

Otimização Energética Durante Partidas e Paradas de Processos Industriais

Hugo R. Stamm, Pedro A. da Silva Jr, Ademar E. Rosa, Cleber Arsego, Sandro C. Lima, Maury G. da Silva, Alessandra Teixeira, João P. M. da Silva, Luiz Felipe e José N. Lacerda.

Resumo – Neste artigo são analisados perfis de demanda de potência de indústrias com o objetivo de identificar potenciais de economia de energia nos intervalos de partida e parada de produção. É realizado um estudo de caso em uma montadora de automóveis onde se avalia a relação entre o consumo de energia e a produção nos finais de semana. Uma ferramenta computacional é apresentada para indicar os potenciais de economia advindos com ações de eficiência nestes momentos.

Palavras-chave – economia de energia, eficiência energética, otimização, processos industriais.

I. INTRODUÇÃO

Neste artigo são apresentados os resultados do projeto de pesquisa denominado “Otimização Energética Durante Partidas e Paradas de Processos Industriais” desenvolvido no período de julho de 2008 a junho de 2010 (P&D ANEEL nº 0403-019/2007). O trabalho teve o suporte financeiro da Tractebel Energia S.A. e foi executado pelo INTEC - Instituto Tecnológico e Científico.

A pesquisa abrangeu empresas de diversos setores industriais analisando-se os perfis de demanda e a correlação com o processo produtivo, tendo como foco os potenciais de economia de energia nos momentos de partida e parada de produção.

II. JUSTIFICATIVA E OBJETIVO

Os avanços tecnológicos nas últimas décadas têm ocorrido em uma velocidade vertiginosa. Novos materiais, processos produtivos e produtos disputam um mercado consumidor cada vez mais exigente e em sintonia com o aumento da qualidade de vida da sociedade. Isto se reflete diretamente no crescente consumo de energia elétrica.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VI CITENEL), realizado em Fortaleza/CE, no período de 17 a 19 de agosto de 2011.

Pedro A. da Silva Jr, Ademar E. Rosa, Cleber Arsego e Sandro C. Lima são professores do Instituto Federal de Santa Catarina e participaram da pesquisa pelo Instituto Tecnológico e Científico – Intec, entidade executora do projeto (e-mail para contato: pedroarmando@ifsc.edu.br).

Hugo R. Stamm, Maury G. da Silva, Alessandra Teixeira, João P. M. da Silva, Luiz Felipe e José N. Lacerda são funcionários da Tractebel Energia (e-mail para contato: hugo@tractebelenergia.com.br).

Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética - EPE, nos últimos 10 anos houve um aumento de 34 % no consumo de energia no Brasil [1]. Para atender esta demanda e projetando um novo ciclo de desenvolvimento do país novas usinas, subestações e linhas foram construídas. Sabe-se que a forma mais econômica e moderna de suprir parte deste consumo é por meio do combate ao desperdício.

Em 2009 o consumo de energia elétrica no Brasil foi de 306.987 GWh. Deste montante o setor industrial brasileiro consumiu 42,7 % [1,2]. O uso eficiente da energia elétrica nas indústrias traz como benefício direto a redução dos custos. Para a sociedade os benefícios são indiretos, tais como: o aumento da competitividade das empresas com consequente diminuição dos preços dos produtos e serviços, redução dos investimentos em geração, transmissão e distribuição de energia e redução dos impactos ambientais [3].

Diagnósticos energéticos realizados pela Tractebel Energia em indústrias de grande porte demonstraram que existe um desperdício de energia entre o término e o início de um ciclo produtivo.

Idealmente, toda a energia consumida numa indústria deve corresponder de forma direta à produção. O que se observa na prática é o fato do consumo dos insumos industriais muitas vezes estarem dissociados da fabricação do produto. Sistemas auxiliares como bombas, caldeiras, compressores, resfriadores, esteiras etc. são ligados muito antes do necessário ou desligados muito tempo depois do término da produção (ver ilustração da figura 1).

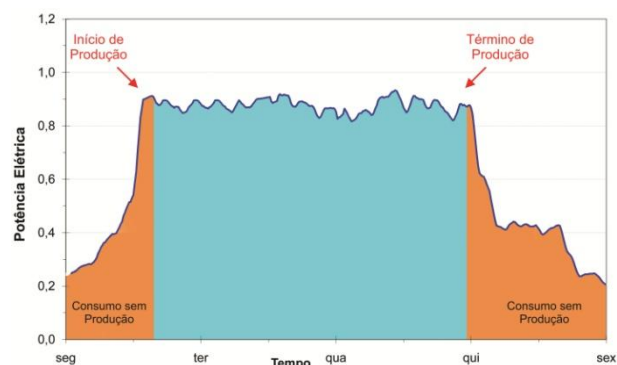


Figura 1. Perfil de demanda típico de uma indústria.

Logicamente alguns insumos precisam atingir seu equilíbrio, seja de temperatura, velocidade, pressão etc. antes do início ou após o término da produção, o que acarreta algum tempo de acomodação. Contudo, este tempo de parada e retomada de produção pode representar um desperdício de

energia significativo.

A pesquisa se propôs a analisar o potencial de economia de energia nos períodos de parada e retomada de produção em plantas industriais, servindo de indicativo às empresas para ações de eficientização nestes períodos.

III. PERFIS DE DEMANDA DAS EMPRESAS

Uma das etapas da pesquisa foi a definição de empresas, entre os clientes da Tractebel Energia, para se realizar estudos detalhados, visitas técnicas e aplicação da metodologia.

A Tractebel forneceu para o INTEC uma base de dados com 48 de seus clientes, contendo a informação da demanda de energia elétrica. Os dados foram alterados por um fator de escala em seus valores absolutos para manter cláusulas de confidencialidade dos contratos. Na tabela I é apresentada uma classificação destes clientes por ramo de atuação.

