

METODOLOGIA E REGRAS PARA UM SISTEMA ESPECIALISTA NA SUBSTITUIÇÃO DA ELETROTÉRMIA PARA FORNOS A GÁS NATURAL NA INDÚSTRIA METALÚRGICA

Paulo Roberto Carneiro¹ (EPUSP), José Aquiles Baesso Grimoni² (IEE-USP), Miguel Edgar Morales Udaeta² (IEE-USP)

¹Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP Avenida Profº Luciano Gualberto travessa 3, 380, Butantã São Paulo-SP.

paulorcarneiro@gmail.com

²Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo – IEE-USP, Avenida Profº Luciano Gualberto 1289, Butantã São Paulo-SP.

aquiles@iee.usp.br;udaeta@pea.usp.br

Resumo: Fornos elétricos exigem altas potências de operação devido ao seu princípio de funcionamento (efeito Joule, indução e arco elétrico) para a geração de calor, apesar de possuírem rendimento elevado e maiores possibilidades de controle (pelo menos mais simples que outros), são de gasto energético elevado para a produção de calor. Mas com os baixos preços da energia elétrica, desde a década de 1980 foi incentivado o uso desse tipo de forno. Atualmente, com a crise no setor energético, a disponibilidade de energia elétrica já não é abundante como a alguns anos atrás, fato que nos mostra a necessidade do uso de outros tipos de combustíveis, como, por exemplo, as fontes térmicas, na qual o gás natural se mostra a fonte de energia mais promissora. Sabendo-se disso, pode-se propor uma metodologia para que ocorra uma substituição dos fornos elétricos, quando possível, para fornos a gás natural. Este é o foco deste estudo, que deve servir como estudo piloto para substituições em geral, apesar de ser feita a avaliação na indústria metalúrgica, onde será feito um estudo teórico para a viabilidade técnica e econômica da substituição. Além disso, serão desenvolvidos os requisitos necessários para a construção de um sistema com inteligência artificial para que a avaliação da substituição seja feita através de regras heurísticas (sistema especialista), tendo como base o estudo anterior. Tal sistema especialista é um sistema computacional dedicado a análise do problema da substituição, onde poderão ser feitas alterações de parâmetros de acordo com o local (no caso, uma planta industrial específica) onde pode vir a ser feita a substituição da eletrotermia.

Palavras-Chave: *eletrotermia-1, fornos a gás natural-2, sistemas especialistas-3, substituição da eletrotermia-4*

Abstract: Electric Furnaces require high power levels to work, due to it working function principle (Joule Effect, Induction and electric arc) to generate heat, in spite of have high efficiency and larger control possibilities, they spend lots of energy to this type of process. But with electric energy's low prices since 80's, this type of use was promoted. Nowadays, with Brazilian energy crisis, the electric energy is not available like some years ago, what is something that show us a necessity of use other types of energy sources, like thermal sources, where natural gas seems the most promissory one. Knowing this, is possible propose a method to substitute electric furnaces to natural gas furnaces, when it's possible. This is the study focus, which have be able to be a prototype study to substitutions in any kind of industry, despite this study to be done in metallurgical industry, where will be detected technical-economical viability of substitution. Furthermore, will be developed the rules required for a expert system which use heuristic ones. Based in the previous study. This expert system is a computer system that will solve the problem of substitution, where will be possible do changes in the parameters according to the place where this technique will be applied.

Key words: *elethermy-1, natural gas furnaces -2, expert systems -3,elethermy substitution-4*

1. INTRODUÇÃO

Na década de 1980, devido aos grandes investimentos feitos no setor elétrico, o consumo de eletricidade no Brasil foi incentivado, para que os investimentos tivessem um retorno financeiro mais rápido. Com isso, foi criada no Brasil uma certa dependência da energia elétrica em detrimento de outros combustíveis da matriz energética. Sendo assim, os usos finais de energia elétrica tornaram-se economicamente mais viáveis do que outros usos tradicionais de energia em muitos casos.

No caso dos fornos elétricos, estes que exigem altas potências de operação devido ao seu princípio de funcionamento (efeito Joule, indução e arco elétrico) para a geração de calor, apesar de possuírem rendimento elevado e maiores possibilidades de controle (pelo menos mais simples que outros), são de gasto energético maior que fontes térmicas tradicionais. Mas com os baixos preços da energia elétrica, desde a década de 1980 foi incentivado o uso desse tipo de forno.

