

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Avaliação da Eficácia e do Valor Social de
Estratégias de DSM com novas Opções Tarifárias**

Júlio Paulo Batista Delgado

VERSÃO DEFINITIVA

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Professor Doutor João Abel Peças Lopes

Julho de 2008

© Júlio Paulo Batista Delgado, 2008

Resumo

O Sistema Electroprodutor assenta tradicionalmente numa filosofia em que a 'oferta vai de encontro à procura' de energia. Nesse sentido, o consumidor paga um preço constante e pré-estabelecido pela quantidade de energia que consome. Como normalmente o Sistema Electroprodutor tem pouca ou nenhuma capacidade de armazenamento, tal obriga a que para garantir um fornecimento contínuo de energia para fazer face a picos de consumo, o produtor tenha que aumentar a sua capacidade instalada. Nesta perspectiva, conclui-se que avultados investimentos têm sido feitos no sentido de aumentar a capacidade instalada, que apenas irá ser utilizada para fazer face a picos de consumo muitas vezes de curta duração.

O aumento crescente dos preços das matérias primas nos mercados internacionais, nomeadamente do carvão e do petróleo, obriga a uma mudança de paradigma no que respeita a forma de utilizar estes recursos naturais de uma forma mais eficiente. Se juntarmos a isto o facto de o consumo de energia eléctrica apresentar padrões de procura (diários, semanais e sazonais) de alguma forma previsíveis, os consumidores de energia eléctrica seriam convidados a participar na gestão do sistema no sentido de transferirem o consumo de cargas deslastráveis para períodos fora dos picos de consumo, permitindo assim uma 'suavização' do Diagrama de Cargas com as inerentes vantagens económicas daí resultantes. Tal tarefa pressupõe toda uma infra estrutura de comunicações entre o operador de rede e os consumidores de energia eléctrica.

Verificar qual o impacto na rede eléctrica de toda esta filosofia de operação é o objectivo desta Dissertação. Além de uma análise da eficácia de estratégias de gestão do lado da procura com base em novas opções tarifárias, é também apresentado um simulador onde se mostra esse impacto do ponto de vista dos níveis de Tensão, Trânsitos de Potências e Perdas numa rede eléctrica com 23 barramentos e vários consumidores tipo.

Abstract

The Electricity-generating System has traditionally been built using a supply follows demand' philosophy. That way, the customer pays a constant and pre-specified price by the amount of energy consumption. With little or no storage capacity, generation capacity must always exceed peak demand to ensure continuous service. Therefore we can conclude that large amount of money has been invested in order to increase supply capacity which sometimes will be used only during short peak periods.

The actual increasing price of the raw materials in International Markets, namely coal and oil, implies a paradigm change in the use of these natural resources in a more efficient way. If we take into consideration the Electricity consumption has a predictable pattern of demand during daily, weekly or seasonal periods, the consumers could be invited to participate in Demand System Management so that they can transfer the consumption of some appliances from peak to non-peak periods, making a kind of 'smoothing' of Load Diagram with significantly economical advantages as result. This effort implies a large communications infrastructure between Operator Network and Consumer.

To check the impact of all these strategies in Electrical Network is the main goal of this Thesis. In it, not only an effectiveness analysis of Demand System Management strategies based on new pricing tariff options is done but also a simulator to show the impact in Electrical Network concerning the Voltage levels, Power Flow and Power Losses are presented. The study focused in an Electrical Network with 23 Buses and several consumer types.

Agradecimentos

É de todos conhecida a importância que representa na carreira profissional de um indivíduo a conclusão de um curso de Mestrado. Nesse sentido, não procurarei nesta página descrever tudo o quanto neste momento gostaria de expressar, mas quero deixar apenas um registo de um conjunto de personalidades que contribuíram para que este trabalho chega-se a bom termo.

Acima de tudo quero agradecer aos meus pais por toda a confiança e esperança que sempre em mim depositaram, pelo incentivo que me deram, pelos conselhos, exemplo de vida e dedicação.

Quero também agradecer ao Professor Doutor João Abel Peças Lopes, com quem tive o privilégio de conviver ao longo destes meses, a forma nobre segundo a qual conduziu o desenrolar deste trabalho.

Ao Mestre André Madureira o frutuoso apoio que deu no desenvolvimento deste trabalho

A todos aqueles que de forma directa ou indirecta contribuíram para a execução deste trabalho.

Índice

Resumo	iii
Abstract	v
Agradecimentos	vii
Índice	ix
Lista de figuras	xi
Lista de tabelas	xiii
Abreviaturas e Símbolos	xv
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1 - Motivação	1
1.2 - Estrutura do Texto	3
Capítulo 2	5
Estratégias de DSM – Demand Side Management	5
2.1 - A Atitude dos Consumidores na Eficácia do Sistema	5
2.2 - Opções Tarifárias	8
2.3 - Resposta dos Consumidores às várias opções Tarifárias	13
Capítulo 3	15
A "Energy Box"	15
3.1 - A Arquitetura da "Energy Box"	16
3.2 - Aplicações da Energy Box	18
Capítulo 4	21
Simulador do Impacto da "Energy Box" na Rede Eléctrica	21
4.1 - Pré-Requisitos	22
4.2 - Arquitectura Geral do Simulador	23
4.3 - Funcionamento do Simulador	44
4.4 - Como o Simulador Toma a Decisão de Cortar ou não as Cargas	49
Capítulo 5	55

Avaliação do Impacto da "Energy Box" na Rede de Distribuição de Energia Eléctrica:	
Cenários de Estudo.....	55
5.1 - Diagrama de Carga	56
5.2 - Tensões nos Barramentos	62
5.3 - Trânsitos de Potências nas Linhas	68
5.4 - Perdas nas Linhas.....	74
Capítulo 6	79
Conclusões e Desenvolvimento Futuro	79
Referências	81

Lista de figuras

Figura 2.1 - Formas de se reduzirem os picos de Consumo de Energia	6
Figura 3.1 -Arquitetura da “Energy Box”	17
Figura 4.1 - Painei Inicial	23
Figura 4.2 - Setup do Operador de Rede	25
Figura 4.3 - Rede Eléctrica	26
Figura 4.4 - Parâmetros das Linhas	27
Figura 4.5 - Ficheiro de Configuração da Rede Eléctrica.....	28
Figura 4.6 - Factores Multiplicativos	37
Figura 4.7 - Consumidor tipo T1.....	38
Figura 4.8 - Tempos Característicos do Funcionamento dos Equipamentos Eléctricos	40
Figura 4.9 - Funcionamento dos Equipamentos Eléctricos.....	41
Figura 4.10 - Escolha de um Ficheiro de Cenários pelo Simulador.....	44
Figura 4.11 - Diagrama de Carga com e sem "Energy Box" do consumidor tipo 'Consumidor_T1' e o sinal de 'BroadCast' do Operador de Rede.	47
Figura 4.12 - Gráfico Comparativo de dois Cenários Diferentes	48
Figura 4.13 - Pico verificado no diagrama de carga no fim do nível 3 de decisão do simulador	53
Figura 4.14 - Redução do pico verificado no diagrama de carga com o nível 4 de decisão do Simulador	54
Figura 5.1 - Diagrama de Carga, Cenário A Consumidor T1.....	57
Figura 5.2 - Diagrama de Carga, Cenário B Consumidor T1.....	58
Figura 5.3 - Diagrama de Carga, Comparação entre Cenário A e Cenário B Consumidor T1.....	59
Figura 5.4 - Diagrama de Carga, Cenário C Consumidor T1.....	60

Figura 5.5 - Diagrama de Carga, Cenário C Consumidor T1 no Barramento nº11	61
Figura 5.6 - Diagrama de Carga, Cenário D Consumidor T1	62
Figura 5.7 - Cenário A, Tensão no Barramento 14	63
Figura 5.8 - Cenário B, Tensão no Barramento 14	64
Figura 5.9 - Comparação entre Cenário A e Cenário B, Tensão no Barramento 14.....	65
Figura 5.10 - Cenário C, Tensão no Barramento 14.....	66
Figura 5.11 - Cenário D, Tensão no Barramento 14.....	67
Figura 5.12 - Cenário A, Trânsito de Potências na Linha que une os Barramentos 1 e 2 ..	69
Figura 5.13 - Cenário B, Trânsito de Potências na Linha que une os Barramentos 1 e 2 ..	70
Figura 5.14 - Comparação entre Cenário A e Cenário B, Trânsito de Potências na Linha que une os Barramentos 1 e 2	71
Figura 5.15 - Cenário C, Trânsito de Potências na Linha que une os Barramentos 1 e 2 ..	72
Figura 5.16 - Cenário D, Trânsito de Potências na Linha que une os Barramentos 1 e 2 ..	73
Figura 5.17 - Cenário A, Potências de Perdas na Linha que une os Barramentos 1 e 2	74
Figura 5.18 - Cenário B, Potências de Perdas na Linha que une os Barramentos 1 e 2	75
Figura 5.19 - Comparação entre Cenário A e Cenário B, Potências de Perdas na Linha que une os Barramentos 1 e 2	76
Figura 5.20 - Cenário C, Potências de Perdas na Linha que une os Barramentos 1 e 2	77
Figura 5.21 - Cenário D, Potências de Perdas na Linha que une os Barramentos 1 e 2	78

Lista de tabelas

Tabela 4.1 — Tabela Setup da Rede Eléctrica.....	32
Tabela 4.2 — Tabela de Potências Típicas	36
Tabela 5.1 — Tabela Resumo dos Resultados obtidos com o Simulador	78

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

DSM – Demand Side Management

EIA – Energy Information Association

p.u. – Sistema por Unidade

PLC – Power Line Carrier

Lista de símbolos

Ω Ohm – Unidade de Medida da Resistência Eléctrica

Capítulo 1

Introdução

Ao longo do Desenvolvimento desta Dissertação serão postos em relevo determinados aspectos relativos à gestão do Sistema de Energia Eléctrica, nomeadamente no que concerne à sua gestão eficiente. Esta abordagem torna-se, nos dias de hoje, cada vez mais necessária se atender-mos ao cada vez mais crescente custo das matérias primas utilizadas na produção de Energia, o que torna inevitável que questões relacionadas com a eficiência energética sejam trazidas para a ordem do dia.

1.1 - Motivação

O sistema actual de produção centralizada de energia eléctrica, pela sua dimensão, torna praticamente inviável qualquer processo de armazenamento desta forma de energia. No entanto, o operador de rede, deve garantir um determinado nível de qualidade de serviço independentemente das solicitações verificadas do lado dos consumidores. A situação ideal, seria ter um equilíbrio entre a energia que é produzida (oferta) e a energia que é consumida (procura) e que a energia consumida fosse quase constante ao longo do tempo. Na ausência de tal equilíbrio, o produtor de energia terá de sobredimensionar a capacidade instalada de produção de energia para fazer face às variações de consumo verificadas por parte dos consumidores. Digamos que os consumidores têm um papel meramente passivo em todo este processo de gestão, que se quer eficiente, do Sistema Eléctrico.

A operação do sistema com base nesta filosofia, tem várias desvantagens, nomeadamente:

- um uso ineficiente das matérias primas usadas para a produção de Energia eléctrica;
- aumento da capacidade instalada para fazer face a picos de consumo;
- não há qualquer incentivo que leve os consumidores a decidir que devem usar a energia de forma eficiente, e

- o Sistema fica como que vulnerável já que não só é extremamente dependente do preço das matérias primas e sua disponibilidade nos mercados internacionais mas também porque fica exposto à duração de picos de consumo imposto pelos consumidores (MIT, 1980).

Uma das soluções para o problema da gestão eficiente da energia, passa não só pelos produtores de energia, que devem desenvolver estratégias no sentido de prever, de forma o mais exacta possível, o consumo mas também por envolver os consumidores levando-os a ter uma papel mais activo em todo este processo. Este papel não se limita somente em utilizar equipamentos mais eficientes do ponto de vista energético, mas também ao período do dia em que se dá uso a esses mesmos equipamentos.

Atendendo à existência de alguma previsibilidade nos consumos evidenciada pela sazonalidade apresentada pelo Diagrama de Cargas (Black, 2007), pode-se concluir que durante os picos de consumo o sistema electroprodutor está a ser utilizado à sua capacidade máxima e que durante os restantes períodos tal já não se justifica. Obviamente que tendo o sistema capacidade para produzir uma determinada quantidade de energia, e tal não é feito porque os consumidores não o exigem, acarreta consigo desvantagens económicas na sua exploração.

Vários estudos têm sido feitos no sentido de se conseguir um equilíbrio entre a oferta e a procura de energia. Os manuais de economia afirmam que um dos factores determinantes para se conseguir esse equilíbrio é o preço. Assim sendo, para se conseguir esse equilíbrio, teria que existir toda uma infra estrutura que permitisse que o consumidor tivesse acesso ao preço da energia num determinado instante, para que assim pudesse decidir sobre se deve ou não desligar determinado tipo de equipamentos da sua habitação.

Saliente-se no entanto que o preço, por si só, não é suficiente para se atingir esse equilíbrio, já que a reacção dos consumidores é diferente face a uma variação de preços da energia. A opinião de vários investigadores é que para se atingir o equilíbrio entre a oferta e a procura de forma mais eficaz se combine não só a resposta dos consumidores a uma variação de preços mas também a todo um sistema de controlo que tendo acesso à informação fornecida pelo operador de rede em tempo real permitisse o controlo de forma mais eficiente dos equipamentos eléctricos dos consumidores, sem no entanto por em causa a qualidade de vida destes. No limite, isto não é mais do que uma gestão do lado dos consumidores (DSM – Demand Side Management) que passam assim a ter um papel mais interventivo na gestão eficiente de todo o sistema.

O controlo eficiente dos equipamentos eléctricos dos consumidores deveria ser tal que permitisse reduzir os picos de consumo do diagrama de cargas, quer através da informação a que o consumidor tem acesso sobre o valor real do preço da energia eléctrica quer pela utilização de equipamentos mais eficientes, quer pelo corte de alguns equipamentos ou até mesmo pela transferência da utilização de alguns destes equipamentos para períodos fora dos picos de consumo.

Esta abordagem ao problema do uso eficiente da energia ainda não está implementada na prática. O objectivo desta dissertação é demonstrar nas páginas seguintes as vantagens inerentes à sua implementação.

1.2 - Estrutura do Texto

Após uma introdução para motivar o interesse nesta nova abordagem da gestão eficiente da energia eléctrica várias estratégias de DSM são abordadas no Capítulo 2. Aqui pretende-se saber que novas opções tarifárias devem ser implementadas no sentido de incentivar os consumidores a alterarem os seus padrões de consumo. Estas opções tarifárias resultam de vários estudos feitos em vários países no sentido de se verificar qual a adesão que os consumidores tiveram às várias opções tarifárias.

A implementação desta nova filosofia exige que haja toda uma infraestrutura de comunicações entre o operador de rede e os consumidores. Um dos componentes fundamentais dessa infraestrutura é aquilo que se designa por "Energy Box". Uma "Energy Box" não é mais do que um contador inteligente que serve de interface entre o consumidor e o operador de rede. A caracterização deste importante componente é feito no Capítulo 3, onde serão abordados também de que forma a aplicação das funções íntinsecas deste dispositivo têm utilidade para os consumidores e de que forma contribui para a gestão eficiente dos consumos quando responde de forma autónoma a variações de preços de mercado enviadas quase on-line pelo operador de rede ou para apoiar a gestão da rede.

No Capítulo 4, descreve-se um simulador que foi desenvolvido precisamente para avaliar o impacto da utilização da "Energy Box" na rede eléctrica. Este simulador foi desenvolvido em Matlab e usando como uma das suas toolboxes o MatPower 3.2. Aqui é descrito em termos gerais a forma como este simulador foi desenvolvido, aspectos ligados à sua configuração, quais são os dados de entrada e resultados que se obtêm com o simulador. Este simulador operando sobre uma rede com 23 barramentos e vários consumidores tipo permite simular os consumos globais de cada consumidor através do ciclo de utilização dos equipamentos eléctricos a ele pertencentes. No entanto pode ser utilizado para análises de outras topologias de redes.

A avaliação do impacto na rede de distribuição de energia eléctrica de toda esta filosofia de operação é feita no Capítulo 5, onde se considera um conjunto de cenários de estudo. Aqui pretende-se analisar o impacto técnico de filosofias de gestão activa da procura numa rede de distribuição recorrendo a um programa de Trânsito de Potências. Esta análise é feita ao nível dos perfis de tensão nos barramentos, nos trânsitos de potência nas linhas e ao nível das perdas nas mesmas. O Capítulo termina com referências às conclusões obtidas e uma panorâmica sobre os resultados obtidos com este tipo de abordagem.

Por último, uma perspetiva sobre as conclusões alcançadas e o desenvolvimento futuro do objecto deste trabalho são expostos no capítulo 6.

Capítulo 2

Estratégias de DSM - Demand Side Management

A ideia de que para satisfazer as necessidades de consumo de um cada vez maior número de consumidores só se consegue com o aumento da capacidade de produção instalada, não é de todo consensual. Amory Lovins (Lovins, 2007), especialista em eficiência energética, suporta que sai mais barato investir em eficiência do que investir na produção energética. A título de exemplo, a construção de uma central de energia eléctrica de 1000 MW tem custos da ordem dos \$2000 por kW, totalizando um total de investimentos da ordem dos 2 biliões de dólares e demora aproximadamente 3 anos a ser construída (nuclear.net, 2008; Wald, 2007).

Tendo em conta os dados da Energy Information Association (EIA), a taxa de crescimento do consumo que se cifra na ordem dos 1.6% ao ano, leva a que, só nos Estados Unidos, se tenha de aumentar a capacidade instalada de produção de energia eléctrica em 11 000 MW por ano, o que se traduz na construção de cerca de 11 novas centrais produtoras durante este período. Desenvolvimentos recentes, sugerem que para se atenuarem estes avultados investimentos, se têm de encontrar formas de reduzir os picos de consumo do diagrama de cargas dos consumidores (Black, 2007).

2.1 - A Atitude dos Consumidores na Eficácia do Sistema

Roger Ducan (Ducan, 2005) da Austin Energy, demonstra com simples gráficos formas de se reduzirem os picos de procura, e os benefícios de se incorporarem sistemas para monitorização dinâmica da gestão da energia. São apontadas 3 estratégias: 'Peak Clipping', 'Strategic Conservation' e 'Load Shifting'.

A estratégia de 'Peak Clipping' pode aplicar-se a todo o tipo de equipamento eléctrico às quais o consumidor dá pouca prioridade e que portanto podem ser facilmente desligados sempre que haja uma solicitação do operador de rede nesse sentido. É o caso de por exemplo se ter iluminação numa determinada divisão da casa que pode ser desligada sem inconveniente nenhum, ou ter por exemplo certos equipamentos de condicionamento ambiente (aquecedores, ar condicionado) que na altura em que haja uma solicitação do operador de rede podem ser desligados sem comprometer o bem estar dos consumidores.

É evidente que os consumidores só aderem às solicitações do operador de rede se lhes forem dados alguns incentivos. Nesse sentido sugere-se por exemplo que seja dada informação em tempo real sobre o custo da energia nos períodos de pico de procura, onde os consumidores podem ser levados a concluir se devem ou não desligar os equipamentos se o preço lhes interessar (Ducan, 2005).

A 'Strategic Conservation' não tem tanto a ver com a interacção entre o operador de rede e o consumidor, mas com a atitude deste no sentido de adquirir equipamentos mais eficientes.

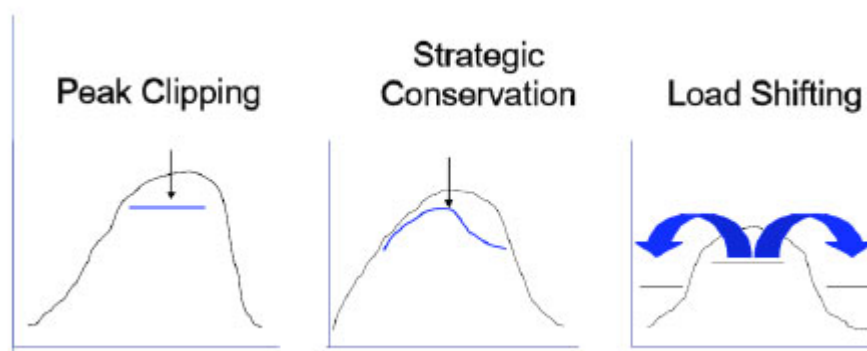


Figura 2.1 - Formas de se reduzirem os picos de Consumo de Energia

Os incentivos aqui podem ser conseguidos através de deduções de impostos na compra de equipamentos mais eficientes (Lovins, 2007)

O 'Load Shifting' implica um escalonamento do consumo de acordo com as solicitações do operador de rede. No fundo traduz-se em não usar determinados equipamentos eléctricos durante os picos de procura de energia, e arranjar estratégias para fomentar a sua utilização em períodos fora dos picos de consumo. A título de exemplo, temos o caso das máquinas de lavar que decerto não haverá nenhum inconveniente para os consumidores em usar este tipo de equipamentos nas horas de vazio. Podem ser criados incentivos aos consumidores no sentido de beneficiar aqueles que têm maior índice de utilização deste tipo de equipamentos nas horas de vazio.

Para se por todo este esquema em prática houve que se definir estratégias para que houvesse uma adesão em massa por parte dos consumidores às solicitações do operador de rede. Depois de alguns estudos feitos, logo se concluiu que a resposta às solicitações do operador de rede não deveria ser feita de forma manual pelo consumidor: primeiro porque o tempo de resposta de importância crucial para a eficácia do sistema deveria ser o mínimo possível, depois porque ao ser solicitada a intervenção do consumidor para que manualmente desligasse determinado tipo de equipamento este desviava a atenção de outras tarefas que estivesse a realizar o que logo se deduz ser este processo técnica e economicamente ineficiente.

A solução para este problema traduz-se num equipamento que sendo configurado com as preferências de cada consumidor faça a sua gestão do consumo sem a intervenção deste: A "Energy Box". A "Energy Box" fará com que cargas não prioritárias sejam automaticamente desligadas e fará também com que seja introduzido um atraso no funcionamento de determinados equipamentos eléctricos prioritários tendo em conta não só os critérios definidos pelos consumidores mas também as solicitações do operador de rede. A "Energy Box" comunica com cada um dos equipamentos dos consumidores via RFID, WiFi ou Bluetooth. Os equipamentos, ou as tomadas onde são ligados terão de estar equipados com sistemas para fazer o corte de energia caso recebam um sinal da "Energy Box". A decisão da "Energy Box" em desligar ou retardar o funcionamento de determinado equipamento eléctrico é tomada com base num programa de Inteligência Artificial intrínseco à "Energy Box" e que tem em conta as preferências do consumidor em desligar ou não determinado tipo de equipamento eléctrico a uma determinada hora do dia. Um outro dado para a decisão da "Energy Box" é sem dúvida a solicitação do operador de rede. Para esse efeito são utilizadas as linhas de transmissão de energia que através de um protocolo de comunicação (PLC – Power Line Carrier) consegue transmitir informação de forma bidirecional entre o operador de rede e os consumidores. A informação a transmitir inclui o preço real da energia eléctrica num determinado instante e um sinal de "BroadCast" que traduz a solicitação de operador de rede para a "Energy Box" fazer o corte ou retardar o funcionamento de determinadas cargas. Para o consumidor a "Energy Box" mostrará o valor real do preço da energia eléctrica num determinado instante, a energia consumida, taxa de utilização da energia, entre outros.

A adesão em massa ao uso da "Energy Box" terá sem dúvida impacto na rede de distribuição de energia eléctrica conforme se verá na secção onde será abordada a avaliação do impacto do uso da "Energy Box" por um conjunto de consumidores residenciais de uma rede de distribuição de energia eléctrica.

2.2 - Opções Tarifárias

A forma de se reduzir os picos de consumo de energia consiste em usar a "Energy Box" associada a tarifas de energia eléctrica variáveis no tempo. De referir que a estratégia de agravar as tarifas para diminuir congestionamentos, não é uma ideia inovadora, pois ela já é usada por exemplo para diminuir o tráfego em certos aeroportos nas horas de ponta. Contudo a introdução da "Energy Box" vem de alguma forma ajudar a que a gestão do consumo de energia seja mais eficiente já que ao cortar as cargas não prioritárias e atrasando a ligação de algumas cargas prioritárias para os períodos de horas de vazio, não compromete a qualidade de vida dos consumidores e atenua de alguma forma o preço a pagar pela energia por parte dos consumidores quando comparado com aquele que pagavam caso não existisse a "Energy Box".