Tabela I. Quantidade de empresas por ramo de atividade.

Ramo de atividade	Quantidade
Atividades Auxiliares ao Transporte	1
Comércio	1
Fabricação de Máquinas e Equipamentos	1
Fabricação de Produtos de Fumo	1
Fabricação de Produtos de Metal	2
Extração de Minerais Metálicos	2
Fab. de Máq., Aparelhos e Mat. Elétricos	2
Fab. de Artigos de Borracha e Plástico	2
Metalurgia Básica	2
Fab. de Prod. de Minerais Não-Metálicos	3
Fab. de Produtos Alimentícios e Bebidas	3
Fab. e Mont. de Veículos Automotores	3
Fab. de Celulose, Papel e Prod. de Papel	4
Fabricação de Produtos Químicos	21
Total	48

Para cada empresa foram analisados os perfis de demanda ao longo dos anos de 2006, 2007 e 2008 buscando-se identificar aquelas com maior potencial para o projeto de P&D. Ou seja, empresas que possuem paradas e retomadas de produção diárias ou nos fins de semana. A seguir apresenta-se exemplos de perfis de demandas de alguns clientes selecionados.

As figuras 2 e 3 apresentam perfis de demanda de duas montadoras de automóveis. Observa-se nestes casos as reduções de potência que ocorrem nos finais de semana. Pode-se destacar também que as paradas de produção ocorrem de forma mais lenta que as retomadas.

Um comportamento da curva de demanda semelhante às indústrias automotivas pode ser observado nas indústrias de fabricação de máquinas e equipamentos (figura 4) e de produtos de metal (figura 5).

Uma planta de produtos químicos apresenta uma curva de demanda com variações do nível de consumo durante o ano, tanto diárias como semanais. A figura 6 apresenta este perfil.

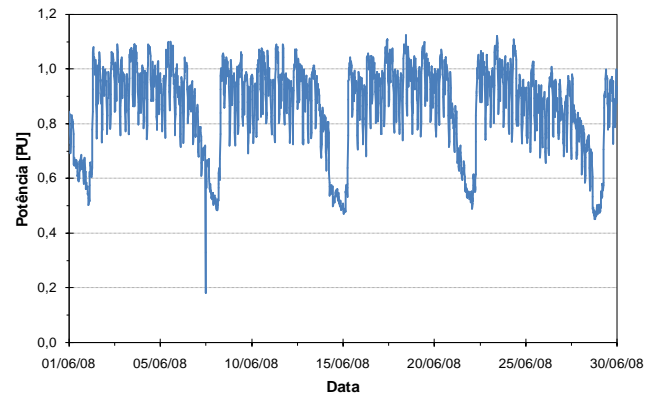


Figura 2. Perfil de demanda típico da montadora de automóveis 1.

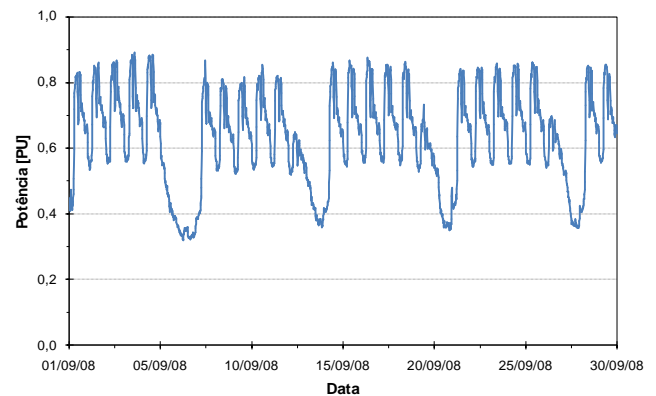


Figura 3. Perfil de demanda típico da montadora de automóveis 2.

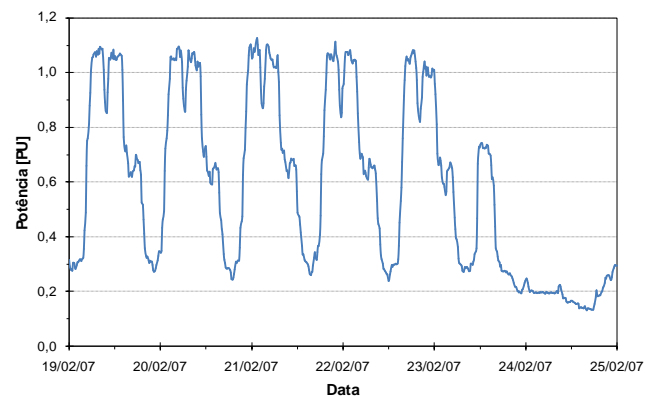


Figura 4. Perfil de demanda típico de uma indústria de fabricação de máquinas e equipamentos.

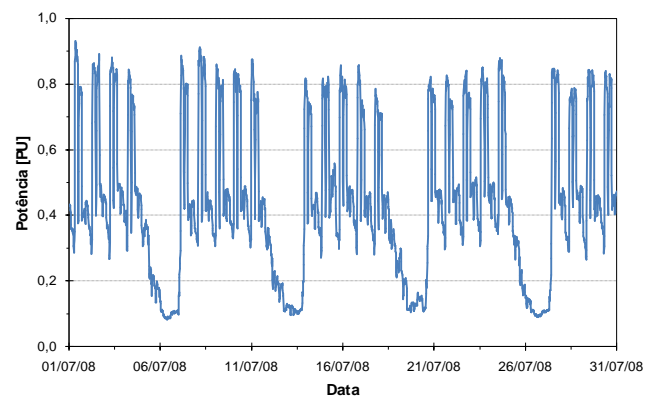


Figura 5. Perfil de demanda típico de uma indústria de fabricação de produtos de metal.

