW;*

NOTA: A demanda contratada pela unidade consumidora deve atender à potência de todos os equipamentos instalados, considerando um fator de simultaneidade previsto em norma.

> **CONSUMO:** *energia consumida pelo cliente, normalmente medida em kWh ou MWh;*

> **HORÁRIO DE PONTA:** *período de três horas consecutivas (exceto sábados, domingos e feriados nacionais) definido pela concessionária local em função de suas características (o horário de ponta é definido das 17:30 às 20:30)*

> **HORÁRIO FORA-DE-PONTA:** *as 21 horas restantes do dia. (Sábados, domingos e feriados nacionais são considerados fora de pontas)*

> **PERÍODO SECO:** *intervalo de sete meses que vai de maio a novembro, correspondente à estação seca;*

> **PERÍODO ÚMIDO:** *corresponde à estação chuvosa, que vai de dezembro a abril do ano seguinte;*

***** RECOMENDAÇÕES GERAIS sobre a Utilidade Energia Elétrica *****

TARIFAS DO GRUPO A: São aplicadas a plantas ligadas por níveis de tensão de 2,3 a 230 kV (alta tensão), ou inferior a 2,3 kV a partir de sistema subterrâneo de distribuição. Para estes consumidores foi estabelecido um conjunto de tarifas intitulado <Tarifa Binômia>, composto por preços aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa e à demanda faturável. A estrutura tarifária binômica está dividida em convencional e horo-sazonal, no que diz respeito aos componentes de CONSUMO e DEMANDA, bem como a relatividade de preços nos diversos horários e períodos do ano. As modalidades de contrato de fornecimento de energia elétrica podem ser

Lista de validação do protótipo SE

optadas fixando o valor da DEMANDA (em quilowatts), que pode ser único ou segmentado por período do dia, conforme a estrutura tarifária em que melhor se enquadrar. Também a apuração do CONSUMO para fins de faturamento depende da estrutura tarifária selecionada, podendo apresentar uma tarifa única ou segmentada por período do dia. A estrutura tarifária do Grupo A pode ser definida como: CONVENCIONAL, HORO-SAZONAL VERDE ou HORO-SAZONAL AZUL (compulsória para subgrupos A1, A2 e A3), dependendo da tensão de entrada assim estabelecido: A1 - 230 kV ou mais; A2 - 88 a 138 kV; A3 - 69 kV; A3a - 30 a 44 kV; A4 - 2,3 a 13,8 kV; e AS - tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, atendidas a partir do sistema subterrâneo de distribuição e faturadas neste grupo em caráter opcional (Os consumidores enquadrados no subgrupo AS deverão satisfazer um dos seguintes requisitos: consumo maior ou igual a 30.000 kWh/mês por 3 ciclos consecutivos e completos, nos 6 (seis) meses anteriores a opção; demanda contratada maior ou igual a 150 kW). Em linhas gerais, as definições para as estruturas tarifárias são: Tarifa CONVENCIONAL: estrutura caracterizada pela aplicação de tarifas de CONSUMO de energia elétrica e de DEMANDA de potência, independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano, e aplicada aos consumidores atendidos em tensão inferior a 69 kV com DEMANDA contratada inferior a 300 kW e que não tenham optado pela tarifa HORO-SAZONAL. A tarifa CONVENCIONAL é indicada para plantas onde o período de maior utilização da energia elétrica ocorre por volta das 18 às 21 horas; HORO-SAZONAL VERDE: É composta por tarifas diferenciadas de CONSUMO de energia elétrica na ponta e fora de ponta (seco ou úmido), de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, e por uma única tarifa de DEMANDA de potência em qualquer horário de utilização ao longo de todo o período. Observações: período úmido: dezembro a abril; período seco: maio a novembro; horário de ponta: das 18h às 21h (fora do horário de verão) e das 19h às 22h (durante horário de verão); horário fora de ponta: demais horas do dia, finais de semana. Os consumidores com valor de DEMANDA contratada igual ou superior a 300 kW são enquadrados, obrigatoriamente, na estrutura HORO-SAZONAL. Contudo é importante enfatizar que os consumidores HORO-SAZONALIS atendidas em tensão de fornecimento inferior a 69 kV podem optar entre as modalidades VERDE e AZUL. A estrutura HORO-SAZONAL VERDE é destinada a plantas com baixo fator de carga no horário de ponta, com capacidade limitada de modulação neste mesmo horário, ou ainda que