Assim para se conseguir de alguma forma um equilíbrio entre a oferta de energia por parte do operador de rede e a procura por parte dos consumidores, teve que se definir tarifas que variando ao longo do tempo reflectam as condições de fornecimento de energia eléctrica por parte do operador de rede em tempo real. Aumentando os preços nos picos de consumo, os consumidores são incentivados a cortar cargas não prioritárias ou a retardar o funcionamento de outras prioritárias atenuando assim a procura nestes picos de consumo. Além disso, as vantagens são não só económicas como também ambientais, já que ao levar os consumidores a usarem a energia de forma mais eficiente, reduz-se o consumo de outros recursos, nomeadamente carvão e petróleo, que num sistema de produção centralizada, são largamente utilizados.

Seguidamente vão ser analisadas 3 tipos de opções tarifárias e será feita uma análise comparativa com um sistema de tarifa fixa. Demonstrar-se-á que a aplicação destas opções tarifárias resultará numa atitude mais pró activa dos consumidores no que se refere ao uso eficiente da energia eléctrica.

2.2.1 – Preço com Base no Tempo de Utilização da Energia Eléctrica

Este tipo de tarifa é definida em blocos de tempo e varia consoante as horas do dia e as estações do ano e reflete o custo médio da produção e distribuição de energia durante esses blocos de tempo. Os blocos de tempo são basicamente os períodos de pico e não pico de consumo. Tendo uma ideia da evolução dos consumos, é calculada uma tarifa que pode ter um período de validade de vários meses ou mesmo um ano. Os preços são obviamente mais elevados durante os períodos de maior procura de energia e mais baixos nos períodos de vazio, e a ideia da aplicação desta tarifa é fazer com que os consumidores utilizem cada vez mais os seus equipamentos nas horas de vazio e incentive-os a utilizar cada vez mais equipamentos mais eficientes.

Este tipo de tarifa começou por ser ensaiada no início dos anos 70, e na altura foram feitos vários estudos no sentido de se saber de que forma os consumidores reagiam a este tipo de tarifário comparativamente a ter um tarifário padrão definidos da seguinte forma (Hausman,1984):

- os consumidores com tarifário standard, pagavam um preço fixo nos primeiros 200kWh e um custo extra acima deste valor proporcional ao consumo efectuado.

- os consumidores com tarifário baseado no tempo de utilização da energia eléctrica, pagavam uma taxa ligeiramente superior ao tarifário padrão nos primeiros 200kWh, mas acima dos 200kWh havia dois tipos de sub-tarifas: uma que reflectia o consumo durante picos de procura e outra que reflectia o consumo nas horas de vazio.

O tarifário baseado no tempo de utilização da energia eléctrica é nos dias de hoje utilizado em alguns países. Normalmente, estima-se um tempo de ocorrência do pico de procura e define-se também diferentes taxas quer para o período de inverno (Novembro a Abril) quer para o período de Verão (Maio a Outubro). Depois há uma taxa fixa de consumo de energia e também uma outra taxa que depende das condições em que o operador de rede opera na produção e transporte de energia, mas que está relacionado com os picos de procura e horas de vazio. O preço da electricidade definido pelo operador de rede terá de ser definido pelos diferentes preços a que serão taxados os diferentes períodos. Refere-se em seguida um exemplo (Stone, 2007):

- 9.7 cêntimos/kWh nos dias úteis de verão das 11 da manhã às 5 da tarde.
- 3.4 cêntimos/kWh aos fins de semana, feriados e de madrugada
- 7.1 cêntimos/kWh nos restantes períodos.

Foram também estudadas estratégias no sentido de o tarifário com base no tempo de utilização da energia eléctrica, ser oferecido numa base voluntária. Nos casos em que os consumidores aderiram a este tipo de tarifário, verificou-se (Baladi et al, 1988) que os consumidores foram bastante receptivos em utilizar os seus equipamentos em períodos fora dos picos de consumo, verificando-se também que apenas 18% da energia total consumida era feita nos períodos de pico de consumo.

Um outro estudo feito no Reino Unido, demonstrou um impacto positivo deste tipo de tarifário no comportamento de consumidores residenciais. De facto muitos deles alteraram mesmo os seus hábitos diários no sentido de consumirem menos energia durante períodos de picos de consumo (Kierstead, 2006). Numa amostra de 151 residentes verificou-se ainda que

59 compraram temporizadores para o controlo de equipamentos de aquecimento eléctrico, 89 compraram temporizadores para o controlo de equipamentos de aquecimento de água, tendo 16 adquirido temporizadores para o controlo de equipamentos dos sistemas de refrigeração que possuíam (Hausman's, 1984).

Nos Estados Unidos um estudo revelou (Train et al, 1994) que os consumidores que optaram por este tipo de tarifário consumiam menos energia durante os picos de consumo que aqueles que tinham optado por tarifas padrão. Uma análise mais detalhada da situação, permitiu concluir que havia vantagem em aderir ao tarifário com base no tempo de utilização da energia quando a razão de consumos entre os períodos de pico e períodos de vazio eram baixos, traduzindo-se neste caso numa redução da factura energética.

Em regra os consumidores que aderiram a este tarifário pagaram anualmente menos 43% em energia eléctrica do que aqueles que optaram por tarifas padrão, pagando também, em média, menos 66% pelo preço por kWh do que aqueles que optaram por tarifas padrão (Hausman's et al, 1984).

Há também vantagens do ponto de vista económico para os operadores de rede quando um grande número de consumidores opta por estes tarifários, já que torna possível produzir menos energia durante os períodos de pico de consumo (Train, 1955). Além disso, muitos consumidores optaram por comprar temporizadores e outro tipo de dispositivos para aumentarem a sua eficiência energética, dando aqui também uma oportunidade a vários fabricantes desses dispositivos de oferecerem dispositivos de forma a que os consumidores possam tirar vantagem de diferentes esquemas tarifários baseados no tempo de utilização da energia.

Muitos destes dispositivos (Sexton et al, 1987) mostravam por exemplo o custo de utilização da energia em tempo real em cêntimos por hora, o custo acumulado mensal de electricidade, a estimativa da factura mensal de energia eléctrica, o montante da última factura energética além de que possuíam luzes indicadoras que alertavam o consumidor quando se estava na presença de períodos de pico de consumo ou fora deles.

Uma variante do tarifário com base na utilização da energia eléctrica, é aquilo que se chama de tarifário com base no pico crítico. Neste plano tarifário (Harbaugh, 2005) durante determinados dias o operador de rede definia um período durante o qual o preço da energia eléctrica teria preços extremamente elevados. A forma como estes períodos de custo elevado de electricidade eram determinados eram definidos pelo operador de rede, mas eram no entanto comunicados antecipadamente a todos os consumidores. Esta estratégia reflectia assim nos consumidores as condições em que o operador de rede produzia a energia eléctrica.

2.2.2 Preço em Tempo Real

A tarifa com base no preço em tempo real é a mais complexa das três estratégias que aqui estão a ser analisadas, já que requer todo um sistema que informe em tempo real os consumidores sobre o preço da energia eléctrica. Tendo sido implementado em meados dos anos 80 em alguns estados Americanos (UtiliPoint, 2007) e atendendo a que ainda não existia toda uma estrutura de comunicação entre o operador de rede e os consumidores que funcionasse de facto em tempo real, aquilo que se fazia era fazer uma estimativa de quais iriam ser os preços 'reais' da energia eléctrica para o dia seguinte. Sendo os consumidores informados desses preços, poderiam depois decidir em que períodos eram mais vantajoso utilizar a energia. Com base neste tarifário a redução no consumo de energia poderia chegar dos 10 aos 15% (Parker, 2006). Vários planos de tarifas com base no preço em tempo real foram ensaiadas e nos dias de hoje este plano tarifário é largamente utilizado por diversos produtores de energia eléctrica em vários estados Americanos.

Foram identificadas várias vantagens na implementação deste tipo de tarifário entre as quais se destacam (DOE, 2006):

- ao nível dos consumidores: na redução da factura energética e incentivos para aqueles que respondiam as flutuações de preços com o desligar ou o atrasar a ligação de determinadas cargas.
- ao nível do mercado: já que permitia no geral a produção de electricidade a custos mais baixos, e também dava pouca margem de manobra para que o operador de rede praticasse preços muito acima dos verdadeiros custos efectivos de produção da energia eléctrica.

De referir que (Taylor, 2005) o preço em tempo real era antecipadamente anunciado o que permitia aos consumidores comprarem a energia nos períodos em que ela era mais barata. Contudo esta opção tarifária é fortemente dependente da capacidade de dar ao consumidor a informação necessária sobre o valor real do preço da energia na altura em que este decide ligar determinado equipamento. Existem actualmente no mercado certos dispositivos que de alguma forma tentam colmatar esta lacuna, dando informação aos consumidores de, por exemplo, quanta quantidade de energia está a ser consumida quando estão vários equipamentos ligados e também quanta energia será consumida se tais equipamentos são deixados ligados. A informação fornecida por tais dispositivos, modelam de alguma forma o comportamento dos consumidores para que sejam mais eficientes no uso que fazem da energia eléctrica. No entanto apesar destes dispositivos darem esta informação toda aos consumidores, eles falham no que se considera ser a forma como irá reagir o consumidor à informação nele mostrada.

Estudos feitos mostraram que apenas uma pequena percentagem de consumidores que aderiu a este tipo de tarifário fez ajustamentos na forma de consumir energia, gerando apenas pequenas reduções no consumo (Barbose, 2004). Em contrapartida, este plano tarifário tem uma eficiência em termos de mercado mais elevada quando comparada com outro tipo de tarifas de preço fixo, levando nestes casos os consumidores a retardarem o funcionamento de certos equipamentos, transferindo-os para outros períodos onde não se verifiquem picos de consumo e onde o custo da energia é mais baixo (Adilov, 2004).

2.2.3 – Pré Compra de Unidades de Consumo de energia

Este plano tarifário consiste em dar a possibilidade aos consumidores de adquirirem previamente unidades de consumo de energia que depois podem utilizar posteriormente. Tem desde já a vantagem de prevenir os consumidores de serem surpreendidos com facturas de valores elevados de consumo de energia eléctrica (Sharan, 2003).

Este plano tarifário é relativamente recente. O consumidor compra unidades de consumo de energia que lhe serão debitadas à medida que vai a consumindo. Na Irlanda do Norte, onde este plano tarifário é usado em cerca de 25% do parque residencial, cada consumidor tem de adquirir uma quantidade mínima de créditos de cerca de \$4. O operador de rede Irlandês disponibiliza no entanto uma linha telefónica que funciona 24 horas por dia e 7 dias por semana permitindo aos consumidores adquirirem créditos de unidades de consumo de energia para evitar que seja cortado o fornecimento desta (Consumer Council). Este plano prevê também que seja instalado em casa de cada consumidor um contador que além de fornecer aos consumidores uma vasta gama de informações tais como o consumo diário de energia e o preço previsto do kWh, permite também informar o consumidor de que o seu crédito disponível está abaixo de um determinado valor, e que este deverá adquirir mais créditos o mais urgente possível, ou que durante quantos dias terá previsivelmente crédito disponível. Existe no entanto uma salvaguarda que dá a possibilidade ao consumidor de poder usufruir da energia eléctrica durante um certo tempo antes de o operador de rede se decidir pelo corte da mesma.

Este contador tem também a capacidade de suportar as outras opções tarifárias já descritas: preço com base no tempo de utilização e o preço em tempo real. No caso do plano tarifário em tempo real, o sistema é controlado por um relógio que funciona em tempo real (UK Trade and Investment). Todas estas funcionalidades permitem dar uma noção aos consumidores de como variam os preços da energia eléctrica e de como ser mais eficiente com o consumo desta forma de energia.

Quanto aos benefícios deste tipo de tarifário, num inquérito feito a 368 consumidores na Irlanda do Norte, 89% dos inquiridos afirmaram ter optado por este tipo de tarifário porque

lhes permite ter um maior controlo financeiro com os gastos em energia eléctrica e também porque só gastam aquilo que os seus orçamentos lhes permite. Além do mais previne-se os consumidores de serem surpreendidos com facturas de energia de valores elevados de consumo (Consumer Council).

Apesar de o operador de rede poder cortar o fornecimento de energia quando se verifica que um determinado consumidor não tem unidades de crédito disponíveis para usufruir da mesma, os resultados mostraram que 72% dos residentes na Irlanda do Norte nunca foi exposto a essa situação no ano anterior a este inquérito e que nos casos em que tal aconteceu, foi porque os consumidores se esqueceram totalmente de adquirir unidades de consumo de energia. Contudo, segundo o mesmo inquérito, 95% dos residentes mostra-se satisfeito com este tipo de tarifário bem como com o contador utilizado.

Do ponto de vista do operador de rede este plano tarifário apresenta também benefícios, já que segundo a autoridade reguladora do sistema eléctrico do Reino Unido, permite mais facilmente obter um equilíbrio entre os custos de produção de energia, o preço imputado aos consumidores e a eficiência global do sistema (Cowan, 2006). No entanto, apesar de ser um plano tarifário promissor, tem a desvantagem de se tornar pouco rentável para o operador de rede, se se verificar que há uma enorme quantidade de consumidores que deixam acabar as suas unidades de consumo de energia e usam a margem de segurança dada pelo operador de rede para usufruírem da mesma. Neste caso, o operador de rede acumulará uma grande quantidade de pequenos débitos (Sharam, 2003).

2.3 - Resposta dos Consumidores às várias opções Tarifárias

Tal como referido anteriormente, o sucesso das políticas de eficiência energética dependem em grande parte da adesão dos consumidores. Nesse sentido foram feitos vários estudos no sentido de avaliar qual o impacto nos consumidores da implementação destas opções tarifárias. Genericamente poderá dizer-se (Brattle, 2005) que estas opções tarifárias provocam uma reacção da parte dos consumidores levando-os a ser mais eficientes no consumo de energia e por conseguinte a uma redução do pico de consumo no diagrama de carga da ordem dos 5%. Este valor traduz-se no evitar de construir um acréscimo de capacidade instalada por parte do operador de rede, da ordem dos 1000MW/ano ou seja no adiar de novos investimentos na construção de novas centrais produtoras de energia eléctrica.

Evidentemente que uma outra componente do sucesso das políticas de eficiência energética dependerá também da prontidão com que os consumidores responderão às solicitações do operador de rede. Daí a necessidade de toda uma infraestrutura de comunicações entre o operador de rede e os consumidores e de um dispositivo que permita entender os sinais de 'BroadCast' enviados pelo operador de rede e actuar de forma automática sobre os equipamentos dos consumidores quer desligando-os quer atrasando o seu funcionamento para períodos fora dos picos de consumo. Esse dispositivo é a "Energy Box" já anteriormente referida mas que será abordada com maior detalhe no capítulo seguinte.

A importância da "Energy Box" é fundamental na medida em que permite aos consumidores responderem às solicitações do operador de rede e às suas opções tarifárias. Contudo exige toda uma infraestrutura de comunicações entre o operador de rede e os consumidores que permita ler e enviar dados remotamente e em tempo real entre estes dois principais agentes do sistema eléctrico. Com efeito, sem esta infraestrutura, as leituras e o envio de dados teria de ser feito em intervalos de tempo muito superiores o torna inviável a implementação de determinadas opções tarifárias. Além do mais, os benefícios operacionais que se obtêm com a infraestrutura de comunicações permitem por exemplo informar em tempo real o operador de rede de que há, por exemplo, um problema na rede (uma linha que foi desligada, por exemplo), permitindo ao operador de rede responder prontamente ao problema e não estar à espera que alguém o informe de que determinada zona residencial está sem energia eléctrica. À medida que a proliferação da "Energy Box" se começar a verificar em grande escala, os consumidores também responderão prontamente às solicitações do operador de rede com as inerentes vantagens económicas daí resultantes. Espera-se que por volta do ano 2012 a taxa de utilização da "Energy Box" seja de 41% na Europa e de 89% na América do Norte.

Capítulo 3

A "Energy Box"

Para se fomentar a adesão em massa dos consumidores às solicitações do operador de rede quando este pretende reduzir picos de consumo, é importante instalar um contador inteligente do género da "Energy Box" e aplicar opções tarifárias variáveis no tempo. Há inúmeras vantagens para o sistema se se conseguir implementar técnicas para a gestão da procura da energia eléctrica. Há essencialmente duas categorias de gestão da procura: aquelas que se relacionam com a alteração de comportamento dos consumidores e aquelas que se relacionam com processos tecnológicos no sentido de proporcionar aos consumidores contadores inteligentes, tal como a "Energy Box", que faça a gestão dos consumos respondendo de forma autónoma a preços de mercado ou para suporte de gestão da rede. No entanto estas duas categorias estão relacionadas entre si: não é possível conseguir bons resultados sem se perceber de que forma os consumidores respondem às solicitações de gestão da procura. É necessário perceber de que forma os consumidores podem alterar os seus comportamentos de consumo, sabendo por exemplo, de que forma reagem para alterarem a temperatura do ar condicionado, de que forma é que estão dispostos a reduzir o consumo de água quente, de que forma é que aderem ao facto de adquirirem equipamentos mais eficientes do ponto de vista energético, etc.

Está estabelecido que se consegue obter uma redução dos picos de consumo quando os consumidores têm a tecnologia que lhes permite de forma automática fazer face às variações de preço em tempo real da energia eléctrica (Brattle, 2007). Além do mais, caminha-se cada vez mais para sistemas de produção de energia eléctrica, não de forma concentrada mas de forma distribuída que usam cada vez mais formas de energia renováveis, como a energia solar e a energia eólica. Ora investir em estratégias de gestão da procura de energia eléctrica para 'suavizar' os picos de procura no diagrama de cargas, permite também que estas fontes de

energia renovável sejam usadas de forma mais eficiente, e também que o seu dimensionamento seja feito de forma mais económica.

Normalmente os consumidores residenciais têm pouca ou nenhuma informação sobre como se processa o tarifário da energia eléctrica ou como alterar os seus comportamentos por forma a usar esta energia de forma mais eficiente. No entanto uma coisa é certa: "se as pessoas não fazem a mínima ideia de quanta energia estão a consumir como se pode esperar que alterem os seus padrões de consumo? Hoje em dia as pessoas pagam as suas contas de energia por transferência bancária e nem pensam em estabelecer qualquer ligação entre a energia que consumiram e o preço que pagaram. Foi feito um inquérito a 25 pessoas se sabiam quanta energia consumiram no mês anterior, desses 25 inquiridos nenhum soube responder a uma questão deste tipo. A maioria das pessoas nem sequer faz ideia de qual o preço que paga pelo kWh. Há portanto vários entraves que podem ser explorados no sentido de levar os consumidores a alterar os seus padrões de consumo

Espera-se que a introdução da "Energy Box" nos consumidores residenciais traga mais informação a estes sobre os parâmetros envolvidos na gestão do sistema eléctrico e por conseguinte haja uma alteração de comportamentos no que se refere aos padrões de consumo energético e se consiga melhorias ao nível do investimento em eficiência energética.

3.1 - A Arquitectura da "Energy Box"

A "Energy Box" é um dispositivo que tem a possibilidade de comunicar usando protocolos WiFi, Radio-Frequência, Bluetooth, com vários equipamentos eléctricos de um consumidor residencial. Além disso, tem a possibilidade de comunicar com o operador de rede via Internet, ou através das linhas de transmissão de energia usando o protocolo de comunicações PLC (Power Line Carrier) o que torna possível transmitir informação através das linhas de transmissão de energia eléctrica. A "Energy Box" apresenta uma arquitectura modular o que a torna compatível para comunicação com uma vasta gama de equipamentos eléctricos no futuro. A arquitectura da "Energy Box" é mostrada na figura seguinte:

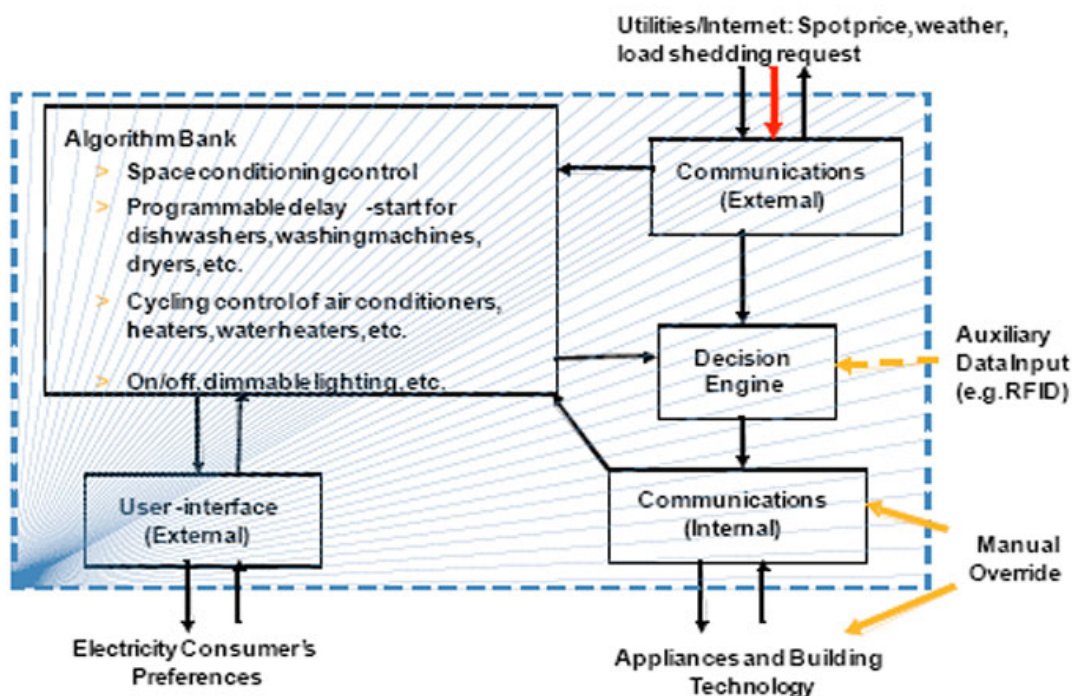


Figura 3.1 -Arquitetura da “Energy Box”

Os investigadores da “Energy Box” acreditam que a interface desta com o utilizador é fundamental para que estes adiram ao uso da mesma. Nesse sentido estão a ser estudadas as melhores formas de a “Energy Box” mostrar informação ao consumidor. Têm sido postas várias alternativas, nomeadamente o consumidor ter acesso à informação do seu consumo energético via internet ou via teletexto. Existe também a possibilidade de se desenvolver um dispositivo que possa ser colocado em qualquer parte da habitação e comunique com os vários equipamentos eléctricos de uma residência, dando também informação ao consumidor de várias variáveis relativas ao seu consumo de energia.

Ao nível das comunicações internas, a Energy Box vai ser capaz de comunicar com vários sensores e equipamentos eléctricos colocados numa habitação. Estes sensores enviarão para a “Energy Box” várias informações relativas a vários parâmetros como por exemplo a temperatura ambiente dentro da habitação ou se um determinado equipamento eléctrico está ou não ligado. Tomando esta informação, o banco de algoritmos e o sistema de decisão da “Energy Box”, enviarão os sinais respectivos aos equipamentos eléctricos correctos dizendo como devem actuar.

As comunicações externas são também importantes nomeadamente para comunicar com o operador de rede, para que desta forma seja possível à “Energy Box” actuar com base no preço em tempo real da energia eléctrica.

O Banco de algoritmos, contém toda a informação acerca da parte configurável da “Energy Box”, e é também onde estão memorizadas as preferências dos consumidores servindo assim de interface entre a informação relativa aos equipamentos eléctricos e sensores que existem na habitação e o sistema de decisão da “Energy Box”.

O sistema de decisão da “Energy Box”, é o cérebro de todo o sistema. Aqui é por exemplo conhecido se para um dado equipamento eléctrico este está a operar em modo automático (à mercê do operador de rede) ou em modo manual (à mercê da vontade do consumidor).

Existe contudo também um modo de operação manual da “Energy Box” que se sobrepõe a todos os mencionados e que dá a possibilidade ao consumidor de decidir por si só os equipamentos eléctricos que quer ter ligados sem intervenção externa, nomeadamente do operador de rede, isto é, sem ter em conta a decisão da “Energy Box”.