Atualmente, com a falta de investimentos públicos no setor elétrico desde a década de 1990, onde as grandes obras começaram a rarear, a privatização de certas partes do setor elétrico, que causou instabilidade no mercado de energia, não possibilitando, no curto prazo, a confiabilidade suficiente para que investidores privados fizessem investimentos e o crescente consumo de energia elétrica no país fizeram com que a necessidade de geração aumentasse até o limite do sistema elétrico, fato que em 2001 foi responsável pelo racionamento de energia elétrica, que proporcionou uma certa mudança de mentalidade da população e dos especialistas com relação ao papel da energia elétrica na matriz energética brasileira. Com isso, intensificaram-se os estudos sobre diversificação da matriz energética.

Foi proposto pelo governo federal então a construção de usinas termelétricas para suprir rapidamente a falta de eletricidade, programa esse que resultou na construção de umas poucas usinas. Além disso, os investimentos no setor elétrico, ainda hoje (2006) não foram muito intensificados e caminhamos para uma nova crise energética.

De tais fatos surge a motivação desse trabalho. Uma das possibilidades para a mitigação dos problemas no setor é a substituição de alguns usos finais de energia elétrica por outras fontes energéticas. No caso deste estudo, a substituição de fornos elétricos por fornos a gás natural, que apesar dos recentes problemas no comércio deste produto com a Bolívia ainda aparece como uma alternativa viável e ecologicamente mais correta do que as fontes térmicas convencionais, como óleo e carvão, principalmente com o advento da Bacia de Santos, na qual a previsão de início do processo de extração está previsto para 2009.

2. O PROBLEMA DA SUBSTITUIÇÃO

Dado o contexto acima, pode-se observar o problema da eletrotermia, que é o processo de geração de calor através de eletricidade, de forma mais detalhada. No caso, tem-se uma carga elétrica de grande potência aonde o aproveitamento energético vem de um sub-produto da passagem de corrente elétrica, que é o calor proveniente ou do aquecimento de condutores (no caso dos fornos resistivos), correntes parasitas (fornos indutivos) ou geração de arco elétrico (fornos a arco). A equação básica para a avaliação de tal potência dissipada, no caso de fornos elétricos e a indução está descrita abaixo;

$$P = Z * I^2 \quad (1)$$

Onde:

P: Potência Dissipada

Z: Impedância do forno (no caso do forno a resistência somente R)

I: Corrente nos condutores

No caso de fornos a arco, a equação básica é:

$$P = \frac{V^2}{X} \quad (2)$$

P: Potência Dissipada

V: Tensão de fase

X: Reatância por fase

Geralmente, rendimentos de processos elétricos são da ordem de 90%. O uso da eletricidade para a geração de calor tem como princípio aproveitamento de efeitos secundários na circulação da corrente, como já

dito e parece um mau uso de tal fonte. Sendo assim, é mais recomendado o uso de fontes mais apropriadas para a geração de calor, o que é o caso do gás natural, que possui poder calorífico razoável, é pouco aproveitado no Brasil em comparação a outros países e possui índice de emissões menor que o da maioria das fontes fósseis utilizadas atualmente. No caso dos fornos elétricos, onde o volume de energia utilizado é grande, fazendo com que a economia de eletricidade seja significativa, o estudo de tal substituição visa a avaliação de sua viabilidade, incentivando a troca em caso de confirmação da mesma.

Como base de dados para a escolha foi usada como base o estudo de Strapasson (2004) sobre energia térmica e eficiência energética, no qual foi realizado um levantamento de dados sobre o consumo de energia térmica e as possibilidades de substituição de eletrotermia por alguma fonte química (no caso gás natural).

Desse estudo, foram colhidos os dados que se encontram na tabela abaixo, que sintetizam os valores de economia de eletricidade possíveis em alguns setores industriais:

Sector Industrial	Usos finais de energia elétrica (ktEP)	Estimativa Moderada de economia (%)
Ferro e Aço	1111	24
Química e Petroquímica	160	53
Metais Não-Ferrosos	495	26
Minerais Não-Metálicos	56	43
Mineração	39	95
Alimentos e Tabaco	298	28
Têxtil e Couro	30	57

Tabela 1: potenciais de economia de eletricidade – fonte: Strapasson 2004

Tais dados de economia de energia foram obtidos através da análise das indústrias em outros países, que utilizam energia química em alguns casos onde no Brasil é utilizada a energia elétrica para a produção de calor.