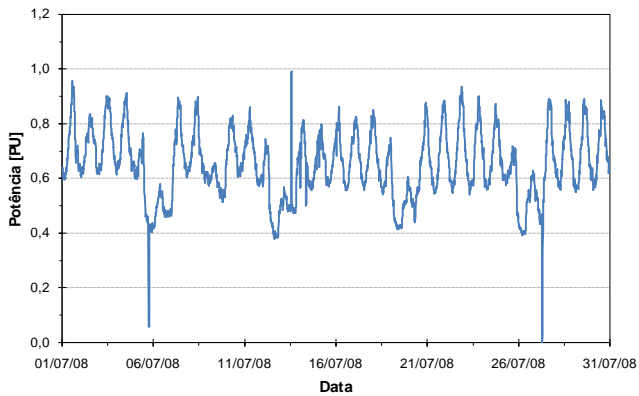


Figura 6. Perfil de demanda típico de uma indústria de fabricação de produtos químicos 1.

Outro fabricante de produtos químicos teve um consumo regular durante os anos analisados. As paradas e partidas de produção ocorreram diariamente e, pelo perfil mostrado na figura 7, a empresa deve empregar controladores de demanda.

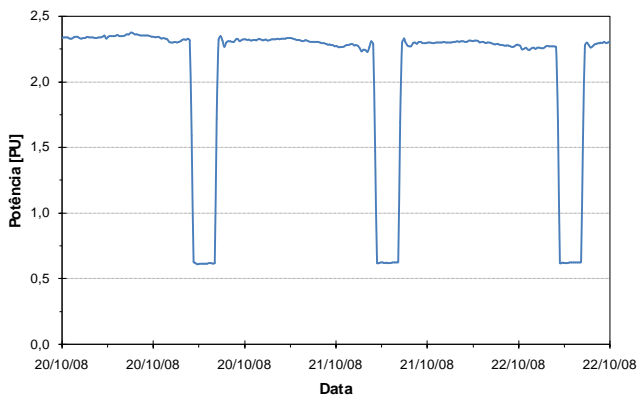


Figura 7. Perfil de demanda típico de uma indústria de fabricação de produtos químicos 2.

O perfil de demanda de uma empresa atuante no ramo de extração de minerais metálicos é mostrado na figura 8. A demanda neste caso possui pequenas variações diárias e acentuada queda de consumo nos finais de semana.

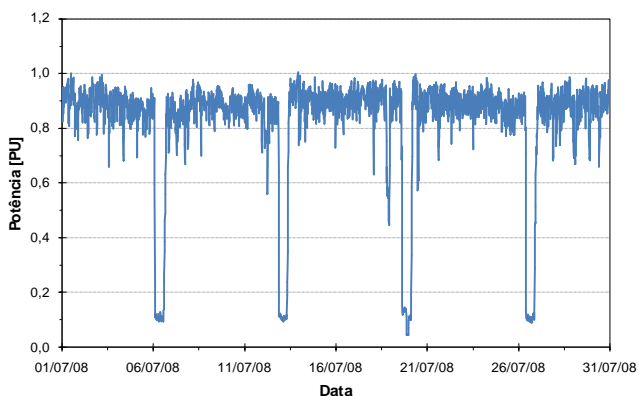


Figura 8. Perfil de demanda típico de uma indústria de extração de minerais metálicos.

A figura 9 mostra o perfil da demanda de energia elétrica de uma empresa fabricante de produtos alimentícios. Pode-se observar que durante os dias úteis o consumo desta indústria é irregular, com uma significativa redução nos finais de semana.

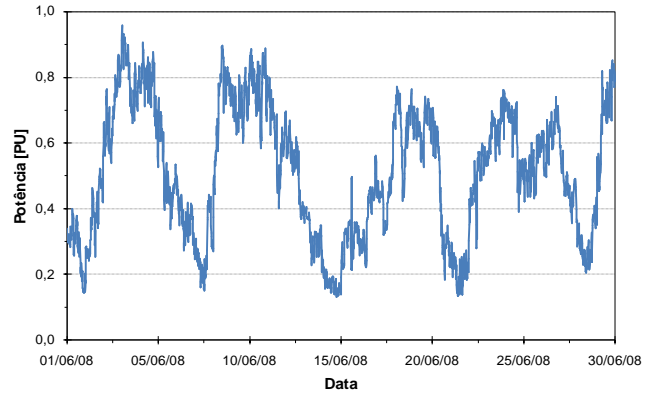


Figura 9. Perfil de demanda típico de uma empresa fabricante de produtos alimentícios

IV. ESTUDO DE CASO

Para a aplicação do projeto de pesquisa o perfil de demanda adequado deve apresentar um padrão de variação com a hora do dia ou com o dia da semana, onde seja possível a visualização da alteração da energia consumida entre os turnos de produção.

Outro aspecto indispensável é a disponibilização do banco de dados da empresa com as informações da produção em função do tempo (data e hora). O acesso destas informações a terceiros é um dos maiores entraves das pesquisas deste gênero.

Atendendo esses pré-requisitos, foi definida uma montadora de automóveis entre os clientes da Tractebel Energia para se realizar um estudo de caso. Pelo tamanho da empresa, da complexidade dos processos envolvidos e da existência de setores com horários de produção distintos, o estudo foi focado no setor de pintura, que representa a maior carga da planta e possui as melhores condições de avaliação dos dados de produção. A figura 10 apresenta o perfil de demanda deste setor entre os meses de setembro e novembro de 2009.