Estas são em modo resumido as potencialidades da “Energy Box”, que vão ser implementadas num simulador, desenvolvido para avaliar o impacto da utilização deste equipamento na rede de distribuição de energia eléctrica.

3.2 - Aplicações da Energy Box

A “Energy Box”, pelas funções que possui tem inúmeras aplicações no desenvolvimento de estratégias de forma a levarem os consumidores de energia eléctrica a responderem de forma mais activa às solicitações do operador de rede para que se consiga de alguma forma atenuar os picos de consumo. Essas aplicações dividem-se em dois grandes grupos onde estão inseridos dois tipos de cargas: as cargas deslastráveis e as cargas controláveis (estas últimas com base nos seguintes tempos característicos: o tempo mínimo de funcionamento; o tempo máximo que podem permanecer desligadas e o tempo de memória).

As cargas controláveis com base no tempo máximo que podem permanecer desligadas, são aquelas cuja entrada em funcionamento pode ser retardado sem por em causa a qualidade de vida dos consumidores. É o caso de equipamentos eléctricos tais como aquecedores, sistemas de ar condicionado, frigoríficos,... em que se pode atrasar a sua

entrada em funcionamento de alguns minutos, ou mesmo horas sem grandes inconvenientes de maior quer para o equipamento quer para o consumidor.

As cargas controláveis com base no tempo mínimo de funcionamento são aquelas que devido as suas especificidades, têm uma característica em que uma vez ligadas se tem de manter em funcionamento durante um tempo mínimo caso contrário será afectada a sua forma de funcionamento. É o caso de determinado tipo de equipamentos que tem um programa de funcionamento e que uma vez interrompido pode fazer com que o equipamento perca o ponto onde ficou do programa antes de lhe ter sido cortada a alimentação.

As cargas controláveis com base no tempo de memória são aquelas em que se no momento em que são ligadas houver uma solicitação do operador de rede para que tal não aconteça, é mantida a ordem de ligar durante um certo tempo (tempo de memória). Essa ordem será executada se desaparecer a solicitação do operador de rede para desligar esse equipamento durante o período do tempo de memória. Tome-se por exemplo uma máquina de lavar, em que se definiu como tempo de memória 30 minutos. Se ocorrer uma solicitação do operador de rede entre as 12 horas e as 14 horas e o consumidor ligar este equipamento às 13 horas e 45 minutos, ele não vai ligar nesse instante, mas somente entre as 14 horas e as 14 horas e 15 minutos.

Para cada um destes casos há estratégias que podem ser seguidas pelo operador de rede com o suporte da “Energy Box”. Vejamos algumas:

- o operador de rede, poderia por exemplo, determinar, com a concordância do consumidor que determinado tipo de equipamentos eléctricos estão proibidos de funcionar durante os picos de consumo dando liberdade ao operador de rede para os desligar. Embora esta estratégia não seja pacífica entre os consumidores, teria que haver sempre a possibilidade de um controlo manual por parte do consumidor que se sobrepusesse às solicitações do operador de rede.

- uma outra estratégia em que a “Energy Box” tem aplicações consistia por exemplo no seguinte: todos sabemos que grande parte das máquinas de lavar loiça começam a funcionar depois das refeições. Poderia então definir-se que equipamentos deste tipo só entravam em funcionamento durante a noite.

- outra estratégia que a “Energy Box” permite implementar consiste em fazer com que os equipamentos eléctricos de condicionamento do ambiente (aquecedores, sistemas de ar condicionado) operem nos pontos de máxima potência nos períodos de vazio.

Além destes dois grandes grupos de cargas que pouco interferem na qualidade de vida dos consumidores, existe um outro grupo em que isso não acontece. É o chamado grupo das cargas deslastráveis, tais como iluminação e entretenimento. Por exemplo, a iluminação uma

vez cortada irá interferir na qualidade de vida do consumidor. Neste caso a “Energy Box” pode ser aplicada no sentido de informar o consumidor do valor do preço da energia em tempo real e levar este a decidir se vale a pena ou não desligar determinado equipamento.

Foram aqui mencionadas determinadas características da “Energy Box”, bem como algumas das suas potenciais aplicações. No próximo capítulo será abordado com detalhe um simulador que foi desenvolvido para avaliar o impacto da “Energy Box” numa rede eléctrica e onde algumas destas funções aqui abordadas foram no software implementadas.

Capítulo 4

Simulador do Impacto da "Energy Box" na Rede Eléctrica

O objectivo principal desta tese é o de desenvolver um simulador que permita analisar o impacto da utilização da "Energy Box" na rede de distribuição de energia eléctrica. Esta análise ficaria por si só incompleta se não se tivesse em consideração pelo menos uma das opções tarifárias analisada anteriormente.

Assim sendo foi desenvolvido um simulador para avaliar o impacto da utilização da "Energy Box" tendo em consideração o plano tarifário do preço em tempo real. Este simulador foi desenvolvido utilizando como ferramenta de desenvolvimento o MatLab versão 7 Release 14 conjuntamente com uma das suas toolboxes: o MatPower 3.2.

A acompanhar este trabalho segue um CD-ROM com a versão completa deste simulador bem assim como 4 ficheiros em Excel com diferentes cenários, aos quais o simulador foi aplicado cujos resultados estão também registados em cada um destes ficheiros. Outros 12 ficheiros foram essencialmente utilizados para teste do software desenvolvido, no entanto após a leitura deste capítulo, o leitor estará apto a criar os seus próprios cenários e utilizar o simulador desenvolvido para poder depois analisar o impacto da utilização da "Energy Box" e da opção tarifária do preço em tempo real num conjunto de consumidores residenciais de uma rede de distribuição de energia eléctrica.

Saliente-se no entanto que, tal como descrito no capítulo anterior, a "Energy Box" é um equipamento que toma decisões de desligar ou não determinado tipo de cargas com base nas solicitações do operador de rede e das preferências dos consumidores. Sendo um equipamento configurável, é por si só um equipamento complexo. Modelizar em software um

simulador da “Energy Box” para avaliar o impacto do seu uso, por um conjunto de consumidores, na rede eléctrica é mais complexo ainda, já que o funcionamento da “Energy Box” é diferente para cada consumidor da rede eléctrica e a própria rede eléctrica não é mais do que um conjunto destes diferentes consumidores interligados entre si. Apesar da complexidade envolvida no desenvolvimento de um simulador para abarcar toda esta diversidade de situações, a tentativa que foi feita para atingir esse objectivo foi bem sucedida.

Neste capítulo far-se-á uma análise tão completa quanto possível sobre a forma de utilizar este simulador, nomeadamente de quais são os dados de entrada, quais as potencialidades deste simulador e quais são os resultados que se obtêm com o seu uso.

4.1 - Pré-Requisitos

Para utilizar o simulador é necessário ter instalada a versão 7 Release 14 do MatLab ou posterior e uma versão da toolbox MatPower que à data de escrita desta dissertação é a versão 3.2. Recomenda-se por isso o uso desta versão ou de uma versão posterior.

Um primeiro passo consiste então em copiar o conteúdo que está no CD-ROM que acompanha esta dissertação em

[d:\] Software do Simulador da Energy Box\ Work,

para a directoria

[d:\] Matlab\ Work

do seu computador, onde [d:\] corresponde ao drive onde está instalado o MatLab e que pode ser diferente de computador para computador.

Para correr o simulador, deverá ‘cliquear’ sobre a função desenvolvida 'Panel.m' e com o botão direito do mouse escolher a opção 'Run', após o que aparecerá um painel, que pode ser maximizado, idêntico ao da figura seguinte:

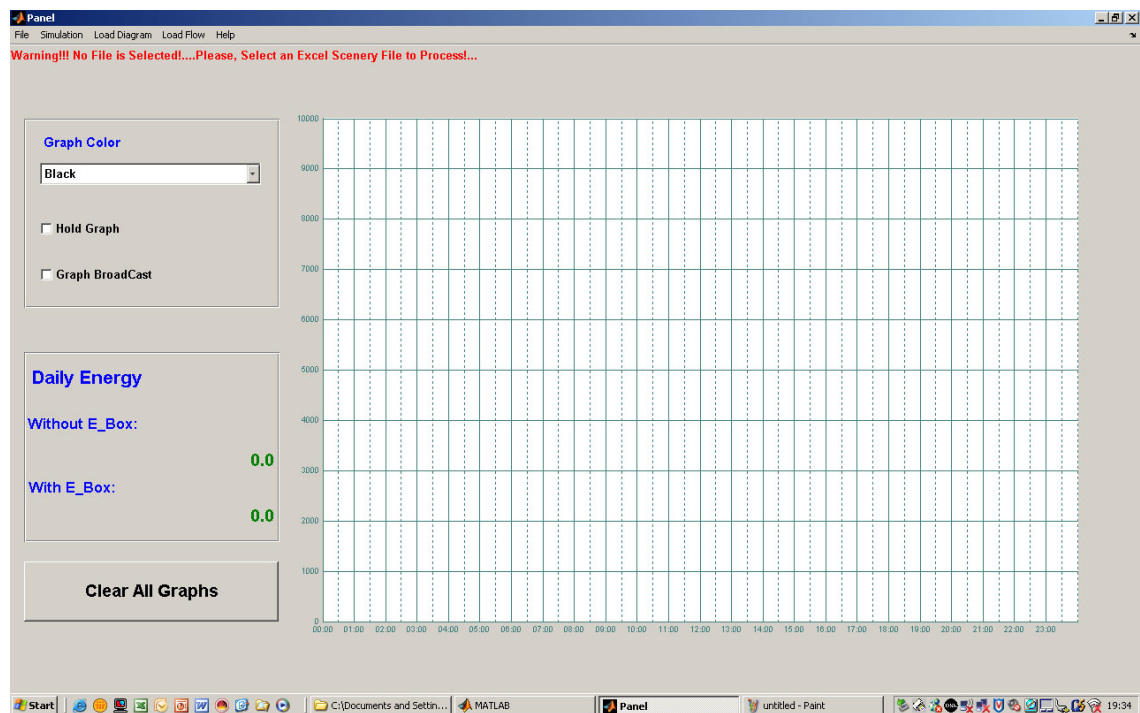


Figura 4.1 - Painel Inicial

Neste momento para poder usufruir de todas as potencialidades deste simulador, deve ter-se uma noção básica da sua arquitectura e da forma como foi desenvolvido. Isso é abordado na secção seguinte "Arquitectura geral do Simulador". Assim neste momento é aconselhável que termine a execução do simulador entretanto aberto o que pode ser feito indo ao canto superior esquerdo e 'clique' em 'File' e seguidamente em 'Exit'. Aconselha-se também a que se termine com a execução do MatLab.

4.2 - Arquitectura Geral do Simulador

Este simulador precisa para funcionar vários dados nomeadamente:

- aos consumidores da rede eléctrica
- aos equipamentos eléctricos que cada um destes consumidores possui em sua casa
- à rede eléctrica aos quais os consumidores estão interligados

Toda esta informação consta num livro de um ficheiro do Microsoft Excel, livro esse que contém várias páginas com toda esta informação.

O simulador utiliza este ficheiro em Excel com toda a informação nele contida para poder funcionar. O simulador devolve, após feita a simulação, os resultados desta no mesmo ficheiro.

Para que o simulador funcione, é necessário que o ficheiro em Excel contenha um determinado formato dos dados tal como um dos ficheiros cenário que acompanha o simulador. Obviamente que o utilizador pode utilizar este simulador para simular os seus próprios cenários, deve certificar-se no entanto que o formato dos dados no ficheiro é o mesmo. Neste capítulo será abordada uma maneira eficiente para o utilizador simular os seus próprios cenários. Para já vamos analisar como está organizado este ficheiro.

Para esse efeito sugere-se que seja aberto com o Microsoft Excel um dos ficheiros que acompanham este simulador como por exemplo o seguinte:

'Cenario9_SituacaoRealTdsConsComAlgunsAppliancesNaoShiftadosExIlluminacaoBrdCastfrom1100to1200_cutPeakAfterBrdCast.xls'

Ao abrir este ficheiro encontramos várias folhas que se passarão a descrever de forma breve:

4.2.1 - Setup do Operador de Rede

- 'Setup_do_Operador_de_Rede' – Aqui temos a uma informação importante que serve de entrada ao simulador: a opção tarifária e o sinal de 'BroadCast'.

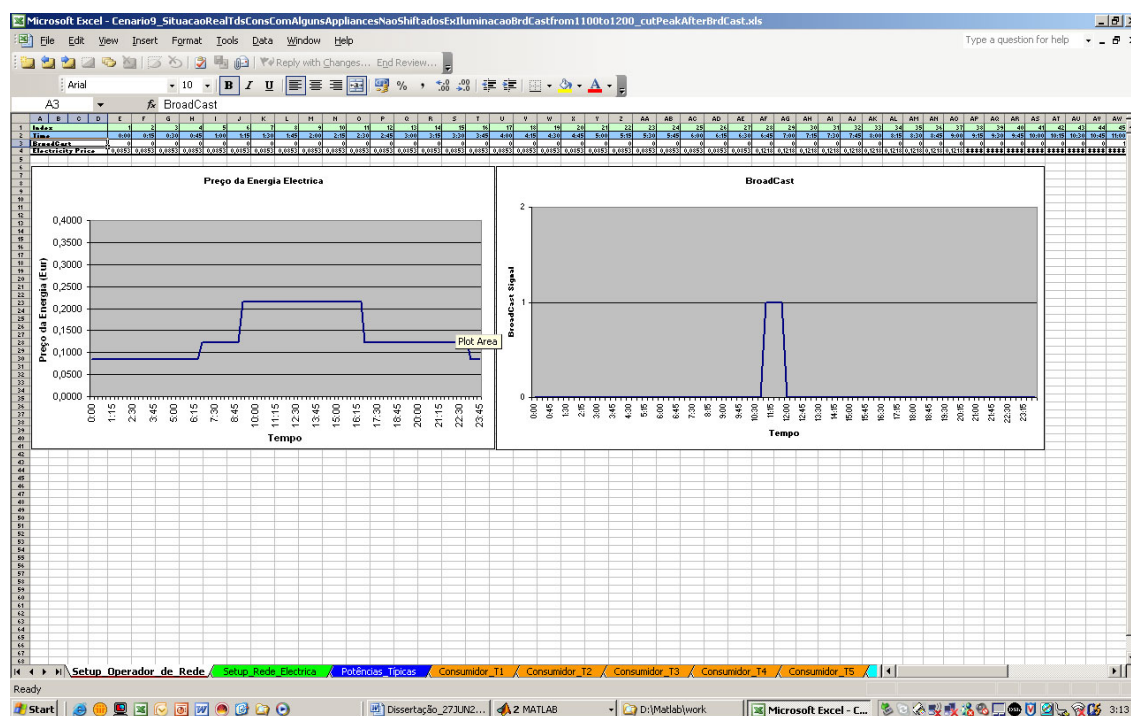


Figura 4.2 - Setup do Operador de Rede

4.2.1.1 - Opção Tarifária: Preço em Tempo Real

O preço em tempo real da energia eléctrica ao longo das 24 horas do dia em períodos de 15 minutos- é no fundo a única operação tarifária considerada neste simulador. Os preços indicados pode ser alterados por outros segundo a vontade do utilizador o que permite desde já analisar outras opções tarifárias.

4.2.1.2 - BroadCast do Operador de Rede

O 'BroadCast' é o sinal enviado pelo operador de rede para a “Enegy Box” dos consumidores no sentido de que esta responda às solicitações do operador de rede desligando algumas cargas dos consumidores ou atrasando o seu funcionamento. Este sinal de 'BroadCast', é o mesmo para todos os consumidores tipo da rede eléctrica. Neste ficheiro em concreto pode ver-se que há um 'BroadCast' enviado pelo operador de rede entre as 11h00m e as 12h00m, períodos em que o valor do sinal toma o valor '1'. No entanto o utilizador pode alterar o sinal de “BroadCast” para outros períodos, pondo o valor '1' onde pretende por o 'BroadCast' activo e o valor '0' nos restantes períodos. Claro que é possível definir mais do

que um 'BroadCast' ao longo das 24 horas do dia, digamos entre as 13 horas e as 15 horas e outro entre as 22 horas e 30 minutos e as 24 horas.

De referir que o 'Broadcast' é definido em intervalos de 15 minutos e ao longo das 24 horas dia tal como acontece com o preço da energia eléctrica.

4.2.2 - Setup da Rede Eléctrica

Uma outra folha não menos importante que se encontra neste ficheiro do Excel que estamos a analisar, define as configurações da rede eléctrica. Detenhamo-nos então um pouco sobre a rede eléctrica que estamos a analisar.

4.2.2.1 - Rede Eléctrica

A rede eléctrica considerada para aplicação deste simulador é constituída por 23 barramentos, ilustrada na figura seguinte:

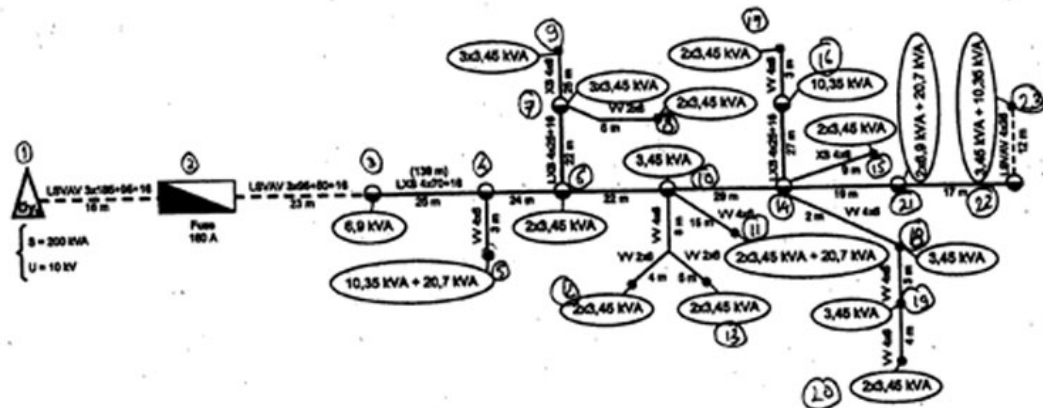


Figura 4.3 - Rede Eléctrica

Como qualquer outra rede eléctrica, esta rede contém linhas de transporte de energia cujos parâmetros eléctricos constam na tabela seguinte:

Cable type	Cross-section (mm ²)	Ø (mm)	weight kg/km	R (Ω/km)	I (A)	Capac (μF/km)	Indut (mH/km)	U % V/A.km
LSVAV	3x185+95+16	55,50	4400	0,164	355	0,70	0,22	0,354
LSVAV	3x95+50+16	41,00	2600	0,320	235	0,60	0,23	0,614
LSVAV	4x35	27,50	1050	0,868	130	0,45	0,24	1,530
LXS	4x70+16	34,00	1050	0,443	207	1,31	0,25	0,871
LXS	4x50+16	28,00	762	0,641	163	1,39	0,27	1,220
LXS	4x25+16	22,00	468	1,200	109	0,36	0,28	2,230
XS	4x6	12,60	300	3,080	55	0,372	0,32	5,550
XS	2x6	10,00	150	3,080	60	0,372	0,32	6,400
VV	2x6	13,60	300	3,080	44	0,491	0,44	6,000
VV	4x6	15,60	440	3,080	42	0,19	0,44	5,190

Figura 4.4 - Parâmetros das Linhas

O simulador que foi desenvolvido permite simular o impacto da utilização da “Energy Box” em outras redes eléctricas de configuração diferente a apresentada na figura 4.3. Contudo o número de barramentos a considerar nunca pode ser superior a 23 barramentos.

Para alterar a topologia da rede eléctrica, basta alterar um ficheiro de configuração em Excel que acompanha este simulador que tem o nome de:

'Case_FEUP.xls'

Ao abrir este ficheiro, deparamo-nos com as configurações da rede que estamos a analisar (que podem ser alteradas por outras, tendo no entanto em conta que o número de barramentos não deve exceder 23 barramentos)

Bus	Line	r(ohm)	l(Henry)	c(Farad)	p(MW)	q(MVAR)	v(p.u.)	a(deg)	status
1	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
2	2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
3	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
4	4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
5	5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
6	6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
7	7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
8	8	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
9	9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
10	10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
11	11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
12	12	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
13	13	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
14	14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
15	15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
16	16	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
17	17	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
18	18	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
19	19	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
20	20	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
21	21	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
22	22	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1
23	23	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1

Figura 4.5 - Ficheiro de Configuração da Rede Eléctrica.

Assim neste ficheiro encontramos toda a informação necessária sobre a caracterização do ponto de vista eléctrico e da topologia da rede eléctrica que estamos a considerar, nomeadamente:

- o valor da resistência eléctrica da linha que liga o barramento i ao barramento j (em Ω) dado na folha 'RLC_Line_Data' do ficheiro 'Case_FEUP.xls'.
- o valor da indutância da linha que liga o barramento i ao barramento j (em Henrys) dado na folha 'RLC_Line_Data' do ficheiro 'Case_FEUP.xls'.
- o valor da capacitância da linha que liga o barramento i ao barramento j (em Farads) dado na folha 'RLC_Line_Data' do ficheiro 'Case_FEUP.xls'.
- a base de potência do sistema que estamos a considerar (em MVA) dado na folha 'System_Base' do ficheiro 'Case_FEUP.xls'

- o valor da potência activa (em MW) e potência reactiva (em MVAR) dos geradores do sistema e a que barramentos estão ligados. No caso da rede em estudo, só estamos a considerar um gerador no barramento 1, no entanto pode pôr-se mais geradores em outros dos 23 barramentos. Informação dada na folha 'Bus_Data' do ficheiro 'Case_FEUP.xls'

Depois o simulador calcula um conjunto de parâmetros nomeadamente

- a resistência, reactância e susceptância em p.u. dado na folha 'Branch_Data' do ficheiro 'Case_FEUP.xls'.
- as tensões em cada um dos barramentos em p.u.

- o trânsito de potências activa (em MW) e trânsito de potência reactiva (em MVAR) em cada uma das linhas consideradas quer do barramento i para o barramento j quer no sentido inverso do barramento j para o barramento i .

- as perdas de potência activa (em MW) e de potência reactiva (em MVAR) verificadas nas linhas.

Como estamos perante consumidores do tipo residencial, as cargas típicas são quase puramente ohmicas e onde, portanto, a resistência domina sobre a reactância. Por esse facto utilizou-se no cálculo do trânsito de potências o método de Newton-Raphson. Atendendo à quantidade de cálculos a efectuar o método de Newton-Raphson converge mais rapidamente do que outros métodos, nomeadamente o de Gauss-Seidel.

4.2.2.2 – Consumidores tipo considerados

Sobre os 23 barramentos desta rede eléctrica, estão 'pendurados' consumidores tipo que serão descritos mais à frente neste capítulo. Saliente-se desde já que foram considerados 10 tipos de consumidores a seguir designados por:

- Consumidor_T1 – como sendo um consumidor tipo que vive num apartamento do tipo T1
- Consumidor_T2 – como sendo um consumidor tipo que vive num apartamento do tipo T2
- Consumidor_T3 – como sendo um consumidor tipo que vive num apartamento do tipo T3
- Consumidor_T4 – como sendo um consumidor tipo que vive num apartamento do tipo T4
- Consumidor_T5 – como sendo um consumidor tipo que vive num apartamento do tipo T5
- Consumidor_V1 – como sendo um consumidor tipo que vive numa vivenda do tipo T1
- Consumidor_V2 – como sendo um consumidor tipo que vive numa vivenda do tipo T2
- Consumidor_V3 – como sendo um consumidor tipo que vive numa vivenda do tipo T3
- Consumidor_R1 – como sendo um consumidor tipo que vive numa habitação rural do tipo T1
- Consumidor_R2 – como sendo um consumidor tipo que vive numa habitação rural do tipo T2

O número de consumidores que estão 'pendurados' em cada barramento constam na folha 'Setup_Rede_Elétrica' do ficheiro que contém os dados de entrada para o simulador que estamos a analisar:

'Cenario9_SituacaoRealTdsConsComAlgunsAppliancesNaoShiftadosExIlluminacaoBrdCastfrom1100to1200_cutPeakAfterBrdCast.xls'

É evidente que se num dado barramento estivessem 'pendurados' 20 consumidores do tipo 'Consumidor_T1', eles iriam todos comportar-se da mesma forma ao longo das 24 horas do dia se não se tivessem em consideração os coeficientes de simultaneidade entre eles. Esta situação foi prevista quando o simulador foi desenvolvido. Assim na folha 'Setup_Rede_Electrica', podemos ver que para cada barramento podemos indicar quantos consumidores tipo estão neles 'pendurados'. Contudo para atender às simultaneidades entre eles, pode também indicar-se quantos consumidores de um dado tipo estão 'pendurados' num dado barramento mas cujos equipamentos desses consumidores são ligados com um atraso de 30 minutos face ao consumidor tipo padrão e quantos consumidores desse consumidor tipo padrão estão 'pendurados' nesse barramento cujos equipamentos são ligados com um avanço de 30 minutos face ao consumidor tipo padrão.