Observando-se os dados, percebe-se que o maior potencial de economia de energia bruta (em ktEP) encontra-se no setor de ferro e aço, seguido pelo de metais não-ferrosos. Contando ainda com o fato de haver grande diversidade de fornos nesses tipos de indústria, estes dois setores foram os escolhidos para a análise, já que também muitos processos são similares neles.

Em tal processo já foram verificados certos problemas envolvendo a qualidade do produto final com a substituição da eletrotermia, sendo o principal deles a diminuição do tamanho do grão no reticulado cristalino, que se dá pela ação de oxidantes resultantes da combustão incompleta do gás natural e também a descarbonetação do aço. Devem ser avaliadas no conjunto da solução medidas mitigatórias para esse tipo de problema, que já foram temas de estudos recentes. Mas tais problemas decorrem basicamente da não uniformidade da temperatura no forno, fato que pode ser minimizado com a alocação de um número maior de queimadores do forno a gás no mesmo, para que o controle da temperatura seja mais preciso.

3. METODOLOGIA PARA A SUBSTITUIÇÃO

Para que seja demonstrada a viabilidade da substituição da eletrotermia serão realizadas algumas etapas de análise e cálculo, detalhadas a seguir.

1. Escolha do Segmento Industrial: Antes de tudo, serão analisados os diversos setores industriais e seus gastos com eletricidade provenientes de fornos elétricos. Verificado um setor no qual o consumo de eletricidade é considerável e com maior variedade de usos de fornos elétricos (resistência, indução e a arco) este será o escolhido, devido à maior possibilidade de variações para um estudo acadêmico. Em casos reais esta etapa já está logicamente definida.
2. Análise da Planta Industrial e do Consumo de Energia: Serão verificados na planta os equipamentos elétricos como um todo e os fornos elétricos em especial (qual o tipo, dados de placa), para que seja estimado o consumo de energia elétrica do equipamento para um dado processo.
3. Verificação do consumo energético: Com os dados de placa tanto do forno elétrico como do forno a gás serão determinados os consumos de energia por ambos.
4. Verificação do Rendimento do processo: Consulta a literatura e aos manuais dos fabricantes para obtenção dos dados nominais.
5. Verificação da qualidade do produto: Será verificada a qualidade do produto do forno no caso tanto do forno elétrico quanto do forno a gás. Serão analisadas as implicações físicas e econômicas da mudança de forma de energia (melhora ou piora de propriedades físicas, valor de mercado, e outros).
6. Cálculo do Custo da Energia: Para os dois casos, será calculado o custo total da energia consumida, assim como a quantidade de energia consumida.

7. Estudos de adaptação da planta elétrica: Nesta etapa, verificar-se-ão os ajustes necessários à planta com a retirada de fornos do sistema elétrico, como por exemplo, necessidade de retirada de bancos de capacitores e outros equipamentos).
8. Cálculo do custo da infra-estrutura: No caso da substituição, serão calculados os gastos com o novo forno, com a rede de gás, mão de obra, além do tempo de retorno do investimento.
9. Comparação do consumo energético com o consumo de uma usina térmica que gerasse a energia necessária para alimentar um processo equivalente além de custos e emissões.

4. ANALISE DA SUBSTITUIÇÃO

Para verificar-se a eficácia da metodologia, foi estudada a planta de uma empresa real, a metalúrgica Yadoya S.A., localizada no município de Bom Jesus dos Perdões, a aproximadamente 50km da cidade de São Paulo.

Foi feita uma visita à planta na qual foram colhidas informações relevantes para a avaliação da metodologia. Tais informações são:

1. Características da planta, como quantidade de fornos elétricos e transformadores.
2. Potência nominal dos equipamentos.
3. Tipo de forno elétrico (no caso, todos indutivos, alguns com correção automática do fator de potência, outros não).
4. Tempo de funcionamento da planta por mês.
5. Tempo de aquecimento do metal a ser fundido.
6. Tempo de fundição.
7. Temperatura atingida pelo processo.
8. Medição do ciclo de fusão do material.
9. Verificação dos capacitores de correção do fator de potência.