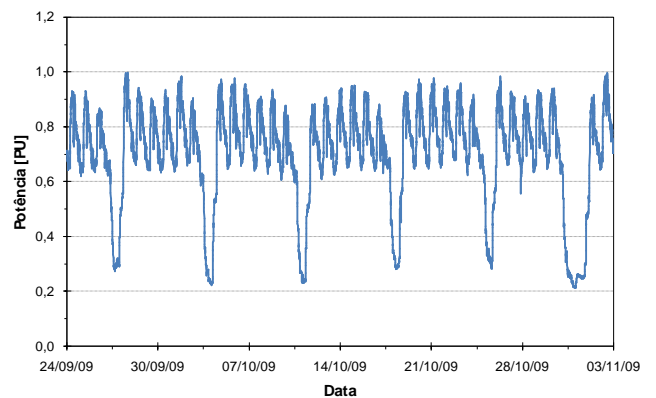


Figura 10. Perfil de demanda do setor de pintura de uma montadora de automóveis.

Como pode ser observado na figura 10, o regime de produção na montadora de automóveis é semanal, sendo que as paradas ocorrem aos domingos e as retomadas nas segundas-feiras. Para entender o fluxo de produção e suas diversas etapas, a equipe de pesquisadores esteve por diversas vezes na empresa, inclusive em um final de semana, para acompanhar a dinâmica e as relações entre os produtos e a energia consumida.

Na empresa analisada o maquinário começa a ser ligado entre 8 e 7 horas antes do início do processo produtivo. Durante este intervalo são realizados ajustes e testes preventivos.

Nas paradas de produção as máquinas são paulatinamente desligadas na medida em que se aproxima o final do último turno semanal. Porém, alguns ventiladores, exaustores e iluminação permanecem ligados para a limpeza de todos os setores da linha. Este processo pode levar de 3 a 6 horas.

Existem vários pontos ao longo da linha de produção que podem acumular carros que completam um dos estágios da pintura, mas não estão acabados. Este fato faz com que a parada ou retomada total da linha não inicie, necessariamente, quando o último veículo sai ou entra no setor de pintura, respectivamente.

Para avaliar a relação entre o consumo de energia elétrica e a produção no setor de pintura foram utilizados os dados dos sistemas de supervisão de energia e de controle de qualidade ao longo da linha de produção. Também foram instalados analisadores de energia nos circuitos alimentadores onde não havia monitoramento.

Fizeram parte da análise os finais de semanas entre os meses de setembro de 2009 à janeiro de 2010. Foram analisados um total de doze finais de semana, ficando de fora aqueles que sofreram alteração de suas condições normais de operação em função de feriados, recessos programados ou diminuição significativa da quantidade de carros pintados.

Nas figuras a seguir são apresentados alguns exemplos dos perfis de consumo de energia e a quantidade de carros que entram (QE) e saem (QS) da linha de produção por hora nos fins de semana, incluindo dois dias antes da parada e um dia depois do início de produção. Assim como a potência elétrica, a quantidade de carros produzidos foi dividida por um fator de escala, estando representada nos gráficos pela unidade PU.

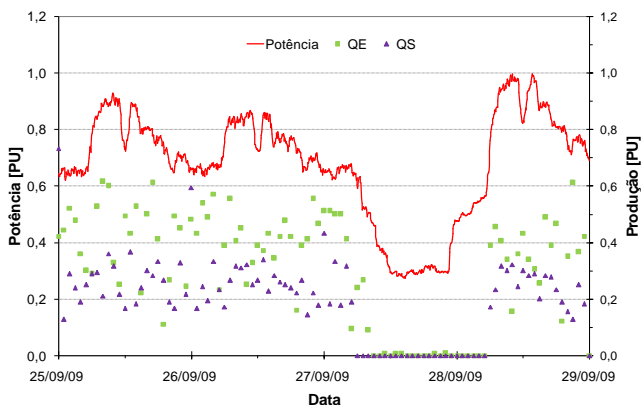


Figura 11. Perfis de demanda e produção no final de semana dos dias 27 e 28 de setembro de 2009.

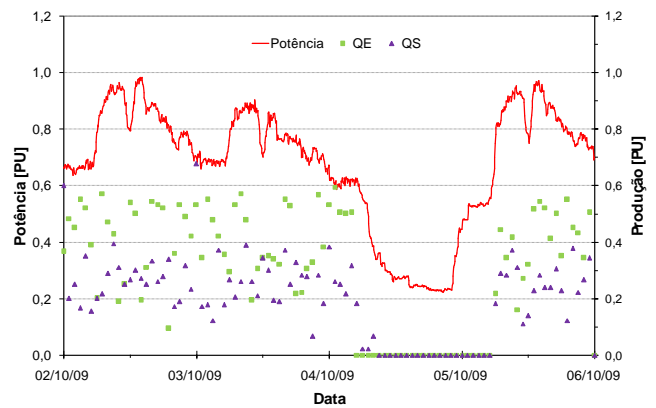


Figura 12. Perfis de demanda e produção no final de semana dos dias 4 e 5 de outubro de 2009.

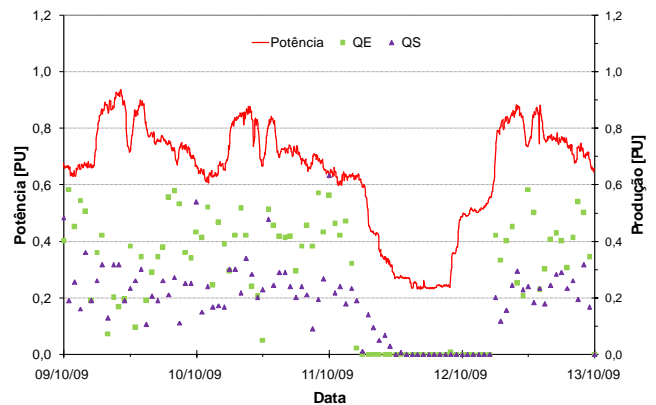


Figura 13. Perfis de demanda e produção no final de semana dos dias 11 e 12 de outubro de 2009.