Por exemplo, a análise da folha 'Setup_Rede_Elétrica', verificamos que no barramento 18 estão pendurados:

- 2 consumidores do tipo 'Consumidor_V3', ver linha Bus_18
- 1 consumidor do tipo 'Consumidor_V2', mas cujos equipamentos são ligados mais cedo 30 minutos relativamente ao consumidor tipo 'Consumidor_V2' padrão, ver linha Bus_18-i.
- 1 consumidor do tipo 'Consumidor_V3', mas cujos equipamentos são ligados mais tarde 30 minutos relativamente ao consumidor tipo 'Consumidor_V3' padrão, ver linha Bus_18+i na folha 'Setup_Rede_Elétrica'.

Nº de Consumidores por Barramento da Rede											
ID	Nº de Consumidores por Barramento	T1	T2	T3	T4	T5	V1	V2	V3	R1	R2
1	Bus_1-i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	Bus_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	Bus_1+i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Bus_2-i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Bus_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Bus_2+i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Bus_3-i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Bus_3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	Bus_3+i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Bus_4-i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Bus_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

[illegible]

16	Bus_16+i	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
17	Bus_17-i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	Bus_17	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
17	Bus_17+i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	Bus_18-i	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
18	Bus_18	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
18	Bus_18+i	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
19	Bus_19-i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	Bus_19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	Bus_19+i	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
20	Bus_20-i	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
20	Bus_20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	Bus_20+i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	Bus_21-i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	Bus_21	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0
21	Bus_21+i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	Bus_22-i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	Bus_22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	Bus_22+i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	Bus_23-i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	Bus_23	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
23	Bus_23+i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 4.1 — Tabela Setup da Rede Eléctrica

Note-se entretanto que a rede da figura 4.3, cujo número de barramentos (23) foi considerado o standard para o desenvolvimento do simulador, representa uma rede real de uma zona onde existem armazéns. No entanto, foi adaptada para ser uma rede de uma zona residencial. Por este facto, as cargas em cada um dos barramentos da rede consideradas nos vários cenários de simulação são muito diferentes daquelas que são indicadas na figura 4.3.

4.2.3 – Potências Típicas

A folha de Excel 'Potências_Típicas' é outro dos dados de entrada que consta nos ficheiros de cenários de Excel que o simulador desenvolvido precisa para funcionar.

Nesta folha podemos ver os vários tipos de equipamentos eléctricos que são considerados para efeitos de simulação. Nela podemos verificar que estão listadas as potências típicas de um total de 116 equipamentos diferentes comumente utilizados por consumidores domésticos.

ID	App	Loc	Pot	T1	T2	T3	T4	T5	V1	V2	V3	R1	R2
1	Iluminação	Hall/Corredor	75	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0
2	Ar Condicionado	Hall/Corredor	2500	0,0	0,0	1,0	1,5	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
3	Acumulador de Calor	Hall/Corredor	2400	0,0	0,0	0,0	1,0	1,5	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0
4	Aquecimento Eléctrico	Hall/Corredor	1000	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0
5	Placa Vitrocerâmica	Cozinha	1500	0,0	0,0	1,0	1,5	2,0	0,0	1,0	1,5	0,0	1,0
6	Fogão Eléctrico	Cozinha	2500	1,0	1,5	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0
7	Microondas	Cozinha	1000	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0
8	Cafeteira Eléctrica	Cozinha	1200	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
9	Fritadeira Eléctrica	Cozinha	1500	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
10	Torradeira	Cozinha	750	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
11	Arca Congeladora	Cozinha	140	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0
12	Frigorífico/Combinado	Cozinha	140	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
13	Batedeira Eléctrica	Cozinha	300	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
14	Chaleira Eléctrica	Cozinha	1200	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	Exaustor	Cozinha	150	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	2,0
16	Ferro de Engomar	Cozinha	800	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0
17	Acumulador de Calor	Cozinha	2400	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	TermoAcumulador (Cilindro)	Cozinha	1500	0,8	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0
19	Iluminação	Cozinha	150	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0
20	Triturador de Resíduos	Cozinha	450	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
21	Máquina de Lavar Loiça	Cozinha	1000	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0
22	Máquina de Lavar Roupa	Cozinha	900	1,0	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	1,5	2,0	0,0	1,0
23	Máquina de Secar Roupa	Cozinha	2000	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
24	Ar Condicionado	Escritório	2000	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0

25	Acumulador de Calor	Escritório	2400	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	Televisor	Escritório	90	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0
27	Aquecimento Eléctrico	Escritório	1500	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
28	Computador	Escritório	250	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0
29	Impressora	Escritório	150	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0
30	Aparelhagem de Som	Escritório	30	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
31	DVD/VideoGravador	Escritório	195	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
32	Iluminação	Escritório	150	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0
33	Ar Condicionado	Quarto_1	2500	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
34	Acumulador de Calor	Quarto_1	2400	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
35	Iluminação	Quarto_1	60	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	1,0	2,0
36	Aquecimento Eléctrico	Quarto_1	1500	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0
37	Desumificador	Quarto_1	150	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0
38	Televisor	Quarto_1	90	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0
39	Aparelhagem de Som	Quarto_1	30	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
40	DVD/VideoGravador	Quarto_1	195	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
41	Consola de Jogos	Quarto_1	40	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
42	Cobertor Eléctrico	Quarto_1	80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
43	Ar Condicionado	Quarto_2	2500	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
44	Acumulador de Calor	Quarto_2	2400	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
45	Iluminação	Quarto_2	60	0,0	1,5	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
46	Aquecimento Eléctrico	Quarto_2	1500	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0
47	Desumificador	Quarto_2	150	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
48	Televisor	Quarto_2	90	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0
49	Aparelhagem de Som	Quarto_2	30	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
50	DVD/VideoGravador	Quarto_2	195	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
51	Consola de Jogos	Quarto_2	40	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
52	Cobertor Eléctrico	Quarto_2	80	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
53	Ar Condicionado	Quarto_3	2500	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0
54	Acumulador de Calor	Quarto_3	2400	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
55	Iluminação	Quarto_3	60	0,0	0,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	0,0	1,0
56	Aquecimento Eléctrico	Quarto_3	1500	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
57	Desumificador	Quarto_3	150	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
58	Televisor	Quarto_3	90	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0
59	Aparelhagem de Som	Quarto_3	30	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
60	DVD/VideoGravador	Quarto_3	195	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
61	Consola de Jogos	Quarto_3	40	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

62	Cobertor Eléctrico	Quarto_3	80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0
63	Ar Condicionado	Quarto_4	2500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
64	Acumulador de Calor	Quarto_4	2400	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
65	Iluminação	Quarto_4	60	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
66	Aquecimento Eléctrico	Quarto_4	1500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
67	Desumificador	Quarto_4	150	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
68	Televisor	Quarto_4	90	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
69	Aparelhagem de Som	Quarto_4	30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
70	DVD/VideoGravador	Quarto_4	195	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
71	Consola de Jogos	Quarto_4	40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
72	Cobertor Eléctrico	Quarto_4	80	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
73	Ar Condicionado	Sala_1	2500	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0
74	Acumulador de Calor	Sala_1	2400	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0
75	Iluminação	Sala_1	75	3,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	1,5	1,0	1,5
76	Aquecimento Eléctrico	Sala_1	1500	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0
77	Desumificador	Sala_1	150	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
78	Televisor	Sala_1	90	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
79	Aparelhagem de Som	Sala_1	30	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0
80	DVD/VideoGravador	Sala_1	195	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
81	Consola de Jogos	Sala_1	40	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
82	Aspirador	Sala_1	1250	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0
83	Ar Condicionado	Sala_2	2500	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
84	Acumulador de Calor	Sala_2	2400	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
85	Iluminação	Sala_2	75	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
86	Aquecimento Eléctrico	Sala_2	1500	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
87	Desumificador	Sala_2	150	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
88	Televisor	Sala_2	90	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
89	Aparelhagem de Som	Sala_2	30	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
90	DVD/VideoGravador	Sala_2	195	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
91	Consola de Jogos	Sala_2	40	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
92	Aspirador	Sala_2	1250	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
93	Secador de Cabelo	Casa de Banho_1	300	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0
94	Acumulador de Calor	Casa de Banho_1	2400	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
95	TermoAcumulador (Cilindro)	Casa de Banho_1	1000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
96	Esquentador Eléctrico	Casa de Banho_1	5000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
97	Iluminação	Casa de Banho_1	60	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
98	Radiador Eléctrico	Casa de Banho_1	1000	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0

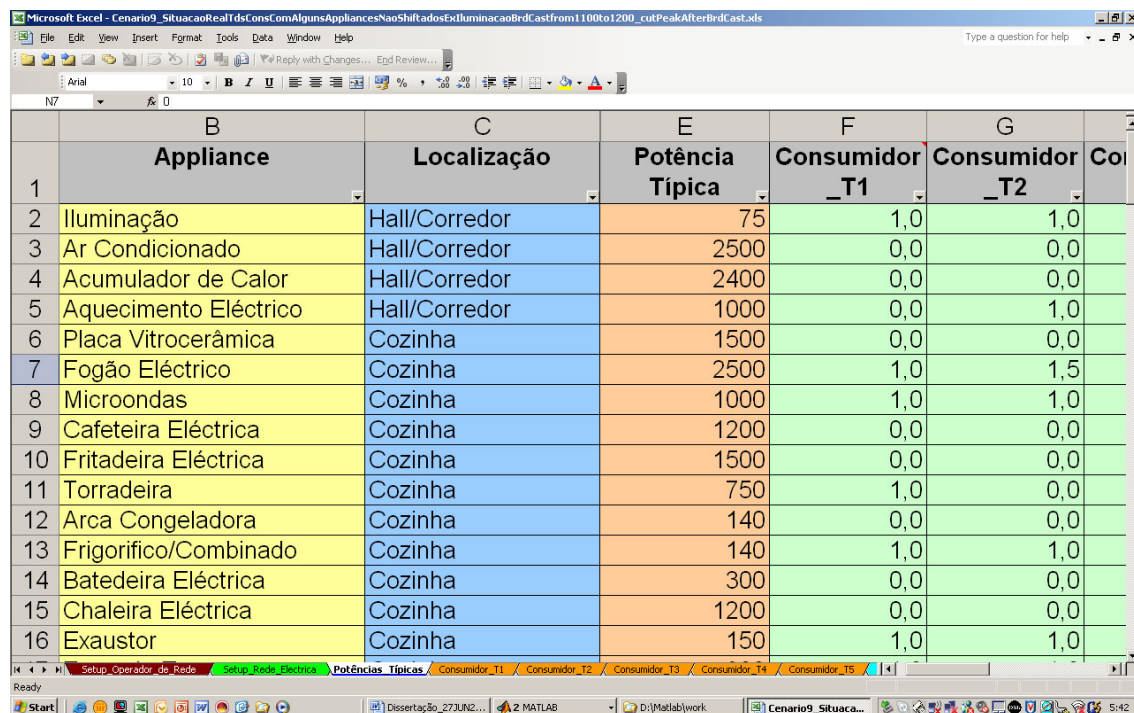
99	Toalhaeíro Eléctrico	Casa de Banho_1	1900	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
100	Secador de Cabelo	Casa de Banho_2	300	0,0	0,0	1,0	1,5	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0
101	Acumulador de Calor	Casa de Banho_2	2400	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
102	TermoAcumulador (Cilindro)	Casa de Banho_2	1000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
103	Esquentador Eléctrico	Casa de Banho_2	5000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
104	Iluminação	Casa de Banho_2	60	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0
105	Radiador Eléctrico	Casa de Banho_2	1000	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
106	Toalhaeíro Eléctrico	Casa de Banho_2	1900	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
107	Veículo Eléctrico	Jardim/Garagem	35	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
108	Compressor de Ar	Jardim/Garagem	90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
109	Aparador de Relva	Jardim/Garagem	150	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
110	Serra Eléctrica	Jardim/Garagem	195	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
111	Berbequim	Jardim/Garagem	150	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
112	Lixadora Eléctrica	Jardim/Garagem	2400	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
113	Iluminação	Jardim/Garagem	75	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
114	Iluminação Exterior	Jardim/Garagem	75	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0
115	Bomba de Piscina	Jardim/Garagem	400	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
116	Porta Automática	Jardim/Garagem	400	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0

Tabela 4.2 — Tabela de Potências Típicas

Claro que cada um dos consumidores tipo não tem disponível a totalidade destas 116 equipamentos eléctricos, embora tal fosse possível para efeitos de simulação. Nesse sentido, os consumidores tipo têm determinados tipo de equipamentos diferentes entre si. A definição de quais são os equipamentos eléctricos que cada consumidor tipo tem é feita nesta folha de Excel. Assim nesta folha, além dos valores típicos das potências de cada um dos equipamentos, é indicado, para cada um dos consumidores tipo se determinado equipamento eléctrico está presente ou não, bem assim como a fracção do valor de potência típica representante do valor real da potência do respectivo equipamento.

A título de exemplo, considere-se a tabela de potências típicas representada na tabela 4.2, nela podemos ver que a potência típica considerada para um fogão eléctrico que está na cozinha foi de 2500W. Contudo o consumidor tipo 'Consumidor_T1' possui na sua habitação um fogão cuja potência considerada é de $1,0 \times 2500W = 2500W$. Mas o consumidor tipo 'Consumidor_T2', que também tem um fogão na cozinha de sua casa, mas neste caso tem uma potência diferente de $1,5 \times 2500W = 3750W$ (ver folha de Excel 'Potências_Típicas'). A mesma

folha diz-nos que o consumidor rural tipo 'Consumidor_R1', tem um fogão eléctrico na cozinha cuja potência é de $0 \times 2500W = 0W$, ou seja não tem fogão eléctrico na cozinha porque o factor multiplicativo da potência típica considerada é nulo.



	B	C	E	F	G	H
	Appliance	Localização	Potência Típica	Consumidor_T1	Consumidor_T2	Consumidor_T3
1						
2	Iluminação	Hall/Corredor	75	1,0	1,0	
3	Ar Condicionado	Hall/Corredor	2500	0,0	0,0	
4	Acumulador de Calor	Hall/Corredor	2400	0,0	0,0	
5	Aquecimento Eléctrico	Hall/Corredor	1000	0,0	1,0	
6	Placa Vitrocerâmica	Cozinha	1500	0,0	0,0	
7	Fogão Eléctrico	Cozinha	2500	1,0	1,5	
8	Microondas	Cozinha	1000	1,0	1,0	
9	Cafeteira Eléctrica	Cozinha	1200	0,0	0,0	
10	Fritadeira Eléctrica	Cozinha	1500	0,0	0,0	
11	Torradeira	Cozinha	750	1,0	0,0	
12	Arca Congeladora	Cozinha	140	0,0	0,0	
13	Frigorífico/Combinado	Cozinha	140	1,0	1,0	
14	Batedeira Eléctrica	Cozinha	300	0,0	0,0	
15	Chaleira Eléctrica	Cozinha	1200	0,0	0,0	
16	Exaustor	Cozinha	150	1,0	1,0	

Figura 4.6 - Factores Multiplicativos

Da descrição feita acima, pode-se concluir de imediato que é muito fácil criar cenários onde se adicionam ou retiram determinados equipamentos a consumidores tipo. Para retirar, basta por o valor nulo como factor multiplicativo. Para adicionar, basta por um valor não nulo, que multiplicado pela potência típica considerada dê o valor real da potência do equipamento eléctrico que queremos adicionar. O simulador ao ler os dados desta tabela, tem em conta não só o valor típico da potência, mas também o factor multiplicativo considerado para cada consumidor tipo. Desnecessário se torna dizer que outros valores de potências típicas podem ser considerados, assim como outros nomes para os equipamentos. Contudo o número total de equipamentos eléctricos a considerar para efeitos de simulação nunca deve exceder os 116.

4.2.4 – Consumidores Tipo

A próxima folha que se vai abordar que também é importante como dados de entrada para o simulador é a folha de cada um dos 10 consumidores tipo. Salienta-se desde já a importância de perceber como estão organizados os dados nesta folha para se perceber toda a mecânica do sistema, já que esta folha tem uma enorme quantidade de informação para cada consumidor tipo.

A figura seguinte mostra uma parte desta enorme folha para um consumidor tipo 'Consumidor_T1'. Percebendo-se como funciona esta folha para este consumidor tipo, para os outros tem um funcionamento similar.

ID_0	ID_1	Potência Activa Calculada (W)	Appliance	Localização	Taxa que carga deve estar ON uma vez ligada	Taxa que carga deve estar OFF uma vez ligada (Tempo Mínimo de Activação)	Taxa que carga deve estar OFF uma vez desligada	Energy Box Settings
7	1	75	Iluminação	Hall/Corredor	-1,0	-1,0	-1,0	Status (1-On Ligado/0-Off Desligado)
8	1	75						Auto (1-On Automatico/0-Home Control)
9	1	75						Prioridade em Desligar a Carga Segundo vontade do Operador(0,1,2,3,4)
10	1	75						Desligar se Preço da Energia está Acima do Target Indicado
11	1	75						Energy Box Decision
12	0	0	Air Condicionado	Hall/Corredor	30,0	30,0	45,0	Status (1-On Ligado/0-Off Desligado)
13	0	0						Auto (1-On Automatico/0-Home Control)
14	0	0						Prioridade em Desligar a Carga Segundo vontade do Operador(0,1,2,3,4)
15	0	0						Desligar se Preço da Energia está Acima do Target Indicado
16	0	0						Energy Box Decision
17	0	0						Status (1-On Ligado/0-Off Desligado)
18	0	0	Acumulador de Calor	Hall/Corredor	30,0	30,0	45,0	Status (1-On Ligado/0-Off Desligado)
19	0	0						Auto (1-On Automatico/0-Home Control)
20	0	0						Prioridade em Desligar a Carga Segundo vontade do Operador(0,1,2,3,4)
21	0	0						Desligar se Preço da Energia está Acima do Target Indicado
22	0	0						Energy Box Decision
23	0	0	Aquecimento Eléctrico	Hall/Corredor	30,0	30,0	45,0	Status (1-On Ligado/0-Off Desligado)
24	0	0						Auto (1-On Automatico/0-Home Control)
25	0	0						Prioridade em Desligar a Carga Segundo vontade do Operador(0,1,2,3,4)
26	0	0						Desligar se Preço da Energia está Acima do Target Indicado
27	0	0						Energy Box Decision
28	0	0	Placa Vitrocerâmica	Cozinha	15,0	30,0	-1,0	Status (1-On Ligado/0-Off Desligado)
29	0	0						Auto (1-On Automatico/0-Home Control)
30	0	0						Prioridade em Desligar a Carga Segundo vontade do Operador(0,1,2,3,4)
31	0	0						Desligar se Preço da Energia está Acima do Target Indicado
32	0	0						Energy Box Decision
33	1	2500	Fogão Eléctrico	Cozinha	30,0	30,0	45,0	Status (1-On Ligado/0-Off Desligado)
34	1	2500						Auto (1-On Automatico/0-Home Control)
35	1	2500						Prioridade em Desligar a Carga Segundo vontade do Operador(0,1,2,3,4)
36	1	2500						Desligar se Preço da Energia está Acima do Target Indicado
37	1	2500						Energy Box Decision
38	1	1000	Microondas	Cozinha	15,0	30,0	-1,0	Status (1-On Ligado/0-Off Desligado)
39	1	1000						Auto (1-On Automatico/0-Home Control)
40	1	1000						Prioridade em Desligar a Carga Segundo vontade do Operador(0,1,2,3,4)
41	1	1000						Desligar se Preço da Energia está Acima do Target Indicado
42	1	1000						Energy Box Decision

Figura 4.7 – Consumidor tipo T1

Assim na primeira coluna desta folha temos aquilo que se chama o 'ID_0'. O utilizador não deve escrever nada nesta coluna, já que ela é preenchida pelo simulador com base na tabela 'Potências_Típicas' descrita anteriormente. Se o valor estiver a '1' é porque determinado 'equipamento eléctrico' está presente nesse consumidor, se estiver a '0' é porque não está presente.

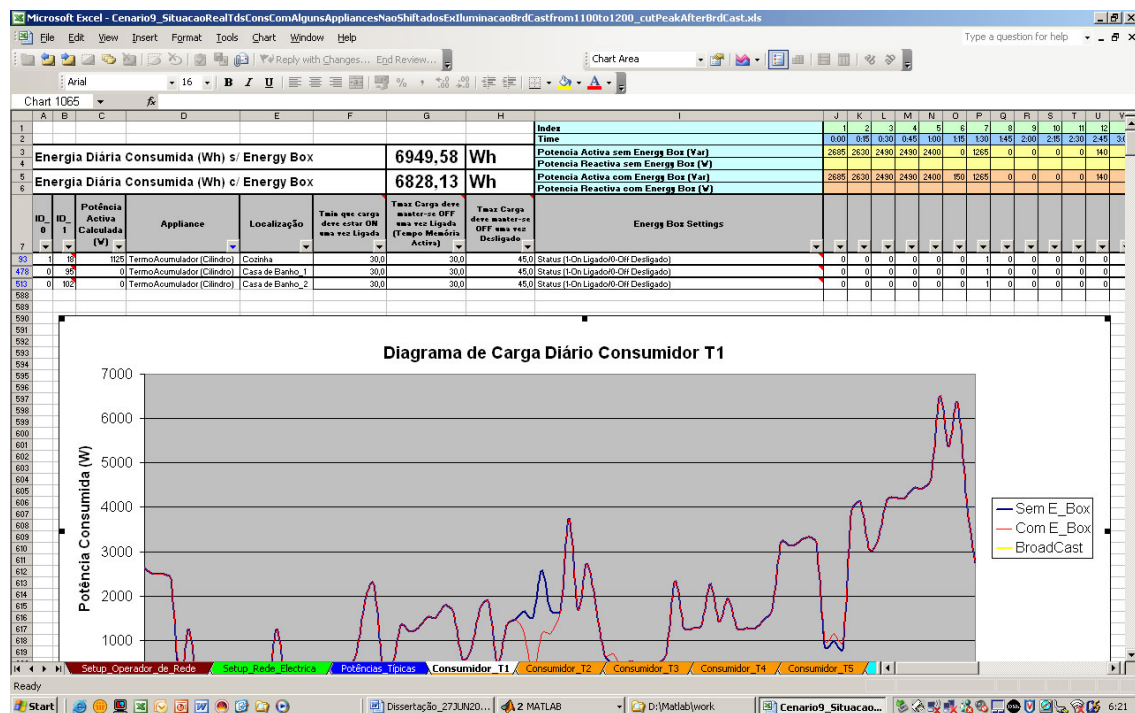
Na segunda coluna temos o chamado 'ID_1'. Este ID não é mais do que um identificador de cada equipamento eléctrico presente ou não em cada consumidor tipo. O simulador ignora o seu valor. No entanto pode ser útil para ter acesso imediato aos dados de um dado equipamento conhecendo o seu ID_1.

Na terceira coluna temos a potência activa calculada. O utilizador não deve escrever nada nesta coluna. Com efeito o simulador usa o valor da potência típica do equipamento eléctrico e o factor multiplicativo da potência que consta na tabela 'Potências_Típicas', para calcular o valor da potência eléctrica do equipamento para cada consumidor tipo e escreve o valor calculado nesta coluna. Obviamente se para um dado equipamento o valor é nulo, tal equipamento não está presente nesse consumidor tipo.

Na quarta e quinta colunas temos uma descrição do nome do equipamento bem como o nome da divisão da habitação onde este está localizado. O simulador ignora estes dados. Os nomes podem ser substituídos por outros.

Na sexta, sétima e oitava colunas, temos os primeiros dados que o utilizador do simulador tem de preencher quando quiser criar os seus próprios cenários. Os dados aqui introduzidos têm a ver com características específicas de funcionamento de cada um dos equipamentos. Estes dados podem variar de equipamento para equipamento dentro do mesmo consumidor tipo e também para o mesmo equipamento pode variar entre consumidores tipo diferentes. Descreve-se seguidamente o que representam os valores em cada uma destas colunas.