Além disso, havia sido realizado na empresa um estudo prévio que avaliava parâmetros de consumo de energia, de onde outras informações foram extraídas. Feita com isso, foi possível traçar-se um perfil da planta onde as informações necessárias para a avaliação da substituição e foi adotada a estratégia para o estudo. Tal estratégia consiste na avaliação de um dos fornos da indústria, de 1200kW, mas com capacidade de operação limitada em 750kW por razões operacionais, por um forno a gás similar, com a mesma capacidade de fundição em massa.

Definida a estratégia, pode-se começar o estudo propriamente dito, no qual devem ser levantados parâmetros tanto técnicos, como já mencionado, como econômicos. Inicialmente serão apresentados os parâmetros técnicos do processo:

Massa de Ferro a ser Fundida(kg/h)	1000
Variação de Temperatura(°C)	1475
Tensão de Entrada (kV)	13,8
Tempo para aumento da temperatura (h)	1
Tempo para fusão (h)	1
Horas de funcionamento mensal	480
Rendimento do forno a gás (%)	40
Rendimento do Forno elétrico (%)	65
Poder Calorífico Superior do gás (kcal/m³)	9400

Tabela 2: Características técnicas do processo de fundição

Agora serão apresentados os parâmetros econômicos levantados:

Equipamento Elétrico	Preço(R\$)
Forno elétrico 750kW para 1000kg + frete + instalação	400000

Tabela 3: Preço do equipamento elétrico

Equipamentos a gás	Preço (euros)	Preço (R\$)
1 Forno a gás de 750KW para 1000kg	41.360	108.896,75
1 Cadinho para 1000kg de Ferro Gusa	1.418	3.733,45
Custos de transporte	25.666,8	67.578,12
Custos de instalação	21.389	56.315,10
Total	89.833,8	236.523,41

Tabela 4: Preço dos equipamentos a gás

A empresa Yadoya utiliza tarifação Horo-Sazonal verde, onde a concessionária de energia é a Elektro[®]. Numa negociação a empresa conseguiu fazer com que a tarifa de ponta seja duas vezes a tarifa fora de ponta. Sendo assim, as tarifas utilizadas neste estudo, sendo considerada a média entre os períodos seco e úmido, são as seguintes:

Tarifa Média do Horário de Ponta (R\$/kWh)	0,134
Tarifa Média do Horário Fora de Ponta	0,268
Tarifa de Demanda (R\$/kWh)	11,73

Tabela 5: Tarifas de energia Elétrica – Fonte: Elektro

No caso da substituição por gás, serão utilizadas as seguintes tarifas:

Custo fixo do gás (R\$/mês)	3.893,42
Tarifa do gasoduto real(R\$/m³)	1,237

Tabela 6: Tarifas de gás – Fonte: Comgás

A partir de tais dados, foram calculadas as quantidades de energia consumidas e os custos dessa energia, tanto da energia elétrica quanto do gás. A energia consumida pelo processo foi calculada a partir dos parâmetros elétricos e então convertida para kcal, para poder ser avaliado o volume de gás necessário (que inclusive determina a faixa de preço por m³). Tais quantidades serão apresentadas abaixo:

Energia Consumida no mês pelo processo (kWh)	132.600
Energia Consumida pelo forno elétrico (kWh)	204.000
Energia consumida pelo transformador (kWh)	38.857
Energia Consumida no mês pelo processo (kcal)	114.036.000
Energia Consumida pelo forno a gás (kcal)	285.090.000
Volume de gás consumido (m³)	30.329

Tabela 7: Consumo de energia do processo elétrico ou a gás

De posse dessas informações pode ser feita agora a análise de viabilidade econômica, através do cálculo do custo mensal da energia, apresentado abaixo:

Custo do gás consumido(R\$ /mês):	41.410,05
Custo da eletricidade consumida (R\$/mês):	53.392,14

Tabela 8: Custo da energia mensal

Através dos valores acima calculados, pode-se concluir que, para somente um forno, o uso do gás apresenta uma economia de aproximadamente R\$12.000,00 por mês, com relação ao uso da eletrotermia. Sendo assim, pode-se proceder para a etapa seguinte do estudo, que é a determinação do tempo de retorno do investimento. No caso de um empreendimento novo, a alternativa mais viável é, desde o início, o forno a gás, que apresenta custo menor e não possui a necessidade de um equipamento como um transformador, necessário na entrada do forno elétrico, fazendo com que o custo aumente. Além disso, o forno a gás possui custo mensal menor.