Lista de validação do protótipo SE

possuam geração própria; HORO-SAZONAL AZUL: estrutura composta por tarifas diferenciadas por períodos do dia, tanto para a DEMANDA quanto para o CONSUMO, com tarifas específicas para cada um dos períodos (ponta e fora de ponta). No caso do CONSUMO, existe ainda diferenciação ao longo do ano por período (seco ou úmido). Observações: período úmido: dezembro a abril; período seco: maio a novembro; horário de ponta: das 18h às 21h (fora do horário de verão) e das 19h às 22h (durante horário de verão); horário fora de ponta: demais horas do dia, finais de semana. Os consumidores com valor de DEMANDA contratada igual ou superior a 300 kW são enquadradas, obrigatoriamente, na estrutura HORO-SAZONAL. Contudo é importante enfatizar que a estrutura HORO-SAZONAL AZUL será obrigatoriamente aplicável: quando a tensão de fornecimento for igual ou superior a 69 kV; ou quando a unidade consumidora HORO-SAZONAL não houver exercido qualquer opção; ou para consumidores dos níveis A1, A2 e A3. A estrutura HORO-SAZONAL AZUL é destinada a plantas que têm alto fator de carga no horário de ponta, portanto, apresentam um consumo significativo de energia elétrica nesse período, além de apresentarem um elevado grau de eficiência na utilização da DEMANDA contratada, ou seja, apresentam um consumo maior por quilowatt de DEMANDA.

BANDEIRAS: O sistema de bandeiras tarifárias foi estabelecido pela ANEEL para informar ao consumidor o custo mensal de geração de energia elétrica, criando uma relação entre o valor pago pelo consumidor e o custo atualizado pago pelas geradoras de energia elétrica. O sistema de bandeiras indica o custo de geração de energia e permitem o repasse mensal de parte dos custos adicionais na geração às tarifas, com isso, a receita que as distribuidoras tiverem com o pagamento será descontada do cálculo do reajuste tarifário anual. Esta informação mensal proporciona ao consumidor a oportunidade de ajustar seu consumo ao seu preço real da energia, lembrando que este custo já está na conta habitual de energia elétrica, contudo geralmente não é percebido. Importante esclarecer que a energia elétrica o Brasil é gerada predominantemente por usinas hidrelétricas, e para funcionar, essas usinas dependem das chuvas e do nível de água nos reservatórios. Quando há pouca água armazenada, usinas termelétricas, conectadas a matriz elétrica nacional, podem ser ligadas com a finalidade de poupar água nos reservatórios das usinas hidrelétricas. Com isso, o custo de geração aumenta, uma vez que essas usinas termelétricas são

Lista de validação do protótipo SE

movidas a combustíveis como gás natural, carvão, óleo combustível e diesel. Por outro lado, quando há muita água armazenada, as térmicas podem ser menos utilizadas e o custo de geração é menor. As BANDEIRAS TARIFÁRIAS são classificadas por cores (verde, amarela e vermelha) e funcionam como um semáforo de trânsito: a BANDEIRA VERDE significa custos baixos para gerar a energia, portanto, a tarifa de energia não terá nenhum acréscimo naquele mês. A BANDEIRA AMARELA indicará um sinal de atenção, pois os custos de geração estão aumentando. Já a BANDEIRA VERMELHA mostra que o custo da geração está mais alto, por exemplo, com o maior acionamento de termelétricas. As bandeiras amarela e vermelha apresentarão custos extras nas contas de energia elétrica para cada 100 quilowatts-hora consumidos. Uma vez por mês, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) calcula o Custo Marginal de Operação (CMO) nas reuniões do Programa Mensal de Operação (PMO) - quando também é decidido se haverá ou não a operação das usinas termelétricas e o custo associado a essa geração. Após cada reunião, com base nas informações do ONS, a Aneel aciona a bandeira tarifária vigente no mês seguinte.

DETALHES DA POLÍTICA TARIFÁRIA: De acordo com a política tarifária definida pela ANEEL, tanto consumidores cativos, quanto clientes livres, atendidos em baixa ou em alta tensão, estão sujeitos a encargos de uso do sistema de distribuição e transmissão que reflitam a proporção com eles utilizam os referidos sistemas. Assim, o realinhamento tarifário nada mais é do que o resultado da aplicação da tarifa de energia (TE) resultante dos custos com a compra de energia e da tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD), acrescida da tarifa de uso do sistema de transmissão (TUST). Dessa forma, a abertura das tarifas é conduzida de modo que a tarifa de energia (TE) seja a diferença entre a tarifa de fornecimento vigente (TF) e a tarifa (TUSD + TUST), assim denominada a parcela que deverá cobrir os investimentos e custos operacionais da CONCESSIONÁRIA com relação ao seu sistema elétrico, bem como da REDE BÁSICA.