Assim na sexta coluna temos para cada equipamento eléctrico o tempo mínimo que este se deve manter ligado uma vez procedida a sua ligação. Tomemos como exemplo o caso de um termo acumulador (cilindro) para aquecimento de água. Este equipamento, uma vez ligado, faz sentido que se mantenha ligado durante um período de tempo mínimo, digamos de 30 minutos. Assim, o simulador, se num dado momento aparecer um 'BroadCast' e o termo acumulador já estiver ligado à 15 minutos, o simulador decidirá não desliga-lo nos 15 minutos seguintes para garantir este tempo mínimo de funcionamento. Se para um dado equipamento eléctrico o tempo mínimo de funcionamento não se aplicar, deve pôr-se neste campo um valor negativo para valor do tempo. É o caso, por exemplo da iluminação, em que para o consumidor tipo 'Consumidor_T1' se definiu que não há qualquer condição relativa ao tempo mínimo de funcionamento. O simulador ao ler um valor negativo do tempo, ignora esta condição.



Então suponha-se que estamos na presença de um sinal de 'BroadCast' enviado durante 120 minutos pelo operador de rede à Energy Box solicitando o corte de cargas, o simulador vai determinar se no instante que recebe o 'BroadCast' o frigorífico, já está desligado à mais ou a menos de 30 minutos. Se estiver a menos, pode acontecer que decida desligar o frigorífico, se estiver à mais tempo do que 30 minutos então o simulador decidirá não o desligar para respeitar esta condição de tempo máximo que o equipamento pode estar desligado. Também neste caso, se não fizer sentido a aplicação deste tempo para determinado equipamento, deve pôr-se um valor negativo para este tempo nesta coluna para o equipamento respectivo.

Para se concluir a explicação desta folha dos consumidores tipo, falta abordar os dados constantes a partir da coluna 10 (coluna J). Aqui, conforme podemos ver na folha do consumidor tipo 'Consumidor_T1', temos para cada equipamento 5 linhas, das quais o utilizador do simulador deve preencher somente as 4 primeiras (a última é a decisão do simulador em desligar ou não determinado equipamento, pelo que não deve ser alterada pelo utilizador, já que resulta do resultado do próprio simulador). São precisamente as 4 primeiras linhas de cada equipamento que também são tidas em consideração pelo simulador para simular o comportamento da "Energy Box" no corte de determinadas cargas.

	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1		Index	1	2	3	4	5	6	7	
2		Time	0:00	0:15	0:30	0:45	1:00	1:15	1:30	1:45
3	Wh	Potencia Activa sem Energy Box (Var)	2685	2630	2490	2490	2400	0	1265	
4		Potencia Reactiva sem Energy Box (W)								
5	Wh	Potencia Activa com Energy Box (Var)	2685	2630	2490	2490	2400	150	1265	
6		Potencia Reactiva com Energy Box (W)								
7	Tmax Carga deve manter-se OFF uma vez Desligado	Energy Box Settings								
8	-1,0	Status (1-On Ligado/0-Off Desligado)	0	0	0	0	0	0	0	
9		Auto (1-On Automatico /0-Home Control)	0	1	1	1	1	1	1	
10		Prioridade em Desligar a Carga Segundo vontade do Operador(0,1,2,3,4)	1	1	1	1	1	1	1	
11		Desligar se Preço da Energia está Acima do Target Indicado	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
12		Energy Box Decision	0	0	0	0	0	0	0	
13	45,0	Status (1-On Ligado/0-Off Desligado)	0	0	0	0	0	0	0	
14		Auto (1-On Automatico /0-Home Control)	0	1	1	1	1	1	1	
15		Prioridade em Desligar a Carga Segundo vontade do Operador(0,1,2,3,4)	1	1	1	1	1	1	1	
16		Desligar se Preço da Energia está Acima do Target Indicado	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
17		Energy Box Decision	0	0	0	0	0	0	0	
18	45,0	Status (1-On Ligado/0-Off Desligado)	0	0	0	0	0	0	0	
19		Auto (1-On Automatico /0-Home Control)	1	1	1	1	1	1	1	
20		Prioridade em Desligar a Carga Segundo vontade do Operador(0,1,2,3,4)	1	1	1	1	1	1	1	
21		Desligar se Preço da Energia está Acima do Target Indicado	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
22		Energy Box Decision	0	0	0	0	0	0	0	
23		Status (1-On Ligado/0-Off Desligado)	0	0	0	0	0	0	0	
24		Auto (1-On Automatico /0-Home Control)	0	1	1	1	1	1	1	

Figura 4.9 - Funcionamento dos Equipamentos Eléctricos

Assim na primeira linha deve pôr-se o estado do equipamento eléctrico ao longo das 24 horas do dia, pondo para cada intervalo de 15 minutos o valor '1' se para esse instante o equipamento eléctrico estiver ligado e o valor '0' caso contrário.

Na segunda linha deve pôr-se como desejamos que a "Energy Box" actue para cada equipamento. Como se viu no capítulo anterior, a "Energy Box" tem dois modos de actuar: ou actua automaticamente decidindo desligar ou não o equipamento de acordo com as solicitações do operador de rede (modo automático) ou de alguma forma tem em conta a prioridade dada aquele equipamento pelo consumidor a uma determinada hora do dia (modo Home Control). Note-se que podemos configurar a "Energy Box" para se comporte de forma a actuar em modo automático ou modo 'Home Control' ao longo do dia. Por exemplo, pode configurar-se a "Energy Box" para funcionar em modo automático para a iluminação durante o dia, mas já pode ter interesse para não funcionar nesse modo durante a noite, pois estando no modo automático, logo que recebe o 'BroadCast' do operador de rede, o equipamento é imediatamente desligado. Este modo de funcionamento da "Energy Box" está também contemplado no simulador.

A terceira linha, e para cada equipamento eléctrico deve reflectir "valor" que o consumidor dá a determinado equipamento ao longo do dia. Isso é feito nesta linha através da indicação de um nível de prioridade com um valor compreendido entre 0 e 4 ao longo das 24 horas do dia, com o seguinte significado:

- 0, o equipamento para um dado instante tem prioridade nula. Em caso de 'BroadCast' do operador de rede só será desligado se a vontade do operador for superior a 0%. Como a vontade do operador nunca é nula, o equipamento pode ser imediatamente desligado, mesmo não estando a Energy Box em modo automático.

- 1, o equipamento para um dado instante tem prioridade de valor 1. Em caso de 'BroadCast' do operador de rede só será desligado se a vontade do operador for superior a 25%.

- 2, o equipamento para um dado instante tem prioridade de valor 2. Em caso de 'BroadCast' do operador de rede só será desligado se a vontade do operador for superior a 50%.

- 3, o equipamento para um dado instante tem prioridade de valor 3. Em caso de 'BroadCast' do operador de rede só será desligado se a vontade do operador for superior a 75%.

- 4, o equipamento para um dado instante tem prioridade de valor 100. Em caso de 'BroadCast' do operador de rede só será desligado se a vontade do operador for superior a 100%. Como os 100% nunca serão atingidos, neste caso o equipamento nunca é desligado.

Note-se que a vontade do operador é modelizada em termos de simulador por um gerador de números aleatórios que gera números entre 0 e 1. Assim por exemplo, num determinado instante gera-se um número aleatório obtendo-se por exemplo 0.83. Se para esse instante tivermos definido para o equipamento a prioridade 2 então com base somente neste critério o equipamento seria desligado.

O conceito de variar a prioridade que se dá aos equipamentos eléctricos ao longo das 24 horas do dia faz todo o sentido se supormos, a título de exemplo, que a iluminação tem mais valor (prioridade) para o consumidor durante a noite do que durante o dia. Este modo de actuação da "Energy Box" que tem em conta a vontade do consumidor está também contemplado no simulador.

A quarta linha permite que a "Energy Box" desligue o equipamento eléctrico somente se o valor do preço real da energia naquele instante for acima daquilo que o consumidor está disposto a pagar nesse mesmo instante por manter o equipamento ligado. É uma situação de "desligar se o preço da energia não interessar". Assim nesta linha e para cada equipamento e para cada consumidor tipo deve pôr-se o quanto se está disposto a pagar para em determinado instante manter um determinado equipamento ligado quando o operador de rede pede para ele ser desligado. Note-se que para um dado equipamento esse valor pode variar em função do consumidor tipo. Pois geralmente, um Consumidor tipo 'Consumidor_V3' tem maior poder económico que um consumidor tipo 'Consumidor_R1', estando por isso disposto a pagar mais para conseguir ter esse equipamento ligado. Esta situação de funcionamento da "Energy Box", está também contemplada no simulador.

Para terminar com a explicação da folha do consumidor tipo, deve referir-se que o simulador calcula para cada consumidor tipo, para cada instante ao longo das 24 horas do dia, a potência total com e sem Energy Box, permitindo assim fazer um gráfico representativo das duas linhas para efeitos de comparação.

As folhas dos restantes consumidores tipo tem uma interpretação análoga á que foi feita para o 'Consumidor_T1'.

O que até aqui foi discutido faz parte daquilo a que se chama os dados de entrada do simulador. No entanto e como já foi dito o simulador produz os resultados no mesmo ficheiro onde foi buscar os dados de entrada. Assim nesse mesmo ficheiro, o simulador vai introduzir mais 5 folhas com os resultados da simulação, são elas:

- 'Cargas_Totais_por_consumidor' - potência activa (kW) e reactiva (KVAR)
- 'Cargas_Totais_por_Barramento' - potência activa (kW) e reactiva (KVAR)
- 'Vi_Barramento_i' - com as tensões em cada barramento em p.u.
- 'Si_Linha_i' - com o trânsito de potência nas Linhas.
- 'Perdas' - com as perdas nas linhas

Cada uma destas 5 folhas do Excel serão abordadas na secção seguinte sobre o Funcionamento do Simulador.

4.3 - Funcionamento do Simulador

Agora que foi feita uma breve explicação sobre como se deve construir um ficheiro de cenários a ser utilizado pelo simulador, podemos usar este para verificar os resultados que por ele são gerados. Assim após executar o simulador como anteriormente descrito, é apresentada a mensagem seguinte, a letras vermelhas, no canto superior esquerdo:

"Warning!!! No File is Selected!... Please, Select an Excel Scenery File to Process!..."

O que indica que ainda não foram seleccionados dos dados de entrada para o simulador processar. Para o fazer devemos seleccionar um ficheiro de cenários do Microsoft Excel que acompanham o simulador ou um outro compatível que o utilizador tenha criado. Para fazer isso vai-se ao menu 'File' e depois a 'Open', aparecendo uma caixa de dialogo como se mostra na figura seguinte:

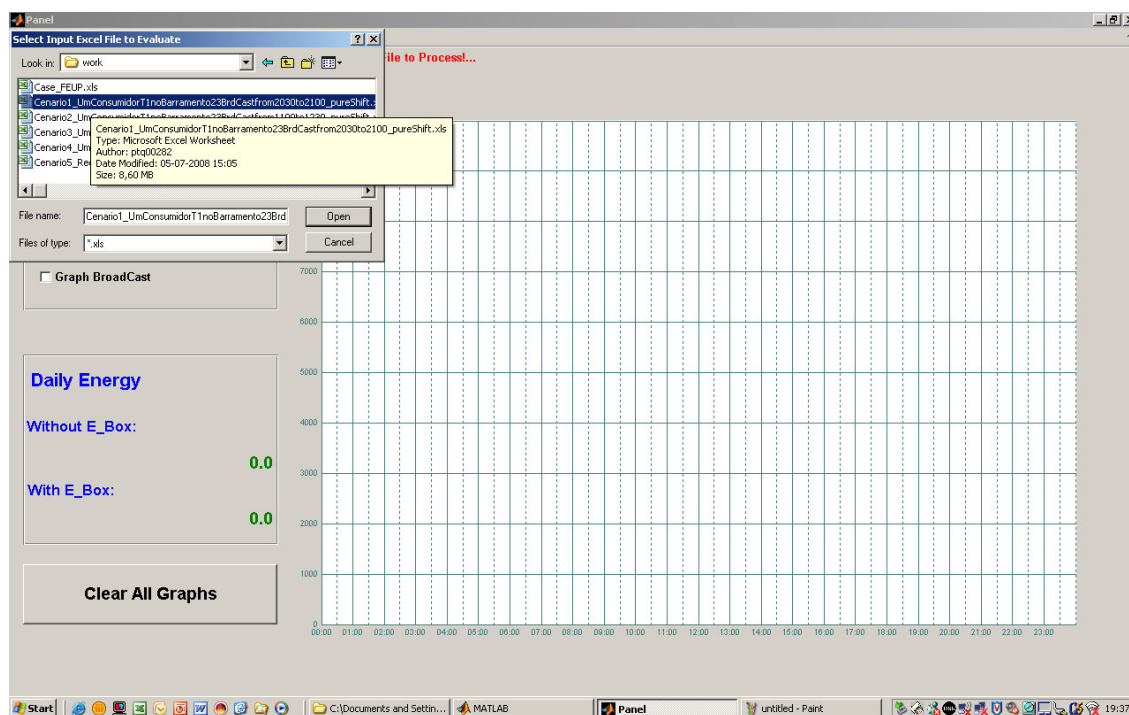


Figura 4.10 - Escolha de um Ficheiro de Cenários pelo Simulador

Note-se que é conveniente não escolher o ficheiro 'Case_FEUP.xls' já que este não é um ficheiro de cenários pois como se viu este ficheiro contém os parâmetros da rede eléctrica e é usado pelo simulador no seu processamento. Caso este ficheiro seja escolhido o programa apresenta um erro.

Tendo executado este passo o simulador apresenta duas opções:

- ou simular um consumidor separadamente, escolhendo para tal no menu 'simulation' o consumidor tipo que queremos simular

- ou simular sucessivamente todos os 10 consumidores tipo, escolhendo para tal a opção 'Simulate All Consumers'. O tempo necessário para fazer uma simulação de todos os 10 consumidores ronda os 12 minutos. O tempo de simulação de um só consumidor ronda cerca de 1 minuto.

Quando começa o processo de simulação, vai aparecendo uma barra de progresso informando o utilizador daquilo que o simulador está a processar. O simulador faz resumidamente o seguinte:

- determina para cada consumidor tipo e para cada equipamento eléctrico se ele deve ou não ser desligado.

- calcula a carga total em termos de potência activa e reactiva para cada um dos instantes ao longo das 24 horas do dia para todos os consumidores actualizando o ficheiro de cenários na folha 'Cargas_Totais_por_Consumidor'. De referir que ficou previamente decidido que o valor da potência reactiva seria 10% do valor da potência activa.

- calcula a carga total em cada um dos barramentos e actualiza o ficheiro de cenários na folha 'Cargas_Totais_por_Barramento'. Aqui são tidas em conta as simultaneidades anteriormente referidas, calculando-se não só as cargas totais de um determinado consumidor tipo mas também quando estas são ligadas com um atraso de 30 minutos e quando são ligadas com um avanço de 30 minutos. Note-se que esta translação verifica-se somente ao nível do ligar ou desligar das cargas, pelo que não quer dizer que obtenha uma resposta da “Energy Box” com uma translação com a mesma magnitude, já que em cada uma das 3 simulações que são feitas para cada consumidor tipo intervêm a vontade do consumidor através da tal função que gera números aleatórios entre 0 e 1 conforme referido anteriormente.

- tendo as cargas totais em cada barramento, calcula as tensões em todos eles em valores p.u. actualizando a folha do ficheiro de cenários 'Vi_Barramento_i'.

- calcula o trânsito de potências em todas as linhas actualizando a folha 'Si_Linha_i'.

- calcula as perdas em todas as linhas a actualiza a folha 'Perdas'

De referir que mesmo escolhendo o processamento de um só consumidor é feito o cálculo do trânsito de potências, permitindo desta forma verificar qual o impacto que uma determinada alteração num consumidor tipo tem para a rede eléctrica.

Uma advertência que importa desde já referir é que não se deve correr o simulador quando:

- o ficheiro de cenários está aberto;
- o 'Autofilter' do Excel no ficheiro de cenários está activo.

Nestes dois casos o simulador pode apresentar comportamentos imprevisíveis.

Nos cenários que foram estudados, verificou-se em alguns casos que o método de Newton Raphson não convergia ao fim de 10 iterações. Para colmatar isso aumentou-se este número para 50 iterações mantendo no entanto o critério de convergência em $1E-4$. Com esta alteração os cenários simulados que acompanham este trabalho, verificou-se sempre a convergência do Método de Newton no cálculo do Trânsito de Potências do Sistema.

Tendo concluída a simulação, o simulador permite ver:

- o diagrama de cargas de cada um dos consumidores tipo com e sem a presença da “Energy Box”. Para esse efeito, escolhe-se primeiro uma cor a usar na representação gráfica. Depois selecciona-se o gráfico que se quer visualizar. Seguidamente sempre que quisermos sobrepor dois gráficos, seleccionamos a checkbox 'HoldGraph'. Depois escolhemos uma outra cor para o segundo gráfico e de seguida seleccionamos o gráfico que queremos visualizar. Se quisermos ver quando ocorreu o 'BroadCast' do operador de rede teremos somente que seleccionar a nova cor para este terceiro gráfico e seleccionar a checkbox 'Graph BroadCast'. É possível sobrepor quantos gráficos o utilizador pretender mantendo seleccionada a checkbox 'HoldGraph'. A figura seguinte mostra um exemplo de um diagrama de cargas com e sem “Energy Box”

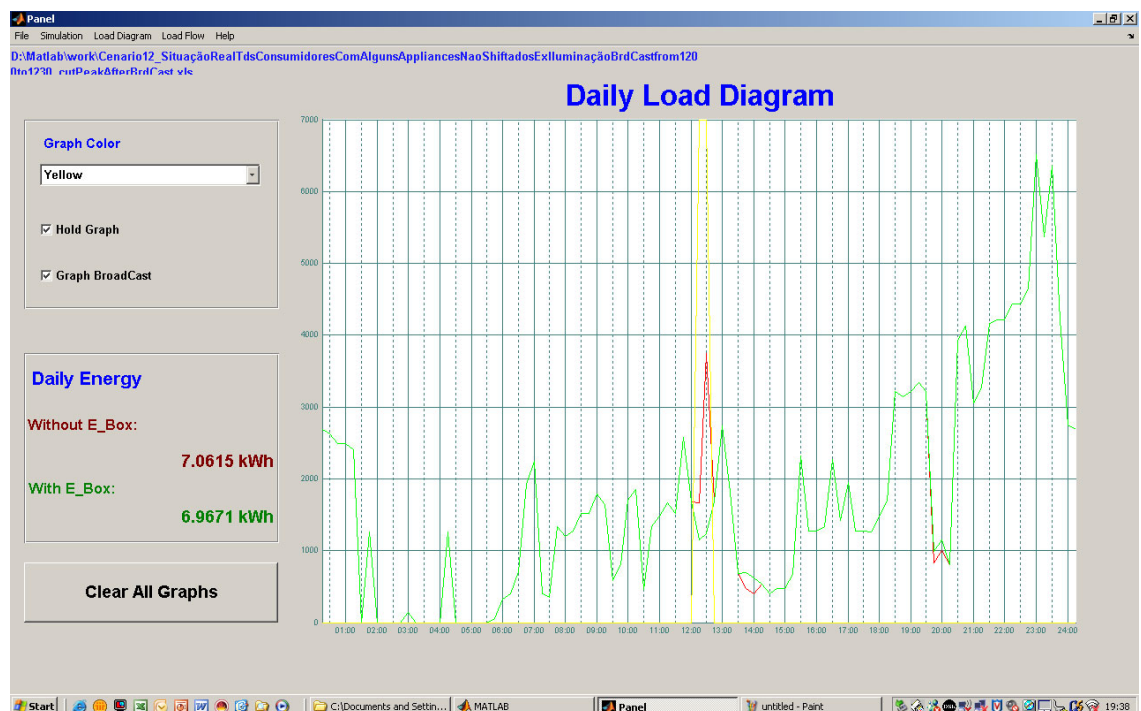


Figura 4.11 - Diagrama de Carga com e sem "Energy Box" do consumidor tipo 'Consumidor_T1' e o sinal de 'BroadCast' do Operador de Rede.

Na parte do Load Flow temos a possibilidade de ver as tensões em cada um dos barramentos com e sem "Energy Box" assim como os trânsitos de potências nas linhas e as perdas com e sem "Energy Box". Em qualquer dos casos existe sempre a possibilidade de sobrepor sobre os gráficos o sinal de 'BroadCast' do operador de rede conforme anteriormente explicado.

Por último resta referir que é possível comparar cenários de diferentes ficheiros. Suponha-se que se pretendia ver o diagrama de cargas do consumidor_T1 com e sem "Energy Box" de dois ficheiros de cenários iguais mas que a única diferença entre eles é a duração do 'BroadCast' do operador de rede. Neste caso, após ter simulado separadamente os dois ficheiros, poderia-se seguir a seguinte sequência.

- seleccionar do ficheiro cenário_A o diagrama de carga sem "Energy Box" e representando-a a vermelho, por exemplo;
- seleccionar a checkBox 'HoldGraph'
- seleccionar o diagrama de carga com "Energy Box" e representa-la a verde, por exemplo;

- uma vez que a checkBox 'HoldGraph' continua seleccionada, o próximo gráfico virá sobreposto aos dois primeiros. Abra-se então o ficheiro de cenários cenário_B e seleccione-se o diagrama de cargas do consumidor_T1 representando-o a cor azul, por exemplo

- por fim pode representar-se o sinal de 'BroadCast' do cenário que estiver seleccionado, clicando na checkBox 'Graph BroadCast' após ter previamente seleccionado a sua cor.

A figura seguinte mostra uma possível representação da situação descrita:

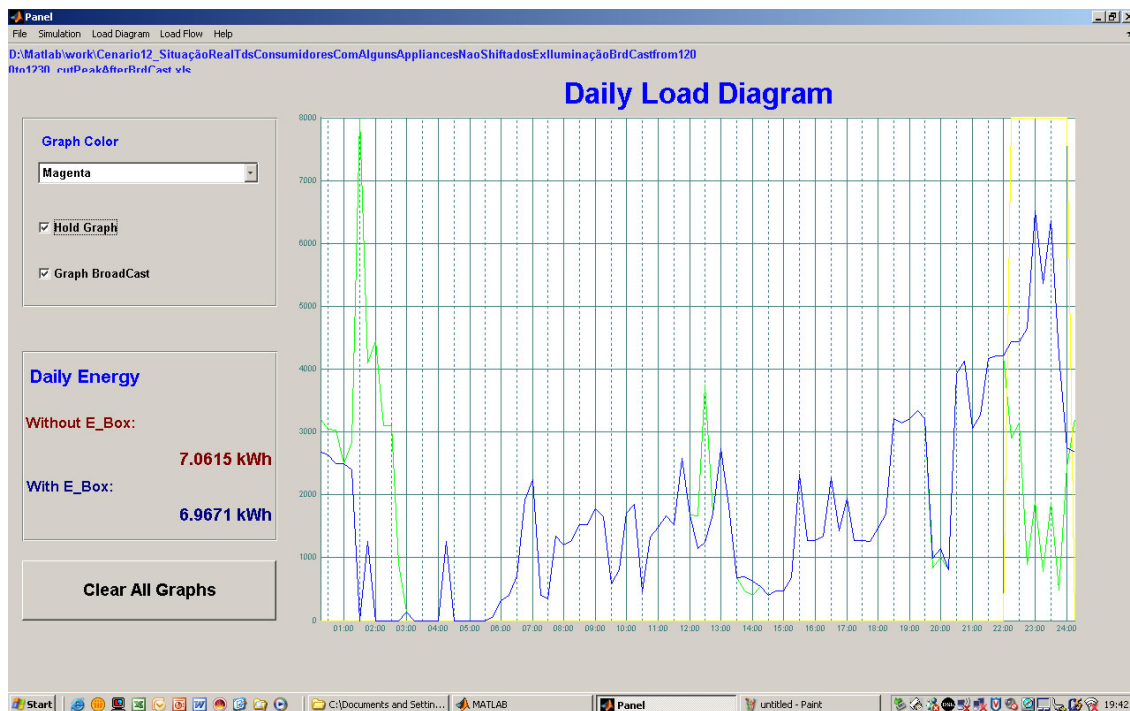


Figura 4.12 - Gráfico Comparativo de dois Cenários Diferentes

4.4 - Como o Simulador Toma a Decisão de Cortar ou não as Cargas.