Mas, no caso de um equipamento eletrotérmico pré-existente, onde os investimentos de aquisição já foram feitos, deve-se fazer a comparação através de alguma ferramenta econômica, que neste caso será o Custo do Ciclo de Vida (considerando que tal ciclo é de 30 anos para os dois equipamentos).

Custo do Ciclo de Vida Forno a Gás (R\$):	4.262.339,45
Custo do Ciclo de Vida Forno Elétrico (R\$):	5.190.695,02

Tabela 9: Custos dos Ciclos de Vida

A tabela 8 foi calculada considerando-se uma taxa de juros de 12% ao ano. Observando-a, percebe-se que a economia no uso do forno a gás é próxima de 20%. Através do gráfico de custo do ciclo de vida (CCV) acumulado, pode-se perceber o período no qual os custos foram iguais.

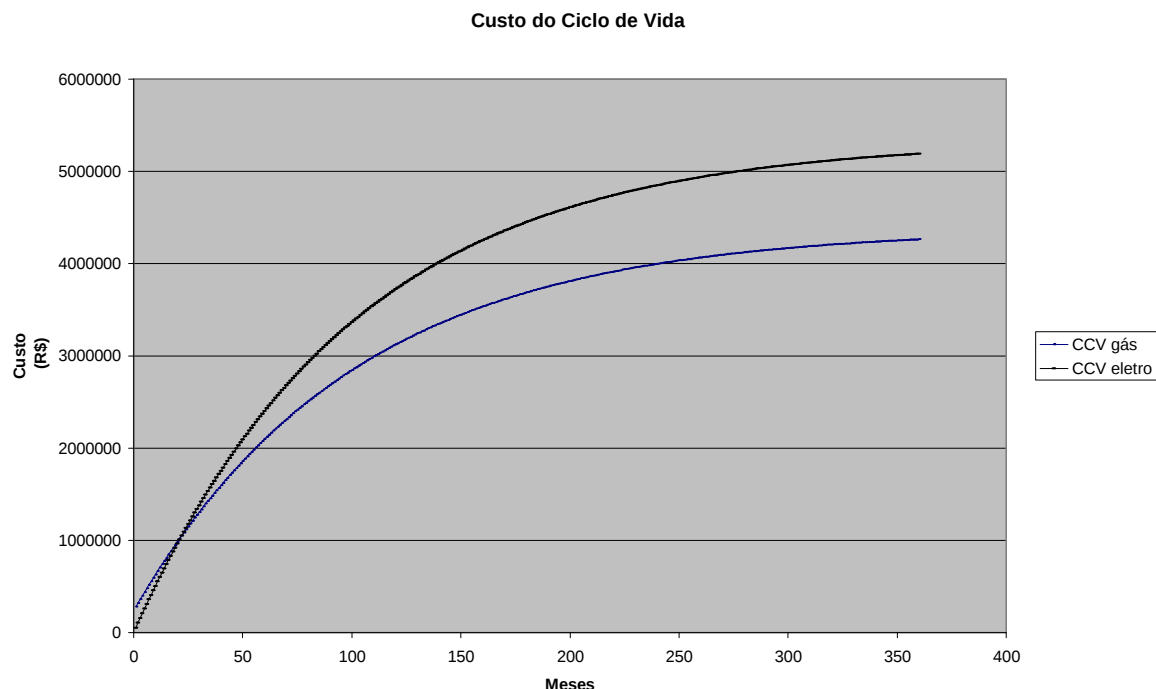


Gráfico 1: Custos dos Ciclos de Vida dos fornos elétrico e à gás

Através do gráfico chega-se a conclusão de que o tempo para que o investimento seja recuperado é de 21 meses, neste caso. É importante ressaltar que as obras de infra-estrutura do gasoduto até a planta são de responsabilidade da distribuidora (no caso, a Comgás), caso comprovada a viabilidade do empreendimento, não implicando assim em custos adicionais. Também deve ser notado que, os capacitores de correção do fator de potência poderão tornar a rede capacitiva no caso de substituição, já que a carga indutiva, nesse caso, foi retirada.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS DA SUBSTITUIÇÃO.

A análise desse caso real fornece algumas conclusões importantes:

1. Variações no custo da energia influenciam de forma decisiva na viabilidade da substituição.
2. O rendimento dos fornos também é determinante na análise de viabilidade.
3. O investimento inicial necessário é relativamente alto para empresas de pequeno porte.