SAZONALIDADE: A sazonalidade é a caracterização de necessidades de utilização da energia elétrica que variam de acordo com o período do ano para uma determinada unidade consumidora. Normalmente, esta condição é verificada em unidades consumidoras nas quais ocorra a utilização de matéria-prima advinda, diretamente, da

Lista de validação do protótipo SE

agricultura, pecuária, pesca, ou, ainda, cuja atividade econômica esteja relacionada à extração de sal ou de calcário, este último destinado à agricultura. As plantas enquadradas nessa condição e que, nos últimos 12 (doze) ciclos completos de faturamento, apresentarem valor igual ou inferior a 20% (vinte por cento) para a relação entre a soma dos 04 (quatro) menores e a soma dos 04 (quatro) maiores consumos de energia elétrica ativa, podem solicitar à CONCESSIONÁRIA o reconhecimento de sua sazonalidade para fins de faturamento. Uma vez reconhecida a sazonalidade, o critério de faturamento da unidade consumidora observará as regras a seguir para determinação das grandezas faturáveis, a saber: DEMANDA FATURÁVEL: um único valor, observados no fornecimento com tarifas horo-sazonais, os respectivos segmentos: no caso da planta incluída na estrutura tarifária convencional - a demanda faturável será o maior valor verificado entre a demanda medida no ciclo de faturamento e 10% (dez por cento) da maior demanda medida em qualquer dos 11 (onze) ciclos completos de faturamento anteriores; no caso da planta incluída na estrutura tarifária horo-sazonal - a demanda faturável será o maior valor verificado entre a demanda medida no ciclo de faturamento e 10% (dez por cento) da demanda contratada. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ATIVA: o valor apurado por medição durante o período de faturamento, observados no fornecimento com tarifas horo-sazonais, os respectivos segmentos. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E DEMANDA DE POTÊNCIA REATIVAS EXCEDENTES: o valor apurado por medição durante o período de faturamento, observados no fornecimento com tarifas horo-sazonais, os respectivos segmentos, bem como as regras estabelecidas na legislação. OBS: A cada 12 (doze) meses, se a CONCESSIONÁRIA não verificar, por segmento horário, demanda medida superior à contratada em pelo menos 03 (três) ciclos completos de faturamento, a planta ficará sujeita à cobrança complementar, na fatura referente ao 12º (décimo segundo) ciclo, das diferenças positivas entre as 03 (três) maiores demandas contratadas e as respectivas demandas medidas.

ASPECTOS IMPORTANTES: Segue a terminologia básica do setor elétrico para melhor compreender as diretrizes que constituem o regulamento do setor, bem como adquirir a familiaridade com alguns dos termos mais amplamente empregados: CARGA INSTALADA - é o somatório das potências nominais dos equipamentos elétricos existentes na planta industrial (kW), conectados à rede elétrica e em condições

Lista de validação do protótipo SE

de entrar em funcionamento a qualquer momento; CONSUMIDOR – é a pessoa jurídica de fato ou de direito, legalmente representada a assumir a responsabilidade pelo pagamento das faturas de energia elétrica e pelas demais obrigações fixadas em normas e regulamentos da ANEEL, assim vinculando-se aos contratos de fornecimento, de uso e de conexão, conforme cada caso; CLIENTE LIVRE - é o consumidor que pode optar pela compra de energia elétrica junto a qualquer fornecedor, conforme estabelecido pelos artigos 15 e 16 da Lei 9.074, de 07 de julho de 1995, ou seja: a) Consumidores com carga instalada igual ou maior a 3.000 kW, atendidos em nível de tensão igual ou superior a 69 kV, que foram atendidos antes de 07 de julho de 1995; b) Consumidores com carga instalada igual ou maior a 3.000 kW, atendidos em qualquer nível de tensão, atendidos após 07 de julho de 1995; CONTRATO DE FORNECIMENTO - instrumento contratual em que a concessionária e o consumidor responsável por unidade consumidora do Grupo A ajustam as características técnicas e as condições comerciais do fornecimento de energia elétrica; CONTRATO DE USO E DE CONEXÃO - instrumento contratual em que o cliente livre ajusta com a concessionária as características técnicas e as condições de utilização do sistema elétrico local, conforme estabelecido pela Resolução ANEEL nº 281, de 1º de outubro de 1999; CICLO DE FATURAMENTO - intervalo de tempo de, aproximadamente, 30 (trinta) dias, observados o mínimo de 27 (vinte e sete) dias e o máximo de 33 (trinta e três) dias, ao fim do qual a concessionária efetuará a leitura dos medidores da unidade consumidora para apuração das grandezas futuras; DEMANDA - é o módulo das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada, em operação simultânea, na planta industrial, durante um intervalo de tempo especificado; DEMANDA CONTRATADA - é a demanda de potência ativa a ser, obrigatória e continuamente, disponibilizada pela concessionária, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência fixados no contrato de fornecimento, e que deverá ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW); DEMANDA DE ULTRAPASSAGEM - é o módulo da demanda medida que excede o valor da demanda contratada, expressa em quilowatts (kW); DEMANDA FATURÁVEL - é o maior valor verificado dentre a demanda contratada e a demanda medida, durante um ciclo de faturamento, que é considerado para fins de cobrança com a aplicação da respectiva tarifa; DEMANDA MEDIDA - é o maior valor de demanda de potência ativa, apurada em intervalos de 15 (quinze)