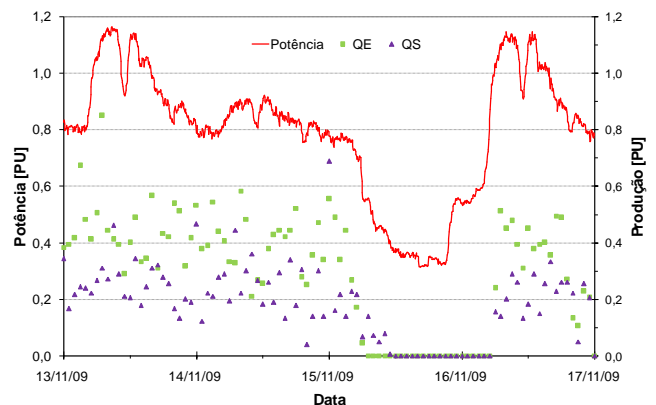


Figura 14. Perfis de demanda e produção no final de semana dos dias 15 e 16 de novembro de 2009.

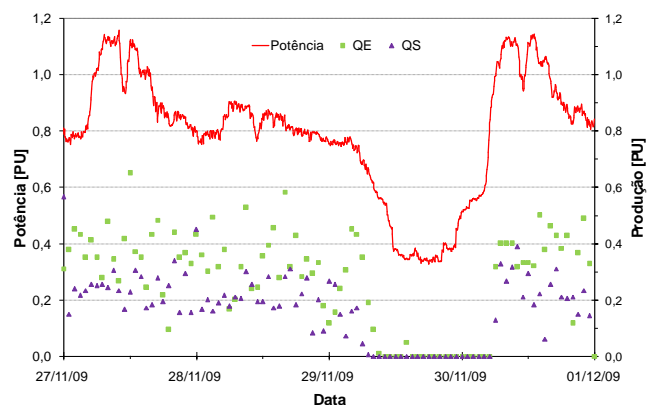


Figura 15. Perfis de demanda e produção no final de semana dos dias 29 e 30 de novembro de 2009.

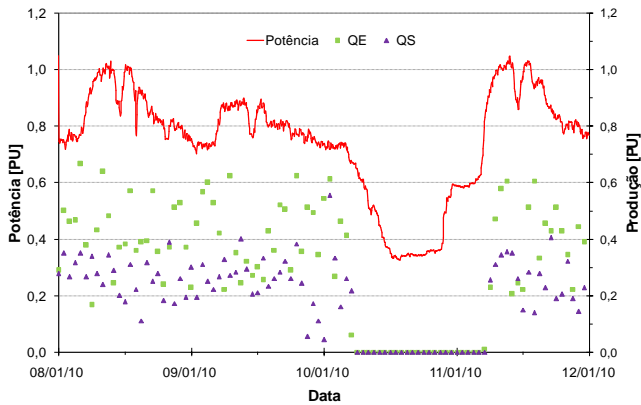


Figura 16. Perfis de demanda e produção no final de semana dos dias 10 e 11 de janeiro de 2010.

Sob a ótica da pesquisa e observando as figuras anteriores, a energia elétrica da empresa pode ser dividida em três partes: a relacionada diretamente com a produção, a consumida nos processos de partida e parada e a necessária para manter sistemas que não podem ser desligados, mesmo sem produção (caso do funcionamento de algumas bombas de recirculação de fluido, exaustores, iluminação parcial do ambiente etc.). A figura 17 do final de semana dos dias 10 e 11 de janeiro de 2010 ilustra esta ideia.

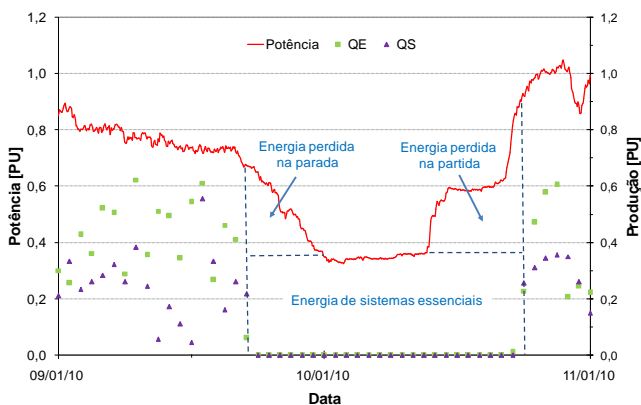


Figura 17. Energia elétrica e sua relação com a produção.

Para cada final de semana analisado foi calculada a energia total da semana e as consumidas nos processos de partida e parada de produção. A tabela II apresenta estas relações.

A tabela II mostra que existe um potencial de economia representativo que pode ser explorado na eficiência dos intervalos de partida e parada de produção. Outra questão que pode ser explorada é a correlação entre a energia consumida e a fabricação de carros, buscando a melhor relação entre a produção e o consumo de energia nos finais de semana.

Inicialmente se obteve as médias de consumo de energia e de produção nos finais de semana analisados. Dentre estes dados, determinou-se o final de semana de máxima eficiência (4 e 5 de outubro de 2009), no qual circulou mais carros e consumiu menos energia do que as médias do período. A figura 18 ilustra os perfis de demanda desta análise, onde se sobrepôs um final de semana típico de produção ao de máxima eficiência.

Tabela II. Percentuais de energias consumidas em paradas e partidas de produção.