De tais conclusões, a mais significativa no contexto atual é a primeira, pois a recente crise no fornecimento de gás com a Bolívia levou os usuários a certo temor quanto a utilização de tal insumo. A possibilidade de falta de gás e conseqüente paralisação da produção é o temor dos empresários, já que o prejuízo com alguns dias de paralisação pode ser bem maior que os ganhos advindos da substituição. Devido a isso, os cálculos da substituição não foram feitos com os preços do fornecimento interruptível, que deixaria as empresas consumidoras de gás sem ter o que fazer. Sendo assim, as empresas podem reivindicar perante as concessionárias os prejuízos, caso uma contingência de ordem política ocorra.

Além desse problema, atualmente o gasoduto Brasil-Bolívia está com praticamente toda sua capacidade já contratada. Mas os investimentos feitos para a exploração da Bacia de Santos visam um suprimento adicional de 30 milhões de m³ de gás natural por dia até 2011, fato que revela uma grande oportunidade de exploração de tal mercado.

Em caso de interrupção por motivos técnicos, deve-se ter armazenado algum tipo de substituto que não demande alterações nos componentes do forno à gás. Tal combustível deve ter o mesmo poder calorífico do gás natural para tanto. A verificação de tal propriedade do gás se dá através do número de Wobbe, cuja equação é dada por:

$$Wobbe = \frac{pc}{\sqrt{dr}} \quad (3)$$

Onde:

pc: poder calorífico

dr: densidade relativa ao ar.

No caso, tem-se a mistura ar/GLP, chamada ar propanado, que, para possuir o mesmo número de Wobbe do gás Natural (12675kcal/m³), deve ser composto de 61%GLP e 39% ar, em condições ambiente. Deve-se ter estocado um volume tal que seja possível suprir a interrupção sem prejuízo do processo produtivo, portanto, o estoque deve ser suficiente para alguns dias, pelo menos.

6. INTELIGENCIA ARTIFICIAL E SISTEMAS ESPECIALISTAS

6.1. Inteligência Artificial

Basicamente, pode-se definir inteligência artificial como uma alternativa de fazer com que uma máquina aja como um ser humano para tomar decisões. Isso implica num sistema computacional onde o programa é concebido com os mesmos mecanismos que um ser humano utiliza para suas ações cotidianas ou decisões mais complexas. Num programa concebido sem a utilização da Inteligência Artificial, eventuais alterações para o processamento de um conjunto de novas informações devem ser feitas no programa como um todo, enquanto um sistema IA precisa apenas do acréscimo dessa nova informação, sem mais modificações.

Para a realização das tarefas diárias ou tarefas específicas, os seres humanos desencadeiam um processo de pensamento no qual são guiados do estado inicial para o objetivo final, que, ao ser realizado, guia a mente do indivíduo ao início de outro processo. Tal processo de pensamento é composto por fatos e regras, que, ao serem executados numa certa ordem levarão a realização de um objetivo. Pode-se exemplificar o mecanismo simplificada da forma que segue:

Objetivo: Escrever artigo técnico para publicação em congresso.

Fatos:

1. Para ser aprovado, o texto deve ser submetido a uma comissão de avaliação.
2. O artigo deve tratar do assunto relevante ao escopo do congresso para ser submetido à avaliação.
3. A comissão de avaliação deve julgar o texto de nível técnico adequado para a publicação.

Regras:

1. Se o artigo tratar de um assunto no escopo do projeto, então será avaliado.
2. Se o projeto for avaliado e a comissão avaliadora julgar-lo de nível técnico adequado, então será publicado.

No exemplo acima, pode-se perceber as características de um sistema de pensamento. Existe um objetivo que, para ser atingido, deve ser submetido a uma série de regras decorrentes de certas condições (fatos).

Com um conjunto de regras e fatos limitado, a análise da situação é aparentemente simples. Mas a quantidade de informações armazenadas na mente das pessoas tornaria inviável a análise de todas para a solução de um problema específico. Por isso, a mente humana utiliza mecanismos de poda de informações. Tal mecanismo faz com que sejam analisadas somente informações relevantes para a solução de tal problema. No conjunto de fatos e regras anterior poderiam também estar presentes tais condições:

Fatos:

4. As taxas de juros caíram 0,5%, para 12% ao ano.
5. Não se deve atravessar a rua enquanto os carros estão passando.
6. A empresa XYZ, do ramo metalúrgico, possui em caixa trinta milhões de reais.
7. A remuneração anual da construção de hidroelétricas é de 12,3% ao ano.