Lista de validação do protótipo SE

minutos e expressa em quilowatts (kW), verificado por medição ao longo do ciclo de faturamento, correspondendo à área sob a curva de consumo da unidade consumidora; ESTRUTURA TARIFÁRIA - é o conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência ativas, de acordo com a modalidade de fornecimento; HORÁRIO DE PONTA - é o período de 03 (três) horas diárias consecutivas, definido pela concessionária, considerando as características do sistema elétrico da planta, à exceção dos sábados, domingos, feriados estabelecidos por lei federal (Dia da Confraternização Universal, Tiradentes, Dia do Trabalho, Proclamação da Independência, Nossa Sra. Aparecida, Proclamação da República e Natal), terça-feira de Carnaval, sexta-feira da Paixão, CorpusChristi e Dia de Finados; HORÁRIO FORA DE PONTA - é o período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta; PERÍODO ÚMIDO - período de 05 (cinco) meses consecutivos, caracterizados pela estação das chuvas no território brasileiro, iniciando-se em dezembro de um ano e findando em abril do ano seguinte; PERÍODO SECO - período de 07 (sete) meses consecutivos, caracterizado pela ausência de chuvas abundantes no território brasileiro, iniciando-se em maio e findando em novembro; PONTO DE ENTREGA - é o ponto de conexão do sistema elétrico da concessionária com as instalações elétricas da planta industrial, caracterizando-se como o limite legal de responsabilidade da concessionária para com o fornecimento de energia elétrica a planta; TARIFA - preço da unidade de consumo de energia elétrica e/ou da demanda, fixado em Reais / quilowatt x hora (R\$ / kWh) e/ou Reais/ quilowatt (R\$ / kW), respectivamente; TARIFA MONÔMIA - tarifa de fornecimento de energia elétrica composta por preços aplicáveis unicamente ao consumo de energia elétrica; TARIFA BINÔMIA - conjunto de tarifas de fornecimento composto por preços aplicáveis ao consumo de energia elétrica e à demanda faturável; TARIFA DE ULTRAPASSAGEM - tarifa aplicável sobre a diferença positiva entre a demanda medida e a demanda contratada, respeitado o limite de tolerância fixado para cada nível de tensão (110% da demanda contratada para a planta industrial atendida em nível de tensão igual ou inferior a 34,5 kV e 105% da demanda contratada para a planta industrial atendida em nível de tensão superior a 34,5 kV); PLANTA INDUSTRIAL - é o conjunto de instalações e equipamentos elétricos caracterizado pelo recebimento de energia elétrica em um só ponto de entrega, com medição individualizada e correspondente a um único local.

Lista de validação do protótipo SE

PRINCIPAIS CAUSAS DO ELEVADO CUSTO MÉDIO DA CONTA DE ENERGIA: As causas mais comuns do encarecimento desnecessário da conta de energia elétrica são: ENQUADRAMENTO INADEQUADO EM ESTRUTURA TARIFÁRIA: enquadramento em estrutura tarifária inadequada às necessidades da unidade consumidora; DEMANDA CONTRATADA INCOMPATÍVEL: a fixação de valores de demanda contratada incompatíveis com a utilização: muito superiores à necessidade (fato que sujeita a planta ao pagamento desnecessário de demanda); inferiores à necessidade (fato que sujeita a planta ao pagamento de penalidades pela ultrapassagem dos valores contratados); BAIXA EFICIÊNCIA de UTILIZAÇÃO: a baixa eficiência na utilização da energia elétrica, normalmente causada por processos produtivos irregulares e equipamentos ultrapassados; o BAIXO FATOR DE POTÊNCIA das instalações elétricas da unidade consumidora.

***** Fase de Requisitos *****

ÁGUA

Resposta:

2 = Água

Informação: *** A empresa utiliza - Água - como INSUMOS (UTILIDADES PRIMÁRIAS) para seu PROCESSO INDUSTRIAL ***

Explicação: > O objetivo definido na consulta ao sistema foi a utilidade: Água

> A utilidade 'Água' é considerada 'Utilidade Primária', uma vez que é obtida através de contratação externa junto a concessionária ***

ATENÇÃO: A utilização de mais de um tipo de UTILIDADE na indústria requer especial atenção na gestão apropriada desses recursos, desde questões contratuais, medição específica e controles de consumo, até a aplicação de ações de eficiência energética.