Fim de semana	Energia perdida [%]		
	Parada	Partida	Total
26-27/09/2009	0,74	1,29	2,03
03-04/10/2009	0,08	1,46	1,54
10-11/10/2009	0,58	1,45	2,03
17-18/10/2009	0,41	1,37	1,77
24-25/10/2009	0,16	1,42	1,58
7-8/11/2009	0,07	1,46	1,53
14-15/11/2009	0,03	1,60	1,63
21-22/11/2009	0,21	1,48	1,69
28-29/11/2009	0,20	1,03	1,23
5-6/12/2009	0,46	0,81	1,27
9-10/01/2010	0,53	1,30	1,83
23-24/01/2010	0,16	1,29	1,45

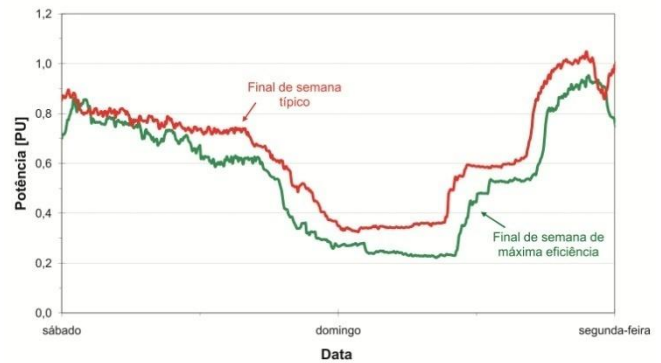


Figura 18. Perfis de demanda de um final de semana típico e o de máxima eficiência.

Considerando que os mesmos procedimentos de produção adotados no final de semana de máxima eficiência sejam utilizados nos demais finais de semana, poderia haver uma redução de 1.771 MWh anuais, o que corresponderia a uma economia de 2,7 % no consumo total em energia elétrica do setor de pintura. Este índice engloba não só o potencial de economia em partidas e paradas, mas também a energia consumida nos sistemas essenciais.

Outra forma de avaliar o processo de produção sob o ponto de vista da eficiência energética é por meio da determinação do consumo específico, que é a razão entre a energia e a quantidade de produtos fabricados em um intervalo. Em média o consumo específico dos finais de semana é de 2,08 PU, enquanto que no de máxima eficiência ele foi de 1,73 PU.

Em empresas de grande porte é uma característica comum a inexistência de uma rotina formalizada, que descreva os procedimentos a serem adotados durante as paradas e retomadas de produção. Geralmente estes procedimentos são realizados segundo hábitos consagrados pelo tempo e, em alguns casos, sem base técnica que os justifique. Poder otimizar o consumo de energia e auferir seus ganhos econômicos são fatores suficientes para modificar este quadro.

V. ANÁLISE DE POTENCIAIS DE ECONOMIA

A energia relacionada com a produção, que corresponde a maior parcela do consumo, é constantemente avaliada por meio de diagnósticos ou auditorias energéticas em indústrias, onde é dada atenção à melhoria de rendimento dos equipamentos ou dos processos [3]-[5]. Geralmente, as perdas nos períodos de não produção são negligenciadas nestes métodos.

Para os objetivos da pesquisa, a parcela de interesse é a energia consumida em dois momentos distintos. O primeiro vai desde a parada de produção até o horário onde permanecem em funcionamento apenas os equipamentos ou sistemas essenciais. O segundo vai do período no qual se inicia o acionamento dos equipamentos necessários à produção até o instante no qual o primeiro produto entra na linha.

Os instantes de início e término de produção são facilmente conhecidos pelos gerentes ou diretores das indústrias. Já os horários de partida ou desligamento de equipamentos dependem de uma série de decisões que pode passar por técnicos de manutenção, operadores, supervisores etc., fazendo com que ações se tornem ineficientes do ponto de vista energético.

Com o intuito de indicar ao nível gerencial da empresa o potencial de economia nos intervalos de partida e parada de produção, foi elaborada uma ferramenta computacional que estima as perdas de energia com base na curva de demanda e nos horários de início e término de produção. Algumas características desta ferramenta e ilustrações das telas de entrada e saída de dados são apresentadas a seguir.

Inicialmente é informado o nome da empresa ou unidade industrial que se deseja realizar a avaliação (figura 19).

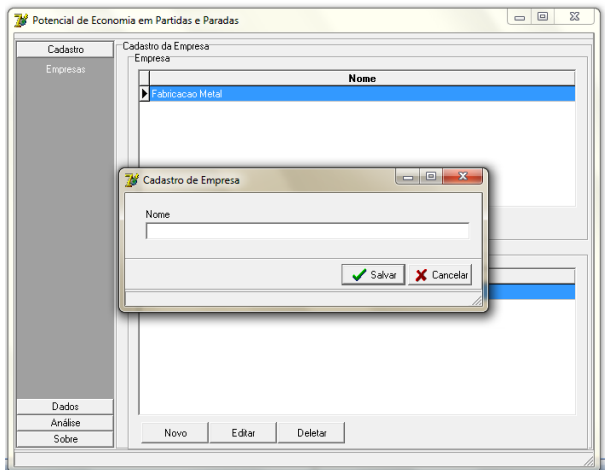


Figura 19. Tela inicial, cadastro da empresa.

Um arquivo em formato CSV (*comma separated value*) contendo a demanda de potência em função do tempo deve estar disponível para carregamento pelo programa. Os dados do arquivo podem ser de uma ou mais semanas e, preferencialmente, com tempo de aquisição menor ou igual a 15 minutos para que seja possível observar a evolução da energia nos períodos de parada e retomada de produção (figura 20).