Regras:

3. Se alguém atravessar a rua enquanto os carros estão passando, será atropelado.
4. Se uma pessoa for atropelada, ficará machucada.
5. Se as taxas de juro caírem, alguns empreendimentos tornar-se-ão viáveis para os investidores.

6. Quem tem mais de dez milhões de reais e atua no setor metalúrgico pode investir na substituição da eletrotermia por fornos a gás natural.

Se o objetivo ainda é a publicação de artigo técnico num congresso, tais regras e fatos são desnecessários para a análise. Sendo assim, o mecanismo de poda as elimina do processo, fazendo com que restem somente os fatos e regras relevantes para a tomada de decisão.

Além disso, existe também a possibilidade de aprendizado, através do mecanismo de inferência. Suponham-se, por exemplo, os seguintes fatos:

1. Um apartamento situado nas proximidades da Avenida Paulista e com 150m² de área custa R\$500000,00.
2. Um apartamento situado nas proximidades da Avenida Paulista e com 300m² de área custa R\$900000,00.
2. Um apartamento situado na Avenida São João e com 150m² custa 100000,00.
4. Um apartamento situado na Avenida São João e com 300m² custa 170000,00.

E as regras:

1. A pessoa X gosta de lugares espaçosos.
2. A pessoa X possui R\$ 200000,00 para comprar um apartamento.

Conclui-se assim que a pessoa X irá comprar um apartamento na Avenida São João. Esta nova informação será armazenada ao conjunto de fatos, o que significa que novo conhecimento foi gerado a partir dos fatos já conhecidos.

Dito isso, pode-se agora explicitar o objetivo de um programa IA, que funciona com o seguinte conjunto de ferramentas e procedimentos, inspirados nas ações humanas:

1. Definição dos Objetivos
2. Definição dos fatos
3. Obtenção de dados relevantes aos fatos e específicos de uma determinada situação.
4. Poda
5. Avaliação dos dados por meio das regras e inferências.

6.2. Sistemas especialistas

Teoricamente, um sistema que possui as características acima (IA) pode resolver qualquer problema que lhe fosse proposto, desde que fosse nele acrescentado o conhecimento necessário para tanto. Mas a capacidade dos computadores modernos de armazenar informação e o esforço necessário para que tal sistema que possui todo o conhecimento possível de ser adquirido faz com que a aplicação dessas técnicas seja restringida. Uma das formas de aplicação é através dos sistemas especialistas, que são projetados para resolverem problemas de um determinado domínio.

O conhecimento contido num SE é fornecido por especialistas no domínio em questão. Tal conhecimento é obtido através da experiência no campo de estudo e, com isso, o peso de cada regra nele contido é determinado pela experiência do especialista.

7. SISTEMAS ESPECIALISTA PARA AVALIACAO DA SUBSTITUIÇÃO DA ELTROTERMIA POR GÁS NATURAL

Como visto anteriormente, o sistema especialista (SE) necessita de um conjunto de fatos e regras de um problema específico para inferir novo conhecimento. Neste estudo, a análise de um caso real serviu não só para avaliação da metodologia como para que o conhecimento necessário para a formação de um especialista no problema fosse adquirido, tornando assim possível a determinação dos fatos relevantes para o estudo e a confecção das regras do SE.

Pode-se ter como fatos que devem servir de entrada para o SE:

1. Potência do forno Elétrico
2. Quantidade de massa a ser fundida num determinado período
3. Tempo necessário para o processo de aquecimento
4. Tempo necessário para a fusão do metal
5. Tempo de funcionamento mensal da planta

6. Rendimento do Forno Elétrico
7. Rendimento do Forno à gás natural
8. Energia necessária ao processo
9. Tarifa de energia elétrica
10. Tarifa de gás natural
11. Custo de equipamento elétrico
12. Custo do equipamento a gás natural
13. Custo Mensal da energia elétrica utilizada
14. Volume de gás consumido
15. Custo Mensal do gás natural utilizado
15. Ciclo de Vida do Forno Elétrico
16. Ciclo de vida do forno à gás natural.
18. Custo do Ciclo de Vida do forno elétrico
19. Custo do Ciclo de Vida do forno à gás natural
20. Tempo de retorno do investimento desejado
21. Taxa de juro praticada.