Pergunta: *** A empresa possui SISTEMA DE MEDIÇÃO para UTILIDADES INDEPENDENTE da Concessionária? (1= sim) ou (2= não):

Respostas:

1 = Sim

APÊNDICE E – RELATÓRIO DE SAÍDA 1

```

                                saída_1
*****
***          Sistema SE - Modulo de Geração de Explicações          ***
***                                                                 ***
***          APLICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA INDUSTRIAL          ***
***                                                                 ***
*****

*** Objetivo da Consulta ***

    > O objetivo definido na consulta ao sistema foi a utilidade: Água

    > A utilidade 'Água' é considerada 'Utilidade Primária', uma vez que é obtida
    através de contratação externa junto a concessionária ***

    ATENÇÃO: A utilização de mais de um tipo de UTILIDADE na indústria requer
    especial atenção na gestão apropriada desses recursos, desde questões
    contratuais, medição específica e controles de consumo, até a aplicação de ações
    de eficiência energética.

*** Informações da Planta ***

    > Sistema de Medição de utilidades: não

    A empresa não dispõe de sistema de medição para utilidades - O monitoramento
    e verificação das utilidades na indústria tem como objetivo o estudo dos fluxos
    energéticos, com o propósito de racionalizar o uso da energia elétrica, água,
    combustíveis, e reduzir seus custos. Sua implantação é considerada uma das ações
    de eficiência energética e busca a obtenção do menor índice de custo em relação
    à utilidade utilizada em um processo.

    ATENÇÃO: A implantação do sistema de monitoramento e verificação é
    considerado uma das principais ações de eficiência energética e busca a obtenção
    do menor índice de custo em relação à utilidade utilizada em um processo. *****
    Quem não mede, não controla, não gerencia e não melhora qualquer variável ou
    resultado. *****

    > Departamento Especializado em Eficiência Energética: não

    A empresa não dispõe de um Departamento Especializado em Eficiência
    Energética - O gerenciamento da eficiência energética na indústria tem por
    objetivo a visualização de forma macro do consumo dos energéticos de todas as
    áreas responsáveis pelo funcionamento produtivo da planta, proporcionando:
    integrar os vários setores de consumo na indústria; apontar através da coleta de
    dados de medição e verificação os setores responsáveis pelo maior consumo de
    energia na planta, propor ações de controle e eliminação dos desperdícios de
    consumo; identificar as principais áreas de desperdícios de energia; mostrar a
    importância do planejamento estratégico de produção como ferramenta de redução
    do desperdício e de melhor aproveitamento dos energéticos; propor ações de
    combate as perdas e ao desperdício; mostrar economia alcançada após a
  
```


saida_1

implementação das ações.

*** Requisitos contratuais de utilidade água ***

> Contrato: 300 m³

> Consumo: 200 m³

O Consumo de água esta menor que o montante contratado, dessa forma pode-se dizer que esta coerente. Mas sempre existem oportunidades de redução do consumo e proporcionalmente de Contrato - verifique.

> Tipo adicional de abastecimento de Água além da Concessionária: Água de Chuva

CONSUMO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA: A indústria em suas várias atividades necessita de modo geral de dois sistemas de abastecimento: um de água potável para algum consumo específico como alimentos e farmacêuticos, onde é necessária uma melhor qualidade da água, ou para o consumo humano dos empregados; o outro de água não-potável dita água industrial, destinada ao aquecimento de caldeiras, torres de resfriamento, processos industriais, além de jardins, pátios e descargas nas bacias sanitárias. Importante ressaltar que o custo da água potável vem aumentando consideravelmente nos últimos anos, motivado principalmente pela aumento da poluição de rios e córregos. Portanto, uma das medidas de conservação de água é o uso da água industrial, deixando a água potável para fins mais nobres.

> Reservatório(s) independente(s) para outros tipos de Água: não

> Tratamento adicional para outros tipos de Água: não

APROVEITAMENTO DE ÁGUA - CHUVA, REUSO e/ou POÇO: A captação de águas pluviais, reuso e/ou poço pode ser considerada como uma solução alternativa e sustentável para o abastecimento de água local e descentralizado na indústria, podendo reduzir a demanda de abastecimento pela concessionaria, além de possibilitar redução de custos. Contudo, sua utilização necessita de estudos acerca da viabilidade e eficiência no atendimento dos usos a que será destinada, avaliação dos possíveis riscos sanitários, adequação das instalações hidráulicas prediais, dimensionamento do sistema de captação, coleta e reserva, observando as características locais, evitando a implantação de projetos inadequados que comprometam os aspectos positivos da alternativa. Dentre os componentes do sistema de captação e utilização de água, o reservatório é o item mais oneroso, podendo representar entre 50% e 85% de seu valor total, devendo, portanto, ser dimensionado de forma bastante criteriosa, uma vez que influencia diretamente na viabilidade financeira.