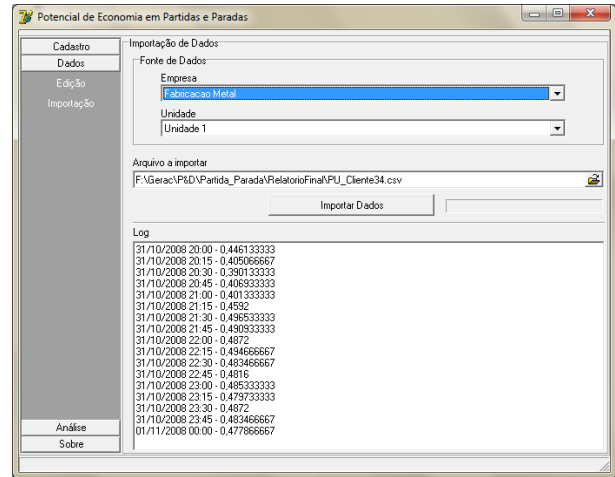


Figura 20. Tela de carregamento do arquivo de dados da potência no tempo.

No ícone “Análise” o usuário tem a disposição os sub-menus: “Fonte de Dados” no qual é especificada a empresa e a unidade ou setor que os dados foram coletados; “Semana” onde se define o primeiro dia da semana que se deseja avaliar e “Informações para Análise” que deve conter os dias e horários de início e término de produção. A figura 21 ilustra esta seção do programa.

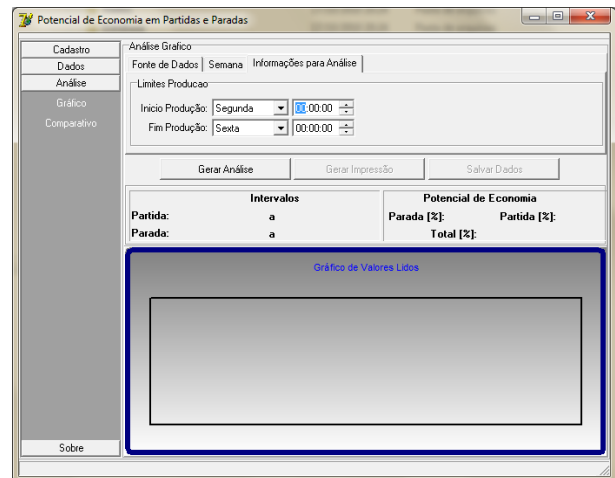


Figura 21. Tela de informações necessárias para a análise.

Uma vez inseridos os dados e as informações, ao escolher “Gerar Análise” um algoritmo calcula as energias envolvidas no processo. Como resultado é apresentado na tela o traçado do perfil de demanda da semana analisada, os percentuais de energia consumida nos processos de partida e parada e a indicação dos pontos mais relevantes para os cálculos (figura 22).

O sistema gera um relatório que pode ser salvo em formato PDF (*Portable Document Format*) para arquivo ou impressão da análise.

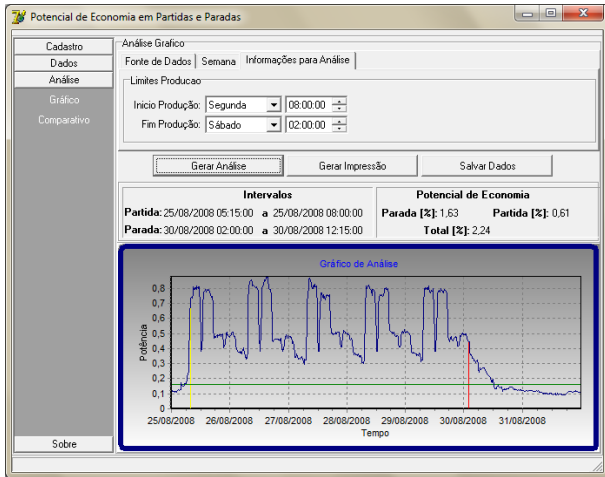


Figura 22. Tela com os resultados da análise.

O usuário também pode optar por realizar comparações do consumo de energia entre duas semanas distintas, como mostra as figuras 23 e 24.

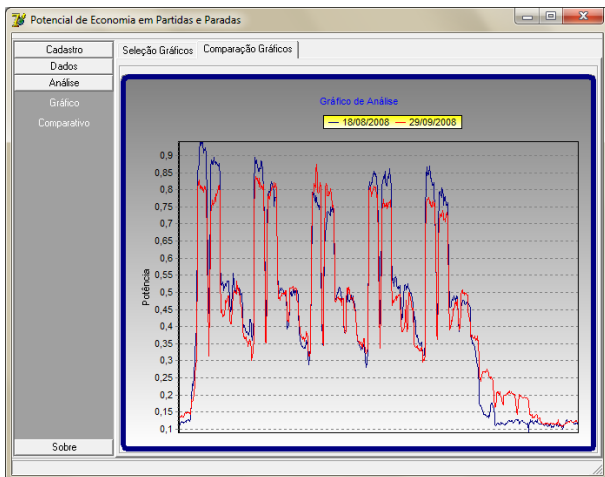


Figura 23 – Comparação entre duas semanas de produção em uma indústria de fabricação de metal.

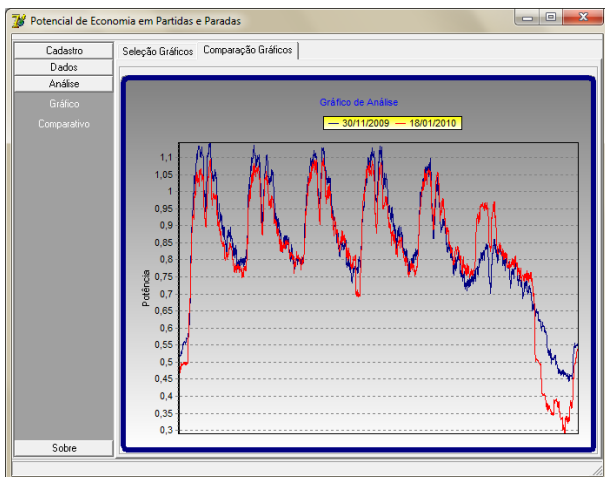


Figura 24 – Comparação entre duas semanas de produção em uma montadora de automóveis.