Dados estes fatos tem-se as seguintes regras iniciais:

1. Se ambos os fornos são novos, então:

- 1.1. Avaliar os custos iniciais e as tarifas mensais das duas alternativas.
- 1.2. Se custo inicial e a tarifa mensal de energia da alternativa a gás forem menores, então forno a gás é viável.
- 1.3. Se custo inicial e a tarifa mensal de energia da alternativa elétrica forem menores, então forno a gás é viável.
- 1.4. Se custo inicial do forno a gás for maior e tarifa mensal for menor, então calcular CCV das duas alternativas
 - 1.4.1. Se o tempo de retorno for maior que o desejado, então a utilização não é viável e a utilização do forno elétrico é viável.
 - 1.4.2. Se o tempo de retorno for menor que o desejado, então a utilização é viável e o forno à gás deve ser utilizado.
- 1.5. Se custo inicial do forno a gás for menor e tarifa mensal for maior, então calcular CCV das duas alternativas
 - 1.5.1. Se o tempo de retorno para o uso do forno elétrico for maior que o desejado, então a utilização do forno a gás é viável.
 - 1.5.2. Se o tempo de retorno para o uso do forno elétrico for menor que o desejado, então a utilização do forno à gás é inviável.

2. Se já existe instalado um forno elétrico:

- 2.1. Se a tarifa mensal de gás é maior que a tarifa de energia elétrica, então a substituição é inviável.
- 2.2. Se a tarifa mensal de gás é menor que a tarifa de energia elétrica, então calcular CCV.
- 2.3. Se o CCV do forno a gás for menor que o do forno elétrico no tempo de retorno estipulado, então substituição é viável.
- 2.4. Se o CCV do forno a gás for maior que o do forno elétrico no tempo de retorno estipulado, então substituição é inviável.

8. CONCLUSÃO E SUGESTÕES

Com este estudo, pode-se fazer uma avaliação da metodologia proposta e que foi seguida. Foram avaliadas antes mesmo da apresentação da metodologia o ramo industrial que foi escolhido e as razões da escolha, além das considerações sobre a qualidade do produto. Feitos os levantamentos dos equipamentos, dos custos envolvidos, das características técnicas destes e das tarifas, pode ser calculado o custo do ciclo de vida de cada uma das alternativas, cálculo que mostra a sensibilidade da avaliação a parâmetros como custo da energia e rendimento dos processos. Com isso, a metodologia mostrou-se eficaz na avaliação da substituição, apesar de ainda restar o teste da alternativa sobre emissões. Além disso, a análise do problema real forneceu os parâmetros de entrada e regras suficientes para o início da construção do sistema especialista, que poderá facilmente ser aumentado para uma análise mais abrangente da planta, considerando-se, por exemplo, a utilização de calor residual do processo para pré-aquecimento, ou avaliação da possibilidade de co-geração com tal calor.

9. AGRADECIMENTOS

A Agência Nacional do Petróleo (ANP), A metalúrgica Yadoya, e ao pesquisador Dr. Paulo Hélio Kanayama.

10. REFERÊNCIAS

BURANI, G. F.; UDAETA, M. E. M.; KANAYAMA, P.; AFFONSO, ° F.; OLIVA, C. R. R.; Uso racional da energia Dentro de Uma Indústria Metalúrgica: Oportunidade de Troca de Eletricidade para Gás Natural – Artigo Técnico – **Rio Oil & Gás Expo and Conference**, Rio de Janeiro 2006.
STRAPASSON, A. B., A Energia Térmica e o Paradoxo da Eficiência Energética – Desafios para um Novo Modelo de Planejamento Energético – Tese de Mestrado – PIPGE(IEE/ POLI/FEA/IF) –USP, São Paulo 2004.
MAMEDE, J. F., Instalações Elétricas Industriais, Editora LTC, São Paulo 2001.
LEVINE R. I.; DRANG, D. E.; EDELSON, B.; Inteligência Artificial e Sistemas Especialistas – Aplicações e Exemplos práticos, McGraw Hill, São Paulo, 1988.
COMGÁS www.comgas.com.br (acessado em 8 de junho de 2007)
ELEKTRO www.elektro.com.br (acessado em 8 de junho de 2007)
MME – DNAEE, Programa de Substituição de Energéticos Importados por Eletricidade, Brasília, 1984.

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.