*** Escolha do foco ***

saida_1

> Caminho selecionado para a análise da utilidade: Projeto

> Conhecimento sobre fatores para dimensionamento do reservatório água pluvial: não

DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO PARA ÁGUA DE CHUVA: o dimensionamento do reservatório dependerá de diversos fatores: Regime de chuvas local: média anual, distribuição durante o ano e a variação ano a ano, são fatores decisivos. Altos índices pluviométricos e distribuições mais constantes das precipitações ao longo do ano, permitem a utilização de menores volumes de reserva. Área de captação: a quantidade de água possível a ser captada é função da área disponível. Demanda: a quantidade e o tipo de demanda são fundamentais para determinar o tamanho do reservatório. Vários fatores devem ser observados: tipos de consumo, hábitos de usos e número de funcionários da planta. Nível de risco aceitável: o tipo de consumo a que será destinada a água de chuva e o grau de redução do uso de outras fontes para suprimento, implicarão no grau de risco aceitável ao esvaziamento do reservatório influenciando no seu dimensionamento. Importante frisar que a utilização de água pluvial deve funcionar como uma fonte complementar de suprimento de água da planta, o qual deve ser utilizado durante o período de chuvas, permitindo facilidade de retorno ao abastecimento pela concessionária durante as estiagens.

> Conhecimento sobre sistema de captação e utilização de água pluvial: não

COMPONENTES DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL: um sistema de captação e utilização de água de chuva é composto de: Superfície de captação: Telhados, pátios e outras áreas impermeáveis podem ser utilizados como superfície de captação. Seu dimensionamento está diretamente relacionado ao potencial de água de chuva possível de ser aproveitado e o material do qual é formado, influenciará na qualidade da água captada e nas perdas por evaporação e absorção. Os telhados são mais utilizados para captação devido a melhor qualidade da água que este fornece. Calhas e Tubulações: utilizados para transportar a chuva coletada, podem ser encontrados em diversos materiais, porém os mais utilizados são em PVC e metálicos (alumínio e aço galvanizado). Toda a tubulação que fizer parte desse sistema deve estar destacada com cor diferente e avisos de que essa conduz água de chuva evitando, assim, conexões cruzadas com a rede de água potável. Tratamentos: O tipo e a necessidade de tratamento das águas pluviais dependerão da qualidade da água coletada e do seu destino final. As concentrações de poluentes, galhos e outras impurezas nas águas pluviais são maiores nos primeiros milímetros da chuva, assim recomenda-se seu descarte através da aplicação de dispositivos desenvolvidos e testados com este objetivo. Bombas e sistemas pressurizados: estes dispositivos são usados quando os pontos de utilização estão em cotas superiores à do nível de água no reservatório principal. Importante destacar que sua aplicação deve ser evitada durante a concepção do sistema de aproveitamento de água pluvial através da utilização de reservatórios elevados e do encaminhamento da água coletada diretamente para este, possibilitando o aumento da eficiência energética do sistema. Reservatórios: Estes podem ser enterrados, apoiados ou elevados. Diversos materiais podem ser utilizados na fabricação dos reservatórios, sendo, portanto,

saida_1

necessário avaliar em cada caso aspectos como: capacidade, estrutura necessária, viabilidade técnica, custo, disponibilidade local.

Cálculo do reservatório para captação de água da chuva

- > ÁREA de captação de chuva prevista: 50 m²
- > Precipitacao media de chuva prevista: 450 mm
- > Vomume de chuva previsto: 13 m³
- > Demanda de água prevista: 20 m³
- > Volume de água no reservatorio no temppo t: 6 m³

*** RECOMENDAÇÕES sobre a Utilidade Água ***

ÁGUA POTÁVEL: A água potável, ou mesmo água doce disponível na natureza é bastante restrita. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU, 2015), cerca de 97,61% da água total do planeta é proveniente das águas dos oceanos. As calotas polares e geleiras representam 2,08%, água subterrânea 0,29%, água doce de lagos 0,009%, água salgada de lagos 0,008%, água misturada no solo 0,005%, rios 0,00009% e vapor d'água na atmosfera 0,0009%. A água, em condições normais de temperatura e pressão, predomina em estado líquido e aparentemente é incolor, inodora e insípida e indispensável a toda e qualquer forma de vida. Nessa perspectiva, a ONU divulgou uma nota de alerta com uma previsão de que até 2050, aproximadamente 45% da população mundial não terá a quantidade mínima de água potável para consumo, cocção, banho, entre outras necessidades (Fonte: ONU, 2015).