O simulador desenvolvido tenta de alguma forma simular o comportamento de uma "Energy Box". Contudo convém ter a noção de que sendo a "Energy Box" um dispositivo configurável em função das preferências de cada consumidor, é extremamente complexo obter uma simulação real de uma "Energy Box" quando nem se quer se conhece à partida qual o programa que esta contém para desligar ou não as cargas de acordo com as solicitações do operador de rede e tendo em conta a configuração com base nas preferências dos consumidores. Assim nesta secção pretende-se dar uma ideia do algoritmo que está na base do simulador cortar ou não as cargas quando há um sinal de 'BroadCast' emitido pelo operador de rede.

A decisão de desligar ou não os equipamentos eléctricos de cada consumidor é feita em 3 fases que a seguir se descrevem:

Numa primeira fase o simulador para cada consumidor, e para cada intervalo de 15 minutos que compõe as 24 horas do dia (num total de 96 intervalos) toma uma decisão de nível 1, com base nos seguintes dados que constam no ficheiro de cenários nas folhas relacionadas com cada um dos consumidores tipo:

- se o equipamento está ligado ou desligado;
- se a "Energy Box" está a operar para esse equipamento em modo automático ou em modo manual ('Home Control');
- qual a prioridade que o operador dá ao facto de manter o equipamento ligado nesse instante (como já se viu: 0 – nenhuma prioridade / 4 – prioridade máxima);
- qual o preço que o consumidor está disposto a pagar para manter determinado equipamento eléctrico em funcionamento.

Com base nestes dados é tomada uma decisão de nível 1 de acordo com o seguinte algoritmo:

```

if(Switch==0)
    Energy_Box_Decision=0;
    return;
end;

if(Switch==1)
    if(BroadCast==0)
        Energy_Box_Decision=1;
        return;
    end;

    if(BroadCast==1)
        if(AutoMode==1)
            Energy_Box_Decision=0; % no modo automático corta logo a carga
            return;
        end;

        if(AutoMode==0)
            if((Priority(PriorityLevel)==1)&&(TargetPrice(Price,Target_Price)==1))
                Energy_Box_Decision=1;
            else
                Energy_Box_Decision=0;
            end;
            return;
        end;
    end;
end;
end;

```

A função Priority() é onde está contemplada a vontade do operador. O algoritmo desta função é o seguinte:

```

        if(PriorityLevel==0)
            DecisionBasedOnPriority=0;                % You can Switch Off the Load, because (in this
moment) it has no priority (importance) for me
        end;

        if(PriorityLevel==1)                        % You can Switch Off the Load if my Willing (in this
moment) is above 25%
            if(Owner_Willing(>)>0.25)
                DecisionBasedOnPriority=0;
            else
                DecisionBasedOnPriority=1;
            end;
        end;

        if(PriorityLevel==2)                        % You can Switch Off the Load if my Willing (in this
moment) is above 0,50
            if(Owner_Willing(>)>0.50)
                DecisionBasedOnPriority=0;
            else
                DecisionBasedOnPriority=1;
            end;
        end;

        if(PriorityLevel==3)                        % You can Switch Off the Load if my Willing (in this
moment) is above 0,75
            if(Owner_Willing(>)>0.75)
                DecisionBasedOnPriority=0;
            else
                DecisionBasedOnPriority=1;
            end;
        end;

        if(PriorityLevel==4)                        % No, You can not Switch Off the Load, because (in
this moment) it has high priority for me
            DecisionBasedOnPriority=1;
        end;

```

A função `Owner_Willing()` que reflecte a vontade do operador, não é mais do que um gerador de números aleatórios entre 0 e 1.

Com base neste algoritmo, é tomada então uma decisão de nível 1.

Seguidamente, é tomada uma decisão de nível 2 tendo em consideração as características do equipamento eléctrico a cortar. Por exemplo, suponha-se que numa decisão de nível 1 se decidiu desligar um termo acumulador (cilindro) que previamente se tinha definido que uma vez ligado tinha que estar a funcionar 45 minutos. Se na decisão de Nível 1 o termo acumulador (cilindro) seria desligado, o simulador quando chega à decisão de nível 2 decide não desligar o termo acumulador (cilindro) se esta condição do tempo mínimo não se verificar.

Tal procedimento é aplicado para os outros dois tempos característicos dos diversos equipamentos: o tempo máximo que determinado equipamento pode manter-se no estado desligado uma vez desligado e chamado tempo de memória já anteriormente referido. Note-se que já neste nível pode muito bem acontecer que o simulador tenha que ligar um determinado equipamento logo após terminado o sinal de 'BroadCast'. Tal acontece por exemplo se quando finalizou o sinal de 'BroadCast' expirou o tempo que um determinado equipamento deveria manter-se desligado. Neste caso logo a seguir ao 'BroadCast' ele é re-ligado.

Note-se que há equipamentos que pelo facto de se ter definido valores de tempos negativos para cada um dos valores temporais mencionados anteriormente, para estes equipamentos é válida a decisão de nível 1 (caso da iluminação, por exemplo, em que foi definida no ficheiro de cenários valores de tempo negativos para estes 3 tempos).

Por último é tomada uma decisão de nível 3, em que, como que por compensação, as cargas que foram cortadas durante o período de 'BroadCast', são re-ligadas imediatamente após o período de 'BroadCast' terminar, caso se verifiquem estarem desligadas (i.e. não comutadas). Caso estejam comutadas imediatamente após terminar o período de 'BroadCast' o simulador aguarda pelo instante em que elas fiquem no estado não comutadas para precisamente nesse momento re-ligalas descontando assim o tempo em que estiveram desligadas durante o período de 'BroadCast'. Note-se no entanto que o algoritmo pode não conseguir fazer a compensação por completo no sentido de se obter que a energia consumida sem "Energy Box" seja igual à energia consumida com "Energy Box". Tome-se por exemplo o caso de um computador que está 24 horas ligado, e que durante um período de 'BroadCast' foi desligado 30 minutos. O simulador vai tentar religar os 30 minutos perdidos durante o 'BroadCast' procurando fora do período de 'BroadCast' um período de 30 minutos em que o computador esteja desligado para aí fazer a religação. Mas não consegue porque o

computador estava antes de aparecer o 'BroadCast' 24 horas ligado. Neste caso não se pode garantir que a energia consumida sem "Energy Box" seja igual à energia consumida com "Energy Box".

De referir no entanto que da implementação no simulador do que vem sendo referido, verificava-se um pico de consumo imediatamente após terminar o sinal de 'BroadCast' conforme ilustra a figura seguinte:

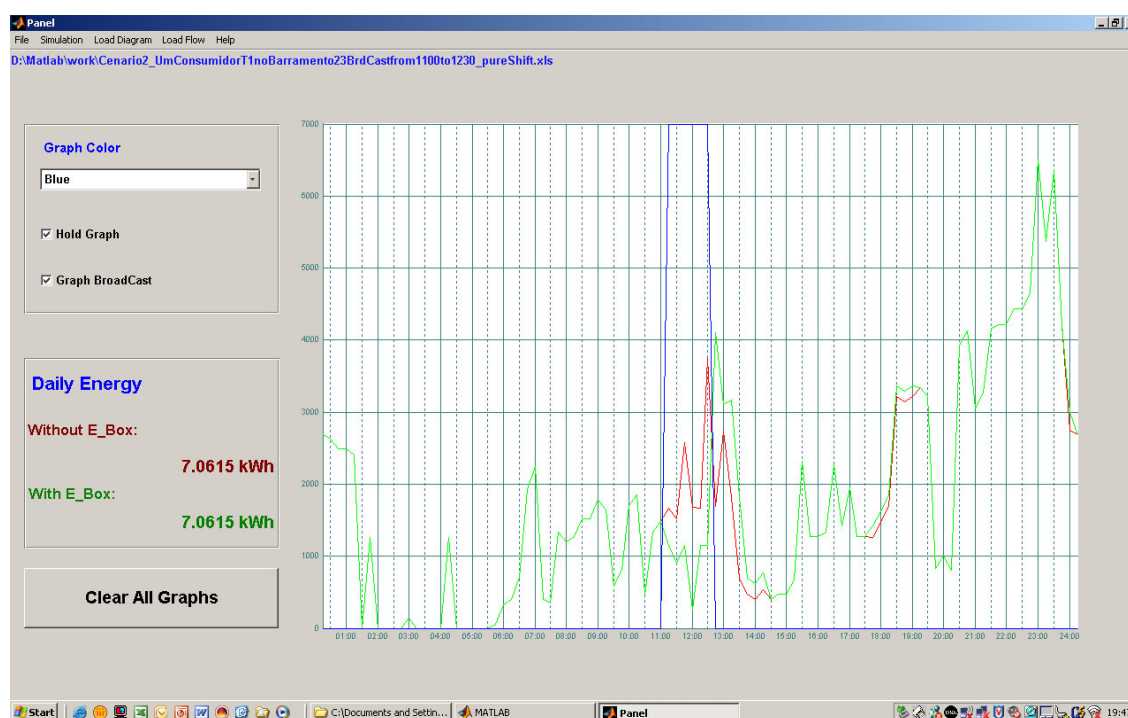


Figura 4.13 - Pico verificado no diagrama de carga no fim do nível 3 de decisão do simulador

Para colmatar esta situação, e no sentido de ir de encontro aquilo que a "Energy Box" fará numa situação destas, foi introduzido mais um nível de decisão, desta vez o nível 4. Neste caso a compensação só é feita nas condições do nível 3 (i.e. o equipamento estar desligado fora do período de 'BroadCast') e ainda se nesse instante a potência instantânea sem "Energy Box", for menor que o máximo da curva de potência com "Energy Box" verificada no período de 'BroadCast'. Com o contemplar deste novo nível de decisão, obtém-se a figura seguinte, onde se pode ver que o pico é reduzido imediatamente a seguir ao 'BroadCast'.

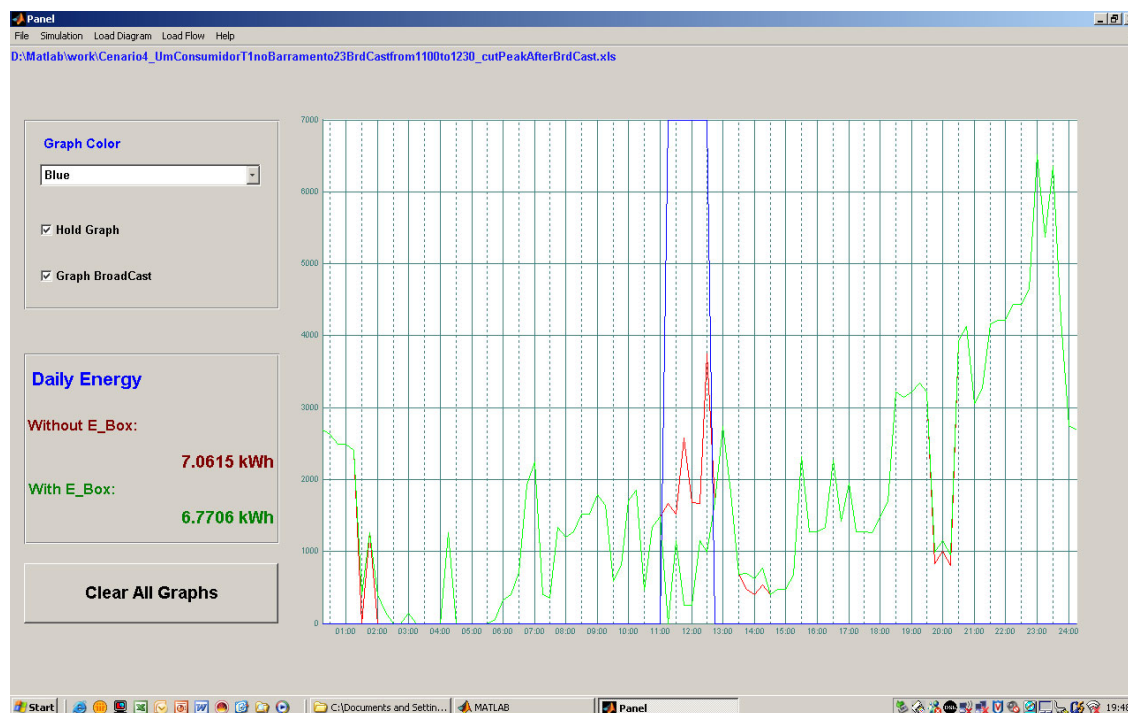


Figura 4.14 - Redução do pico verificado no diagrama de carga com o nível 4 de decisão do Simulador

Conforme pode verificar-se, o pico após o 'BroadCast' é agora bastante mais reduzido, mas o algoritmo do simulador só conseguiu fazer a compensação da quase totalidade da carga cortada durante o 'BroadCast' durante as horas da madrugada. Note-se que há medida que se vão acrescentando níveis de decisão torna-se cada vez mais difícil para o simulador compensar a totalidade da carga perdida durante o período de 'BroadCast' e assim dificilmente conseguir que a Energia consumida sem "Energy Box" seja igual à energia consumida com "Energy Box".

Para concluir este capítulo, reitera-se uma vez mais a complexidade de conseguir simular a "Energy Box" com a máxima fiabilidade, pois esta pode ter uma multiplicidade de configurações. No simulador desenvolvido, com a implementação dos 4 níveis de decisão pretendeu-se simular uma Energy Box com configurações semelhantes. No entanto, a "Energy Box" desliga cargas ou atrasa a sua ligação mediante determinadas condições. Neste aspecto o simulador é semelhante, permitindo assim traduzir fielmente o impacto da utilização da "Energy Box" na rede de distribuição de energia eléctrica.

Capítulo 5

Avaliação do Impacto da "Energy Box" na Rede de Distribuição de Energia Eléctrica: Cenários de Estudo

A melhor forma de se avaliar o impacto da utilização da "Energy Box" por um grande grupo de consumidores, é usando o simulador que foi desenvolvido para o efeito. Este simulador ao desligar ou retardar a entrada em funcionamento de um conjunto de cargas de consumidores de uma zona residencial, simula o comportamento da "Energy Box".

Note-se no entanto que a decisão da "Energy Box" em ligar ou desligar determinado tipo de equipamento eléctrico num dado consumidor residencial, pode ter implicações ao nível do desequilíbrio das fases, caso se trate de um consumidor do tipo trifásico. Estas implicações não foram previstas no simulador, já que tal implicaria ter mais dados de entrada no que se refere ao tipo de equipamentos que estão ligados a cada fase, que pode variar entre consumidores tipo diferentes e até mesmo entre o mesmo consumidor tipo. Assim admite-se neste trabalho, que todos os consumidores tipo são do tipo monofásico.

Ver-se-á entretanto qual o impacto do uso da "Energy Box" ao nível do Diagrama de Carga, Tensões nos Barramentos, Trânsitos de Potência nas Linhas e Perdas nas Linhas nos seguintes cenários de estudo:

- Cenário A – O 'BroadCast' do operador de rede tem a duração de 30 minutos e ocorre entre as 20 horas e 30 minutos e as 21 horas.

- Cenário B – O 'BroadCast' do operador de rede tem a duração de 1 hora e 30 minutos e ocorre entre as 20 horas e 30 minutos e as 22 horas.

- Cenário C – O 'BroadCast' do operador de rede tem a duração de 2 horas e ocorre entre as 22 horas e as 24 horas.

- Cenário D – O 'BroadCast' do operador de rede tem a duração total de 3 horas ocorrendo em duas fases: uma entre as 11 horas e as 12 horas e 30 minutos e outra entre as 20 horas e 30 minutos e as 22 horas.

Nesta avaliação, far-se-á também uma análise comparativa entre o cenário A e o cenário B, aqui com o intuito de se verificar qual o impacto no sistema da duração do sinal de 'BroadCast' emitido pelo operador de rede. Com efeito, no cenário A o 'BroadCast' tem a duração de 30 minutos, no cenário B ele é estendido de 30 para 90 minutos.

Atentemos então nos resultados obtidos com o simulador, começando pela análise do diagrama de carga.

5.1 - Diagrama de Carga

Para o estudo do impacto da utilização da "Energy Box" no diagrama de carga dos consumidores vai-se considerar para referência o consumidor tipo 'Consumidor_T1'. Os resultados obtidos com esta análise podem contudo ser inferidos para outros consumidores tipo.

A figura 5.1 seguinte, mostra na linha a vermelho, o diagrama de carga do consumidor T1 na situação de este não ter a "Energy Box". A linha a verde mostra-se o mesmo diagrama no caso de este consumidor tipo ter a "Energy Box". A linha amarela, mostra em que período do dia em que ocorreu o sinal de 'BroadCast' do operador de rede. De acordo com a figura esta-se perante o cenário A, anteriormente descrito.

Assim pode ver-se que quando ocorre o 'BroadCast', há cargas que são cortadas, e são ligadas mais tarde por volta da 23 horas e 45 minutos e também entre a 1 hora e as 2 horas da madrugada. Saliente-se que como a duração do sinal de 'BroadCast' é relativamente curta o simulador consegue compensar as cargas que foram desligadas com base no nível de decisão nº 4 anteriormente descrito. Note-se também que neste caso houve uma transferência do consumo, verificando-se que o consumo sem a "Energy Box" é idêntico àquele que se verifica com a "Energy Box". Na figura 5.1, os valores resultantes da simulação, não dão exactamente o mesmo valor. Contudo a sua diferença é desprezável e é justificada pelos arredondamentos inerentes à grande quantidade de cálculos que o simulador tem de fazer.

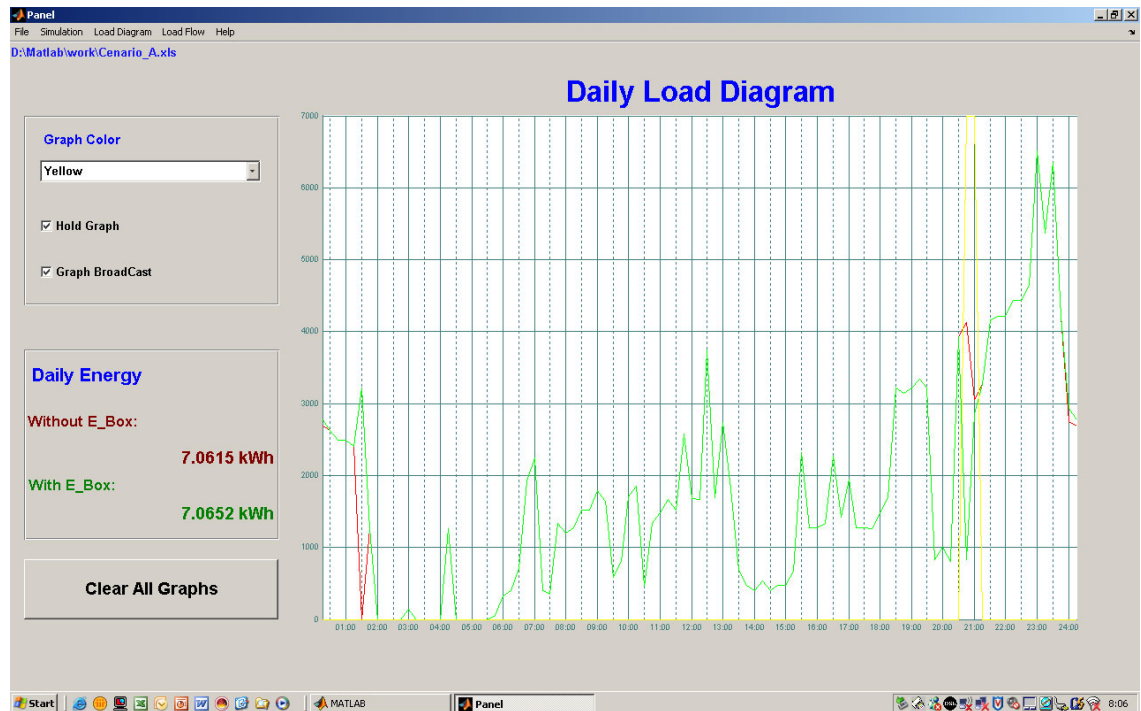


Figura 5.1 - Diagrama de Carga, Cenário A Consumidor T1

O simulador compensou as cargas desligadas durante a 1 hora e as 2 horas da madrugada, obtendo-se um ligeiro pico de consumo tal como se mostra na figura 5.1. Decerto esse pico seria maior se a duração do 'BroadCast' do operador de rede fosse também mais longo. Tal facto é descrito pela figura 5.2 (onde se tem um 'BroadCast' de 90 minutos) e em que o pico de consumo após o 'BroadCast' é neste caso ligeiramente superior àquele que se apresenta na figura 5.1. Embora também neste caso se tenha conseguido obter o mesmo consumo de energia (salvo 'ruído aritmético') entre o facto de não se ter e de se ter a "Energy Box".

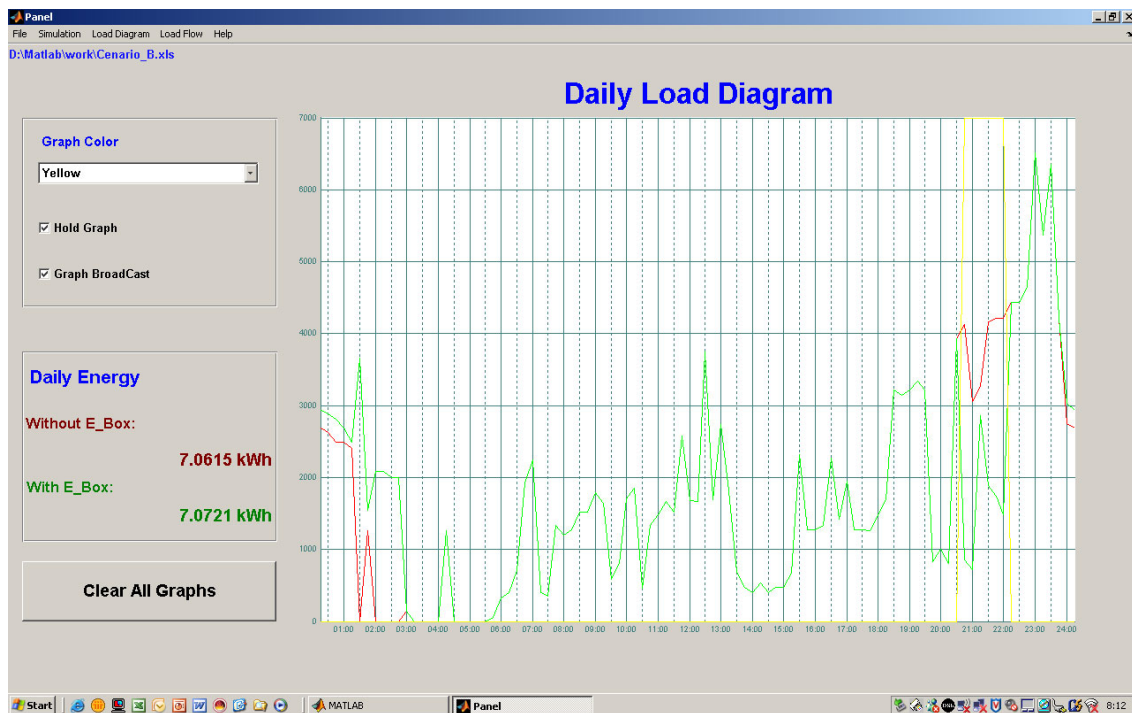


Figura 5.2 - Diagrama de Carga, Cenário B Consumidor T1

A comparação dos dois cenários anteriormente descritos (cenário A e cenário B) leva-nos à figura 5.3, onde se pode ver que as duas linhas com a "Energy Box", i.e., linha verde e linha azul relativas aos cenários A e B respectivamente, são diferentes, porque os 'BroadCasts' respectivos têm duração diferentes. Contudo representam a mesma energia consumida.