Exemplos de alguns resultados de simulações estão apresentados nas figuras a seguir.

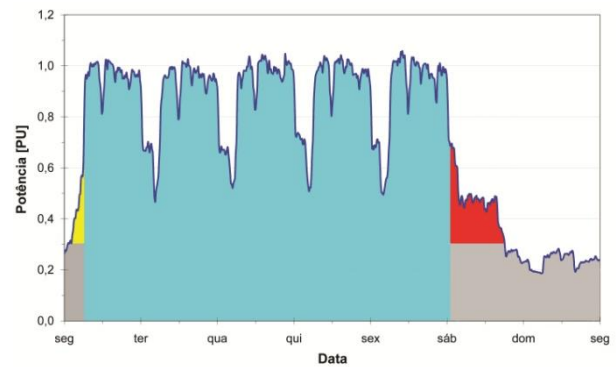


Figura 25. Potencial de economia em uma indústria de máquinas e equipamentos.

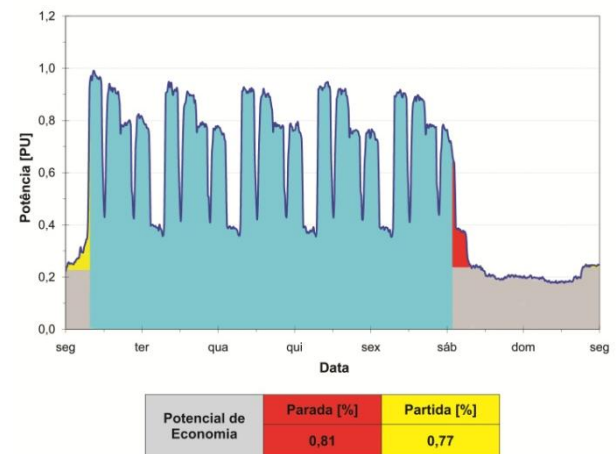


Figura 26. Potencial de economia em uma indústria de fabricação de metal.

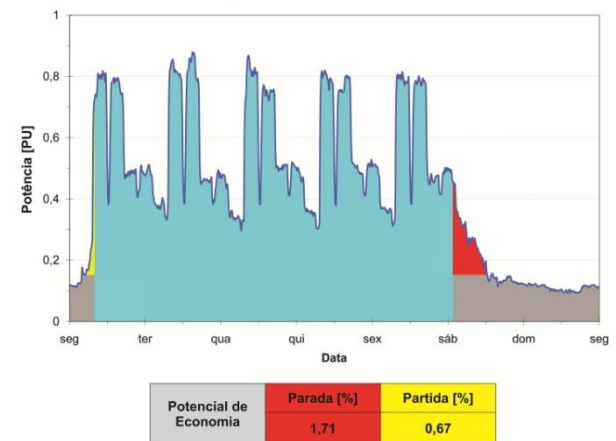


Figura 27. Potencial de economia em uma indústria de produtos de metal.

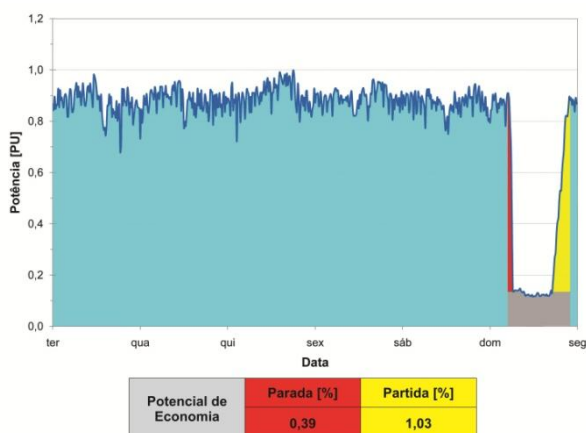


Figura 28. Potencial de economia em uma indústria de máquinas e equipamentos.

Os percentuais apresentados nas simulações representam os potenciais de economia de energia que existe nos intervalos de partida e parada de produção. O intuito é que as simulações possam ser utilizadas como indicadores, servindo como base para ações de efficientização e comprovação das melhorias num processo contínuo.

VI. CONCLUSÕES

O projeto de pesquisa mostrou que existe um potencial de economia de energia significativo durante os processos de partida e parada de produção.

As análises e o estudo de caso realizado evidenciaram que os procedimentos adotados nos intervalos de partida e parada de produção não são controlados de forma otimizada sob o ponto de vista da eficiência energética. Vícios operacionais, quadro de pessoal reduzido, controle descentralizado do processo, fazem com que estes intervalos sejam mais longos que o necessário.

As ações para melhorar a eficiência energética nesses casos estão relacionadas tanto com questões tecnológicas como com procedimentos operacionais. As mudanças nos procedimentos operacionais, em geral, têm baixo custo de investimento, podendo trazer resultados significativos na economia de energia global da empresa.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumonacionaldeenergiaeleticaporclasse-1995-2009.aspx>. Acesso em: 19 de abr. 2010
- [2] Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília: ANEEL, 2008.
- [3] VÁRIOS AUTORES. Conservação de Energia: Eficiência Energética de Instalações Equipamentos. Itajubá: Fupai, 2001.
- [4] GELLER, H. S. Efficient Electricity Use. A Development Strategy for Brazil. ACEEE, 1991.
- [5] KRARTI, M. Energy Audit of Building Systems: An Engineering Approach. Florida, EUA: Mechanical Engineering Series, Frank Kreith – Series Editor, 2000.