CONSUMO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA: A indústria em suas várias atividades necessita de modo geral de dois sistemas de abastecimento: um de água potável para algum consumo específico como alimentos e farmacêuticos, onde é necessária uma melhor qualidade da água, ou para o consumo humano dos empregados; o outro de água não-potável dita água industrial, destinada ao aquecimento de caldeiras, torres de resfriamento, processos industriais, além de jardins, pátios e descargas nas bacias sanitárias. Importante ressaltar que o custo da água potável vem aumentando consideravelmente nos últimos anos, motivado principalmente pela aumento da poluição de rios e córregos. Portanto, uma das medidas de conservação de água é o uso da água industrial, deixando a água potável para fins mais nobres.

*** Fim do Programa ***

APÊNDICE F – ARQUIVOS DE SAÍDA 2 (CASOS 1,2,3)

Figura 28 - Relatório de Saída 2, gerado pelo MGE (Caso 1)

```

saida_2 - Notepad
File Edit Format View Help
(initial-fact)
(Fase_Requisitos Iniciada)
(aplicacao "Água")
(medicao "não")
(deptoEE "não")
(contratoAGUA 90)
(consumoAGUA 75)
(Pergunta 3)
(Fase_Requisitos Concluida)
(Fase_Contrato Iniciada)
(tipodAGUA "Nenhum")
(Fase_Contrato Concluida)
(Selec "Manutenção")
(Fase_Manutencao Iniciada)
(ManPrevAgua "sim")
(caçavazAGUA "não")
(Fase_Manutencao Concluida)
(Fase_Explicacao Iniciada)
(Explicacao_1)
(Explicacao_2)
(Explicacao_5)
(Explicacao_3)
(Explicacao_6)
(Explicacao_22)
(Fase_Explicacao Concluida)
(FaseAtual ArquivoDeSaida)
(Fase_Arquivos_De_Saida Iniciada)

```

Fonte: Própria

Figura 29 - Relatório de Saída 2, gerado pelo MGE (Caso 2)

```

saida_2 - Notepad
File Edit Format View Help
(initial-fact)
(Fase_Requisitos Iniciada)
(aplicacao "Aquecimento")
(medicao "sim")
(deptoEE "sim")
(AplicAq "não")
(EE_InsumoAq "sim")
(Cacavaz_Aq "não")
(contratoAQ 120)
(consumoAQ 150)
(Pergunta 4)
(Fase_Requisitos Concluida)
(Fase_Contrato Iniciada)
(Fase_Contrato Concluida)
(Selec "Projeto")
(Fase_Projeto Iniciada)
(enersolarAQ "não")
(CritRestAQ "não")
(TempMed_AGUA 35)
(TempArmaz_AGUA 43.75)
(TempAmbMed 21)
(VolaqAGUA 250)
(VolReser_AGUA 300)
(Eutil 7.92458333333333)
(Eperda 1.1886875)
(EficC 75)
(PME 2.808273)
(Ig 4.9)
(FCinstal 1.05)
(Areacolet 3.40810427574171)
(Fase_Projeto Concluida)
(Fase_Explicacao Iniciada)
(Explicacao_1)
(Explicacao_24)
(Explicacao_2)
(Explicacao_3)
(Explicacao_30)
(Fase_Explicacao Concluida)

```

Fonte: Própria

Figura 30 - Relatório de Saída 2, gerado pelo MGE (Caso 3)

```
saída_2 - Notepad
File Edit Format View Help
(initial-fact)
(Fase_Requisitos Iniciada)
(aplicacao "Iluminação")
(medicao "não")
(deptoEE "sim")
(demandaI 300)
(consumoI 7000)
(Pergunta 3)
(Fase_Requisitos Concluida)
(Fase_Contrato Iniciada)
(illumat "não")
(ilumi_ver "não")
(ilumi_set "não")
(Fase_Contrato Concluida)
(Selec "Projeto")
(Fase_Projeto Iniciada)
(tipTRAB "Trabalho Normal")
(E "Classe 3")
(Area 300)
(nivILUMI 800)
(Fator_Depreciacao 0.91)
(Fator_Utilizacao 0.5)
(Fluxo_Luminoso 527472)
(QtLumens 580)
(Num_lampadas 909)
(Fase_Projeto Concluida)
(Fase_Explicacao Iniciada)
(Explicacao_1)
(Explicacao_27)
(Explicacao_2)
(Explicacao_5)
(Explicacao_3)
(Explicacao_60)
(Explicacao_61)
(Explicacao_62)
(Explicacao_63)
(Explicacao_64)
(Explicacao_65)
```

Fonte: Própria

APÊNDICE G – DIMENSIONAMENTO DE AQUECIMENTO SOLAR

O cálculo para dimensionamento do sistema de aquecimento solar é efetuado de acordo com a NBR 7198/93 e a norma (CE) 02:146.03 da ABNT e são considerados os seguintes fatores: vazão das peças de utilização; tempo e frequência de uso; dados de temperatura; demanda de energia útil; irradiação global média anual.