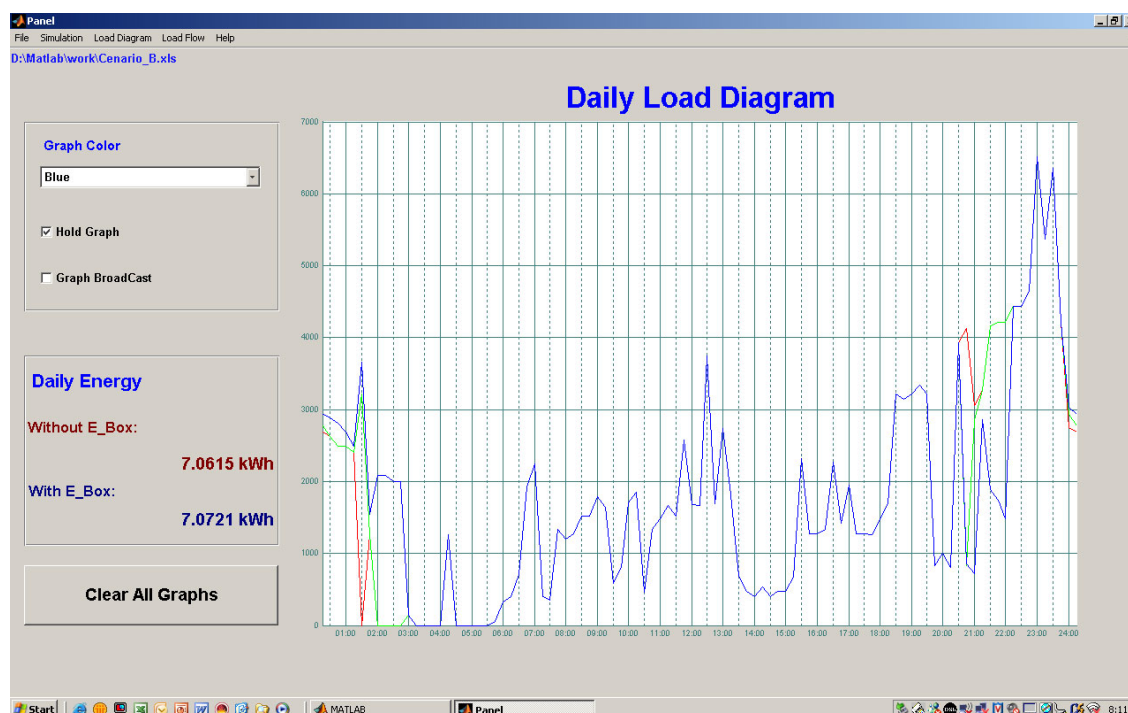


Figura 5.3 - Diagrama de Carga, Comparação entre Cenário A e Cenário B Consumidor T1

No cenário C, figura 5.4, mostra-se o que acontece se o operador de rede solicitar uma redução de consumo através do envio de um 'BroadCast' entre as 22 horas e as 24 horas. De referir que este período em que ocorre o 'BroadCast' é coincidente com o pico de consumo do consumidor doméstico T1. Neste caso, o simulador compensou a enorme quantidade de energia que desligou durante o período de 'BroadCast' no período de madrugada entre a 1 hora e as 2 horas, com um pico enorme de consumo. A "Energy Box" decerto não terá esse comportamento, tentando diluir o pico de consumo verificado nas horas seguintes.

Saliente-se contudo que o simulador não faz isso, dado que a implementação de um nível de decisão que tivesse em conta este facto, tornaria o tempo de simulação extremamente longo. Com efeito, o simulador, tal como a "Energy Box" tomam decisões no instante t , com base naquilo que ocorreu nos instantes anteriores. Perante um pico de consumo desta natureza, a "Energy Box" com base no programa que tem instalado sabe que cargas vai desligar ou que cargas vai religar mais tarde. O simulador, perante este pico de consumo com base nas cargas que ele decidiu desligar nesse instante, teria que nesse mesmo instante decidir que mais cargas teria de cortar antes de passar ao instante seguinte. O problema é que cargas se vão cortar para se ter um pico de consumo que não ultrapasse um determinado valor. Do ponto de vista do simulador, este problema é puramente combinatório. A título de exemplo, o consumidor T1 tem 28 dos 116 equipamentos eléctricos que o sistema permite

simular. Perante um pico de consumo após o 'BroadCast', teria-se para esse instante de cortar sucessivamente:

- todas as 28 cargas, uma a uma, e ver se a cada iteração o pico de consumo não ultrapassa um dado valor (total de 28 iterações),
- caso tal não aconteça, teríamos de nesse instante cortar sucessivamente todas as cargas, duas a duas, e ver se a cada iteração o pico de consumo não ultrapassa um dado valor (total de $28 \times 27 / 2 = 378$ iterações – combinações de 28 tomados 2 a 2),
- e assim sucessivamente considerando combinações de 28 tomados 3 a 3

Numa situação destas o tempo de simulação torna-se proibitivo.

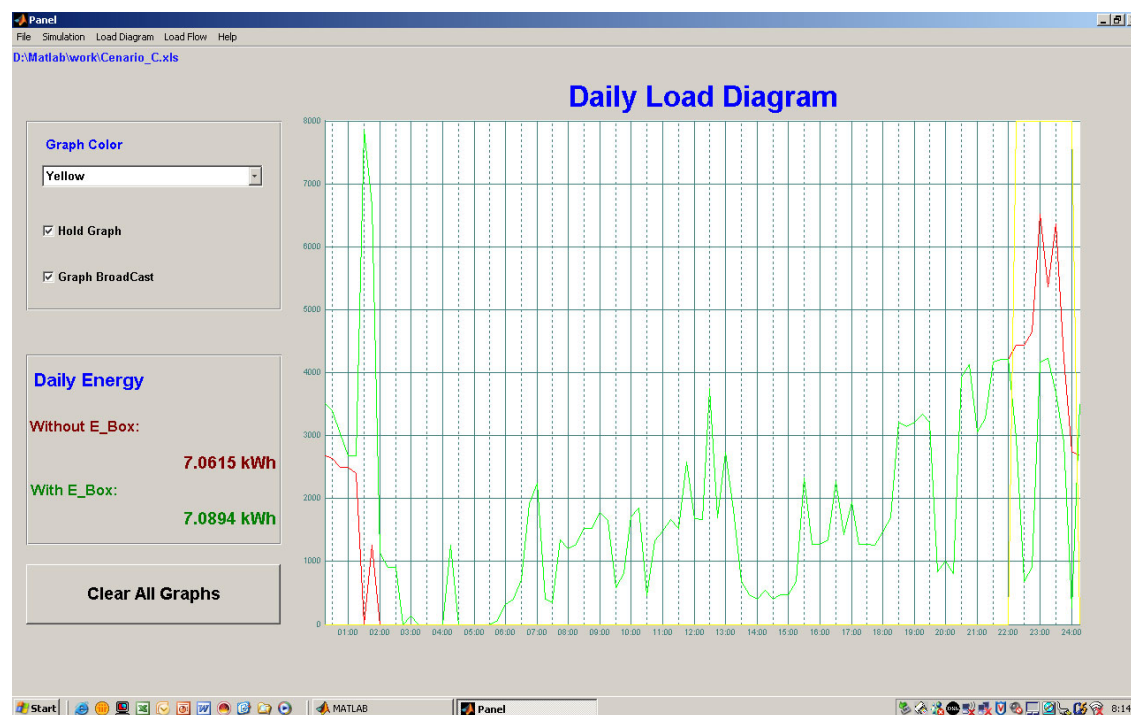


Figura 5.4 - Diagrama de Carga, Cenário C Consumidor T1

Contudo, está-se a ver o que acontece do ponto de vista do consumidor, quando o objectivo principal é ver o que acontece na rede eléctrica. Neste caso o simulador ao entrar em conta com os diferentes consumidores tipo e com as simultaneidades resultantes do facto de se antecipar ou atrasar a ligação das cargas em 30 minutos, do ponto de vista do diagrama de carga dos barramentos estes picos são bastante atenuados. Veja-se a título de exemplo o impacto da "Energy Box" no diagrama de carga do Barramento nº 11, para o mesmo cenário:

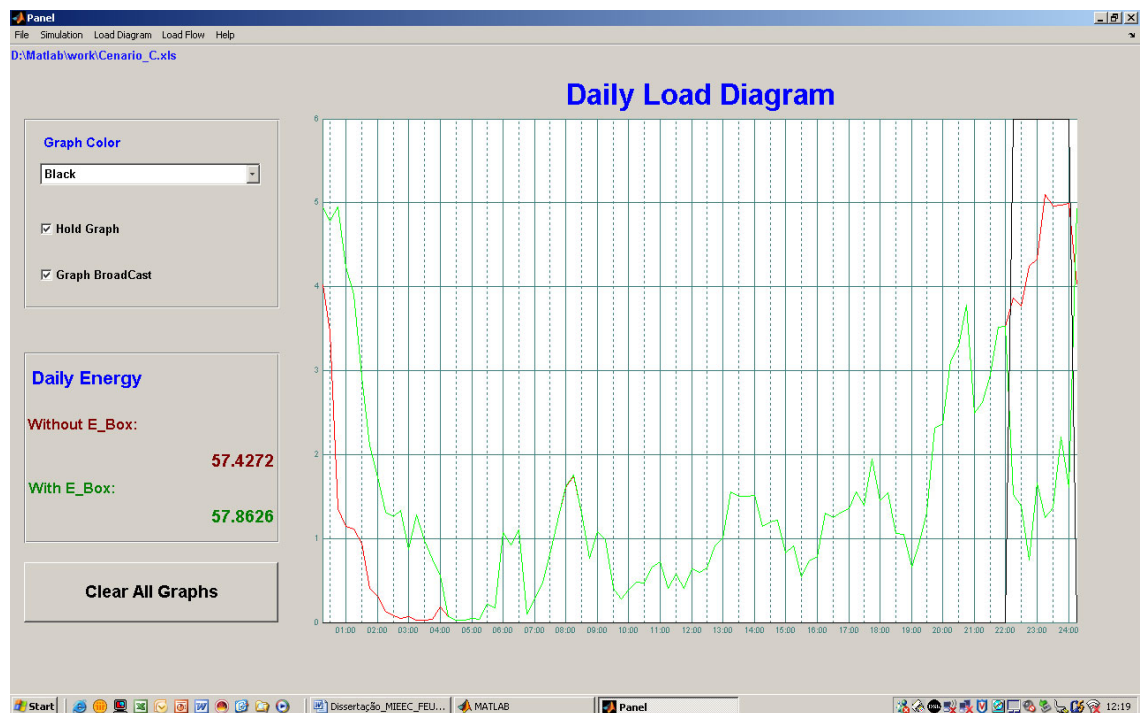


Figura 5.5 - Diagrama de Carga, Cenário C Consumidor T1 no Barramento nº11

onde se pode ver que em termos relativos este pico após o 'BroadCast' não aparece de forma tão saliente. Note-se no entanto que a energia consumida quer se tenha ou não a "Energy Box" é a mesma conforme documenta a figura 5.5.

Por fim, atente-se no cenário D da figura 5.6 em que se tem dois sinais de 'BroadCast' com a mesma duração mas enviados pelo operador de rede em períodos diferentes do dia.

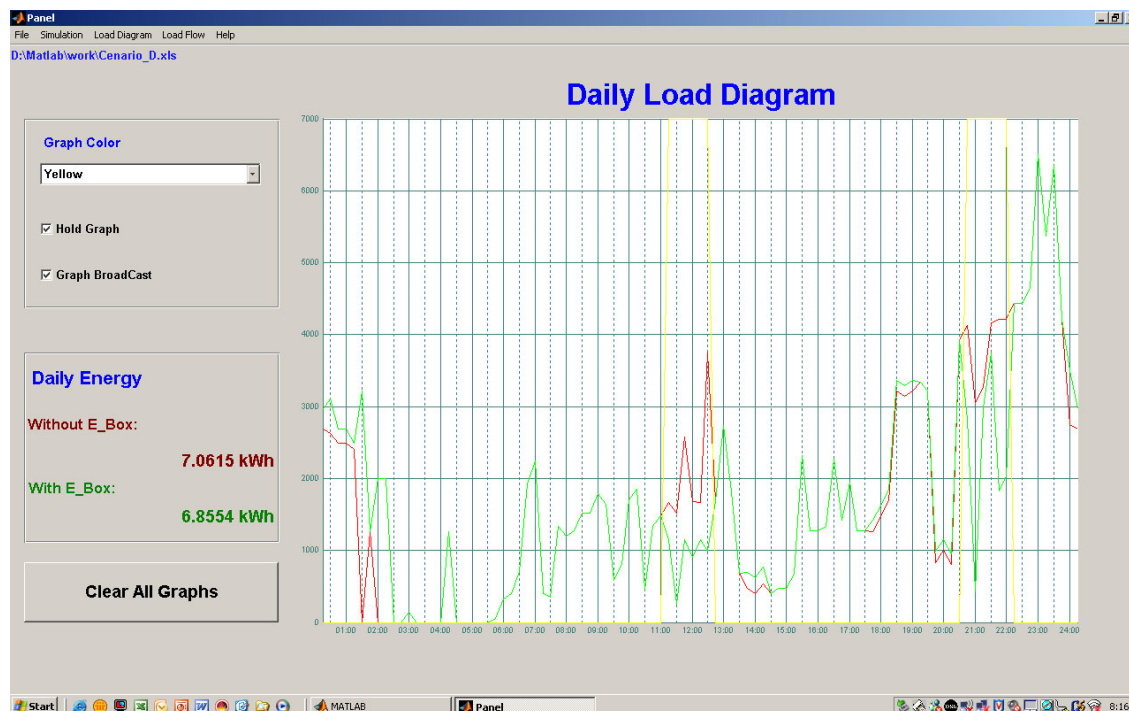


Figura 5.6 - Diagrama de Carga, Cenário D Consumidor T1

Nestas circunstâncias dificilmente se obterão consumos iguais com e sem "Energy Box", dada a relação que o impacto dos dois sinais de 'BroadCast' podem ter entre si. Contudo numa situação destas verifica-se que o consumo com "Energy Box" é menor do que sem "Energy Box", o que indica que o algoritmo do simulador não conseguiu compensar totalmente as cargas que foram cortadas durante os períodos de 'BroadCast'.

5.2 - Tensões nos Barramentos

Pretende-se nesta secção avaliar, através do simulador desenvolvido, qual o impacto da utilização da "Energy Box" por um conjunto de consumidores ao nível das tensões nos barramentos. Dado que o simulador permite ver esse impacto em cada um dos barramentos da rede, vai-se apenas aqui tomar como referência a este estudo o barramento nº 14, que de acordo com a tabela 4.1 tem nele vários consumidores ligados. As conclusões aqui tiradas podem depois ser inferidas para outros barramentos com base nos resultados do simulador.

Comece-se pelo cenário A, anteriormente caracterizado, cuja tensão no barramento 14 ao longo das 24 horas do dia é mostrada na seguinte figura 5.7, obtida com o simulador, com e sem "Energy Box".

Da análise desta figura 5.7 podemos concluir que a queda de tensão no barramento 14 diminuí durante o sinal de 'BroadCast', o que é obvio pois houve cargas que foram desligadas. Também se verifica que a queda de tensão é atenuada nos instantes seguintes ao fim do periodo de 'BroadCast'.

Saliente-se no entanto que a queda de tensão verificada entre as 22 horas e as 24 horas sem "Energy Box" (linha a vermelho na figura 5.7) corresponde a uma queda de tensão exagerada em resultado de não se ter tido em consideração as simultaneidades entre os vários consumidores tipo. Note-se que a questão das simultaneidades foi de alguma forma contemplada no simulador para o mesmo consumidor tipo ligando em atraso ou em avanço os equipamentos 30 minutos face ao consumidor tipo padrão. Contudo, as simultaneidades entre os vários consumidores tipo, depende da forma como o utilizador do simulador preenche o ficheiro de cenários para cada um desses consumidores tipo. O que se pode concluir dos resultados da figura é que há uma grande simultaneidade entre os 10 consumidores tipo considerados, o que numa situação real tal certamente não se verificará.

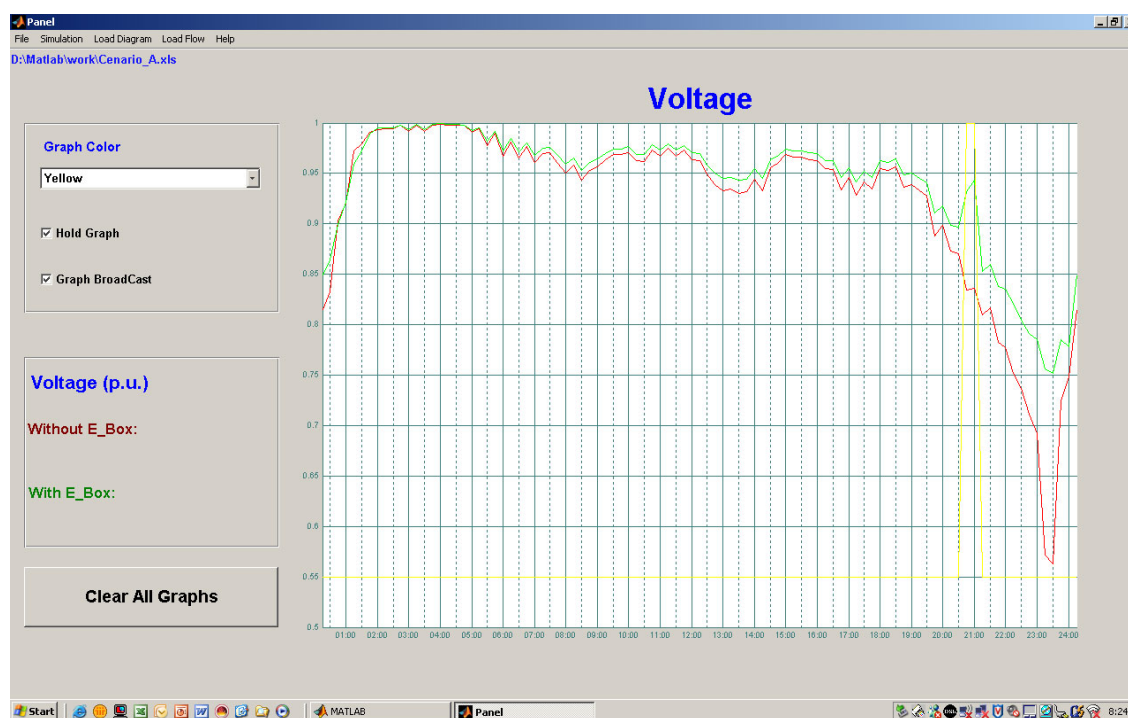


Figura 5.7 - Cenário A, Tensão no Barramento 14

Na figura 5.7 a linha a vermelho mostra o nível de tensão em p.u. sem "Energy Box" e a linha a verde mostra o nível de tensão com "Energy Box". A linha amarela representa o sinal de 'BroadCast' emitido para a "Energy Box" pelo operador de rede.

É notório que se consegue uma melhoria dos perfis de tensão nos barramentos com a utilização da "Energy Box".

Se dilatar-mos o período em que ocorre o 'BroadCast', Figura 5.8, de 30 para 90 minutos verifica-se que neste cenário (cenário B) o perfil de tensão obtido é substancialmente melhorado, não estando por isso sujeito a variações bruscas de quedas de tensão nos barramentos.

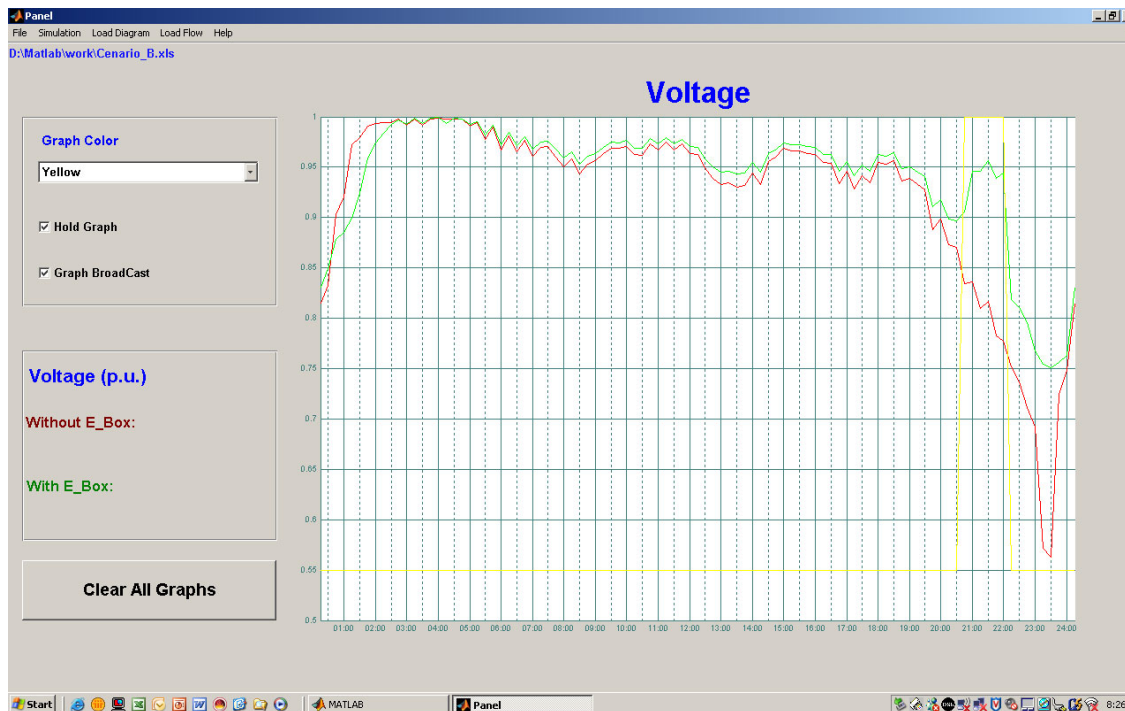


Figura 5.8 - Cenário B, Tensão no Barramento 14

Este facto pode ser comprovado na figura 5.9 em que a linha a vermelho mostra o perfil de tensão sem "Energy Box" a linha a verde o perfil de tensão com "Energy Box" no cenário A e a linha azul o perfil de tensão no barramento 14 com "Energy Box" no cenário B, onde o 'BroadCast' foi dilatado de 30 para 90 minutos.

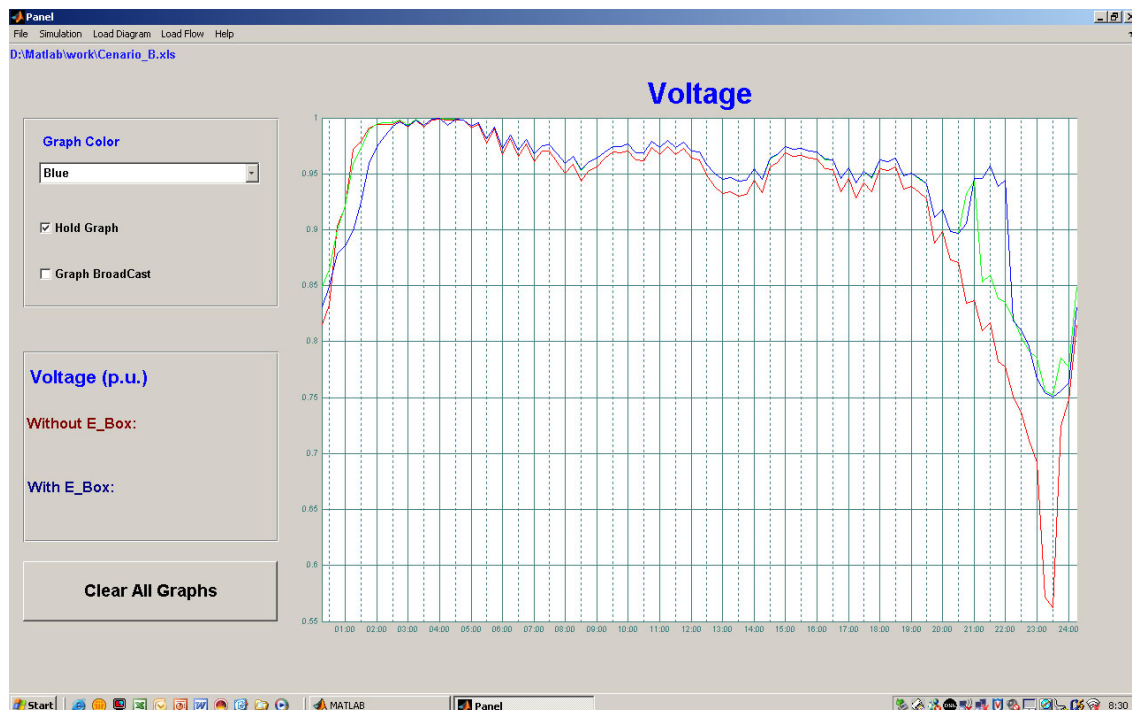


Figura 5.9 - Comparação entre Cenário A e Cenário B, Tensão no Barramento 14

Uma conclusão que se pode inferir dos resultados obtidos pelo simulador é que o nível de tensão, quando se varia o período de 'BroadCast' de 30 para 90 minutos não desce abaixo dos 0.75 p.u. enquanto que sem "Energy Box" o nível de tensão chega aos 0.56 p.u. Logo se conclui que, com base nos resultados do simulador, o aumento do tempo de 'BroadCast' interfere apenas ao nível do perfil de tensão, tornando-o menos exposto a variações bruscas de nível. Obviamente os valores de 0.75 p.u. e 0.56 p.u. são apenas valores indicativos em consequência de não se ter tido em conta as simultaneidades entre os vários consumidores tipo como referido anteriormente.