1. Cálculo do volume do sistema de armazenamento:

$$VSA = VTC * (TC - TMA) / (TA - TMA)$$

TC: temperatura de uso da água para consumo (°C)

TA: temperatura de armazenamento da água (°C) => recomenda-se 22% maior que TC

TMA: média anual da temperatura ambiente do local de instalação (°C)

VTC: volume total de água quente consumido no tempo (litros ou m³)

VSA: volume do sistema de armazenamento (m³) => recomenda-se 15% maior que VTC

2. Cálculo da demanda de energia útil:

$$E_{\text{útil}} = VSA * p * Cp * (TA - TMA) / 3600$$

E_{útil}: energia útil (kWh/dia)

p: massa específica da água igual = 1000 (kg/m³)

C_p: calor específico da água = 4,18 (kJ/kg)

3. Cálculo da área coletora

$$A_{\text{col}} = (E_{\text{útil}} + E_p) * F_{\text{ci}} * 4,901 / (P_{\text{me}} * I_g)$$

A_{col}: área coletora (m²)

E_p: perdas de energia estimadas do sistema (kWh/dia) => 15% da E_{útil}

P_{me}: produção média diária de energia específica do coletor solar (kWh/m²)

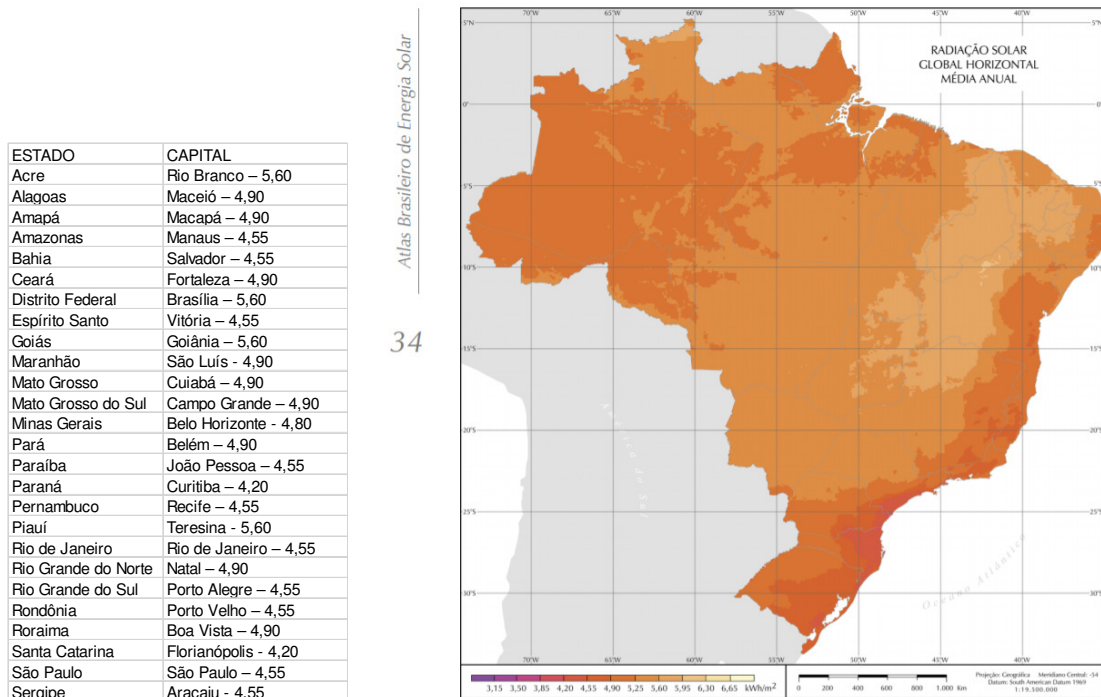
$$P_{\text{me}} = 4,901 * (E_{\text{fic}} - 0.177039)$$

Efic: eficiência do coletor solar informada pelo fabricante (%) => ($0 > E > 100$)

Ig: é o valor da irradiação global média anual para o local da instalação (kWh/m².dia). Para determinar o valor da irradiação global média anual deve-se consultar a cidade em avaliação de acordo com o “Atlas Brasileira de Energia Solar”.

Fci: fator de correção para a inclinação e orientação do coletor solar => 1,05

Figura 31 – Mapa da radiação global horizontal media anual



Fonte: Atlas brasileiro de energia solar (PEREIRA et al. 2006)