Os resultados com base no cenário C, são apresentados na figura 5.10, permitindo constatar aqui também o efeito de um 'BroadCast' de 2 horas na melhoria do perfil de tensão que se obtém com a utilização da "Energy Box".

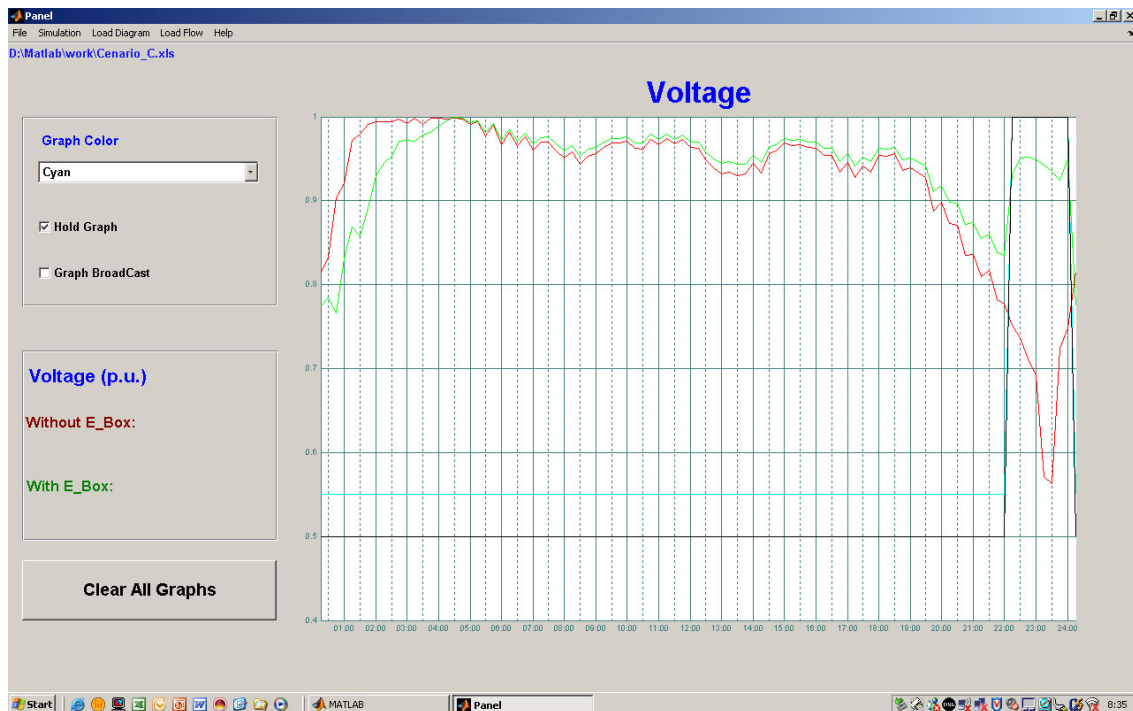


Figura 5.10 - Cenário C, Tensão no Barramento 14

No cenário D, apresentado na figura 5.11, constata-se também aqui uma melhoria dos perfis de tensão embora os níveis mínimos obtidos com e sem "Energy Box" não variem relativamente aos cenários anteriores. Neste cenário a melhoria dos perfís de tensão não é tão evidente, mas isso também se deve ao facto de o segundo 'BroadCast' não ter ocorrido no período em que se verificou uma maior queda de tensão (que corresponde ao período de pico de consumo).

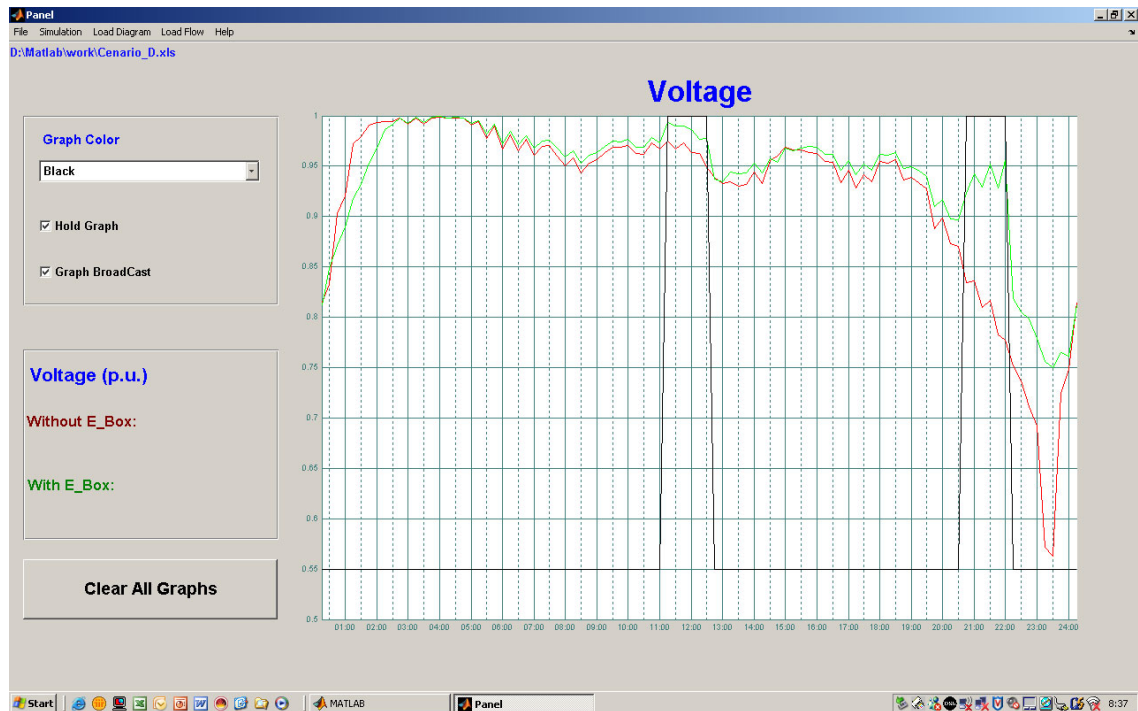


Figura 5.11 - Cenário D, Tensão no Barramento 14

5.3 - Trânsitos de Potências nas Linhas

Veja-se agora quais os resultados obtidos com o simulador ao nível do trânsito de potências nas linhas. Aqui verifica-se uma diminuição do trânsito de potência durante e após o sinal de 'BroadCast', o que se traduz, em termos práticos no descongestionamento das linhas, como documenta a figura 5.12 baseada no resultado da simulação para o cenário A. Neste estudo tomou-se para referência o transito de potências da linha que liga os barramentos 1 e 2.

Mais uma vez se reitera que devido ao facto de não se ter tido em devida consideração, aquando do preenchimento do ficheiro de cenários, as simultaneidades verificadas entre os 10 consumidores tipo, o pico verificado no trânsito de potências entre as 22 horas e as 24 horas deve ser entendido como excessivo, situação que não ocorrerá na prática.

Note-se também que o simulador apenas mostra o resultado do trânsito de potência activa. Assumiu-se que as potências reactivas dos equipamentos eléctricos dos consumidores eram 10% do valor da potência activa. Tal assumption faz todo o sentido, já que como é sabido, os consumidores residenciais apresentam cargas típicas em que a resistência domina sobre a reactância.

Uma observação a constatar na figura 5.12 é que apesar do 'BroadCast' não ter coincidido com o pico de consumo, mas antes deste, o seus efeitos fizeram-se sentir à posteriori na redução do valor deste pico de consumo. Sem "Energy Box" o consumo é de aproximadamente 1MWh, com "Energy Box" o consumo baixa para aproximadamente 0.854 MWh.

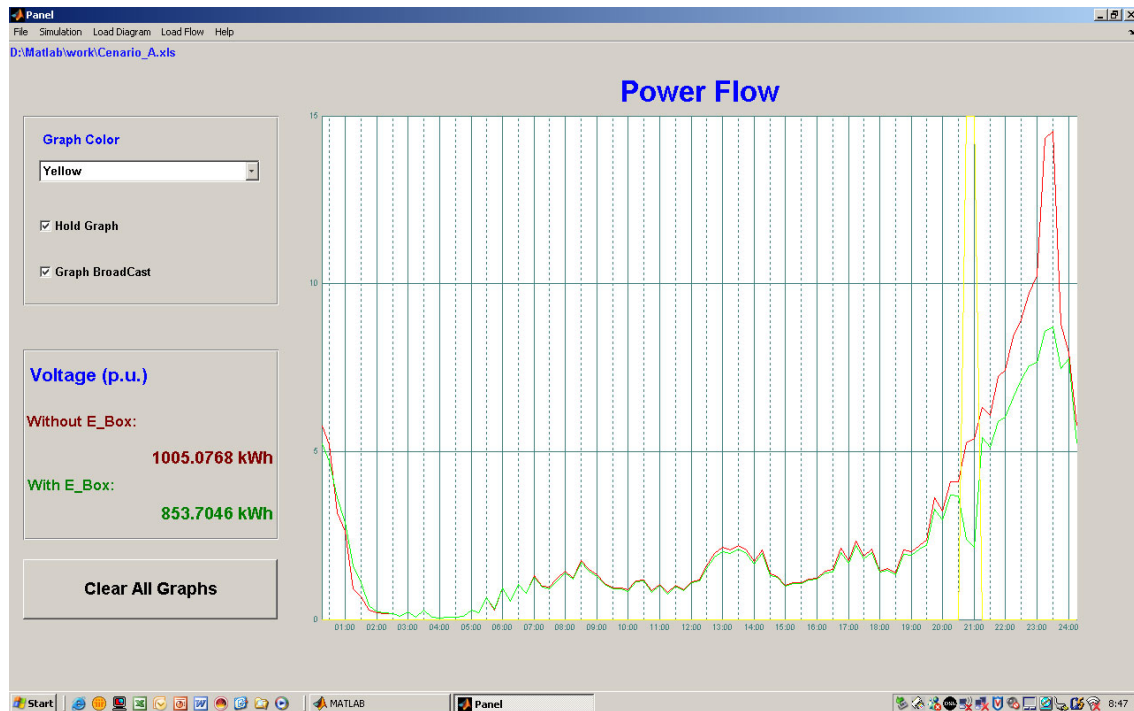


Figura 5.12 - Cenário A, Trânsito de Potências na Linha que une os Barramentos 1 e 2

Se for dilatado o período de 'BroadCast' por mais 60 minutos, passando dos 30 minutos do cenário A para os 90 minutos do cenário B, obtém-se com o uso da "Energy Box" uma redução do consumo ligeiramente maior da ordem dos 0.849 MWh, como mostra a figura 5.13 resultante da simulação para o cenário B

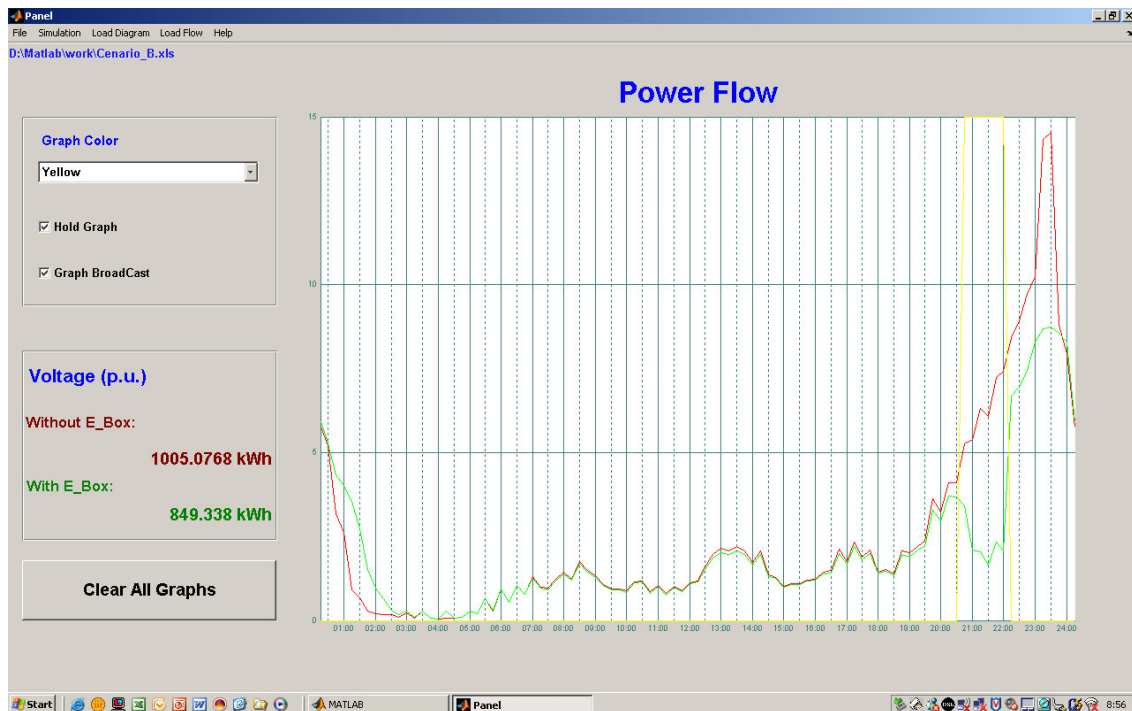


Figura 5.13 - Cenário B, Trânsito de Potências na Linha que une os Barramentos 1 e 2

A comparação dos cenários A e B está bem patente na figura 5.14. À partida pode-se concluir, com base nos resultados da simulação, que o descongestionamento das linhas é notória durante e após o 'BroadCast', situação que se espera na prática com a utilização da "Energy Box" por parte dos consumidores.

Obviamente que os resultados promissores que se podem inferir da utilização da "Energy Box" ao nível do Trânsito de Potências, trazem também benefícios para o operador de rede já que ao diminuir o Trânsito de Potência nas linhas permite também que o dimensionamento do sistema eléctrico de energia seja feito de forma mais económica.

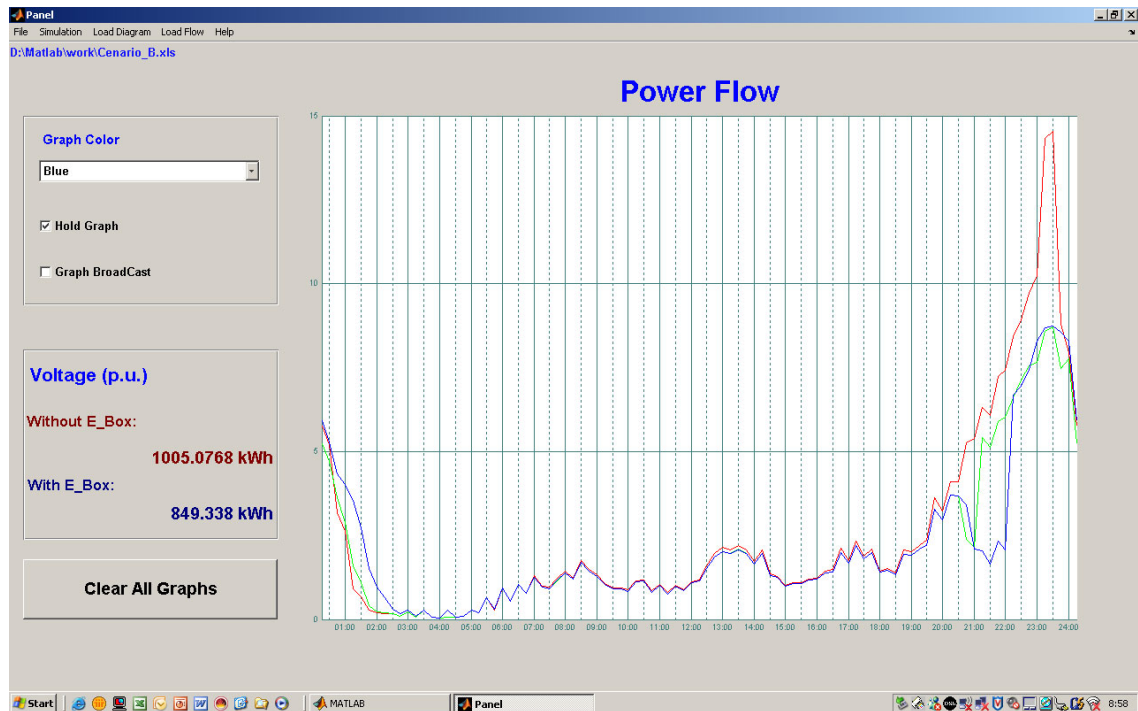


Figura 5.14 - Comparação entre Cenário A e Cenário B, Trânsito de Potências na Linha que une os Barramentos 1 e 2

A figura 5.15 mostra o resultado da simulação do cenário C, em que o 'BroadCast' ocorre no período em que se verifica um maior pico de consumo. Este pico é significativamente reduzido, sendo como que diluído nas horas que se seguem ao final do 'BroadCast'.

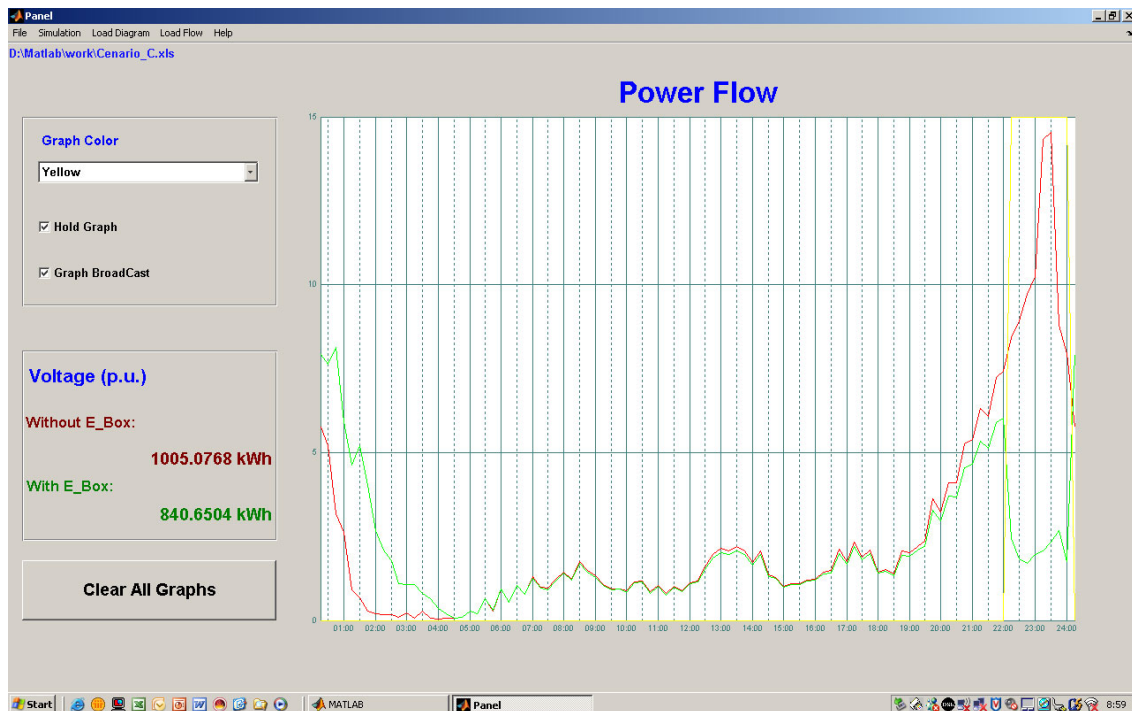


Figura 5.15 - Cenário C, Trânsito de Potências na Linha que une os Barramentos 1 e 2

O efeito de se ter dois sinais de 'BroadCast' de idêntica duração a ocorrer em diferentes períodos do dia é mostrada na figura 5.16. Também nesta situação é notória o descongestionamento em termos de trânsito de potência da linha que liga os barramentos 1 e 2.

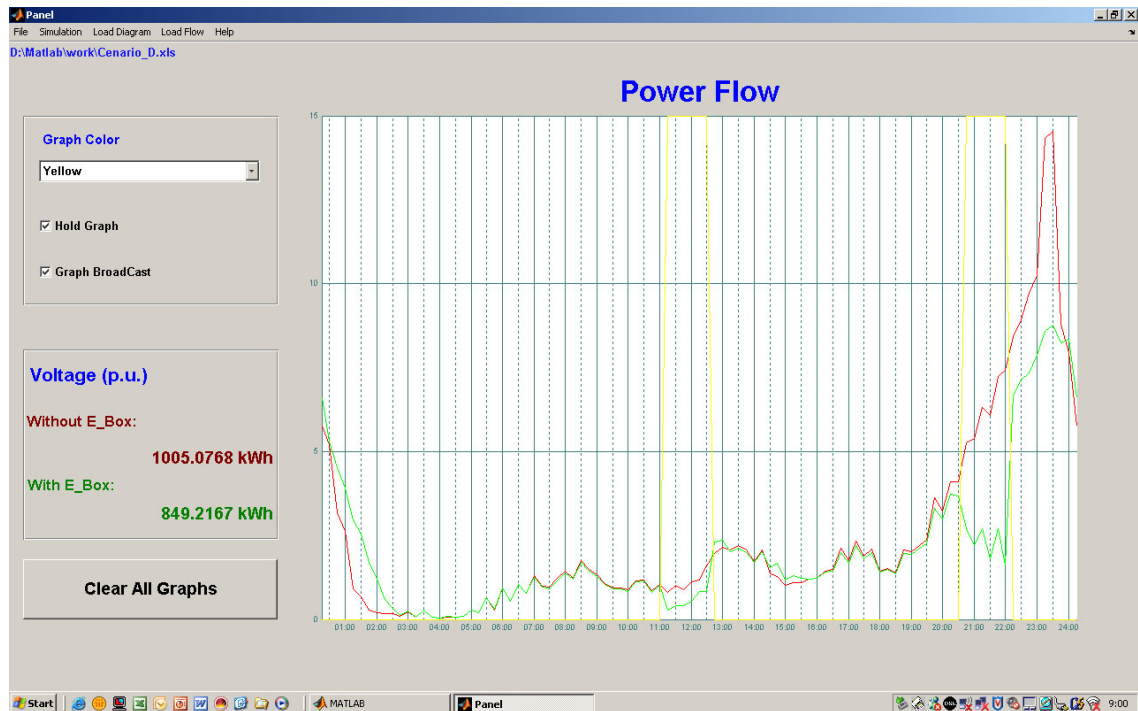


Figura 5.16 - Cenário D, Trânsito de Potências na Linha que une os Barramentos 1 e 2

5.4 - Perdas nas Linhas

Ao nível das perdas nas linhas os resultados obtidos com o simulador são também promissores, podendo-se desde já inferir que a utilização da "Energy Box" por um grande número de consumidores tem impacto ao nível da redução de perdas na rede. Nesta análise, tal como foi feito para o trânsito de potências vai considerar-se a variação das perdas ao longo do dia na linha que liga os barramentos 1 e 2.

Refira-se também que os valores obtidos na simulação para as perdas, tal como referido para as tensões nos barramentos e trânsitos de potências nas linhas, devem entender-se como orientativos pelo facto de não se ter tido em conta as simultaneidades entre os vários consumidores tipo aquando da introdução dos dados no ficheiro de cenários.

Assim para o cenário A, (figura 5.17) e para um 'BroadCast' de apenas 30 minutos a ocorrer entre as 20 horas e 30 minutos e as 21 horas, a utilização da "Energy Box" permite uma redução diária das perdas de 14.556 kWh para os 6.0307 kWh, ou seja uma redução à volta dos 50% com base nos resultados do simulador.

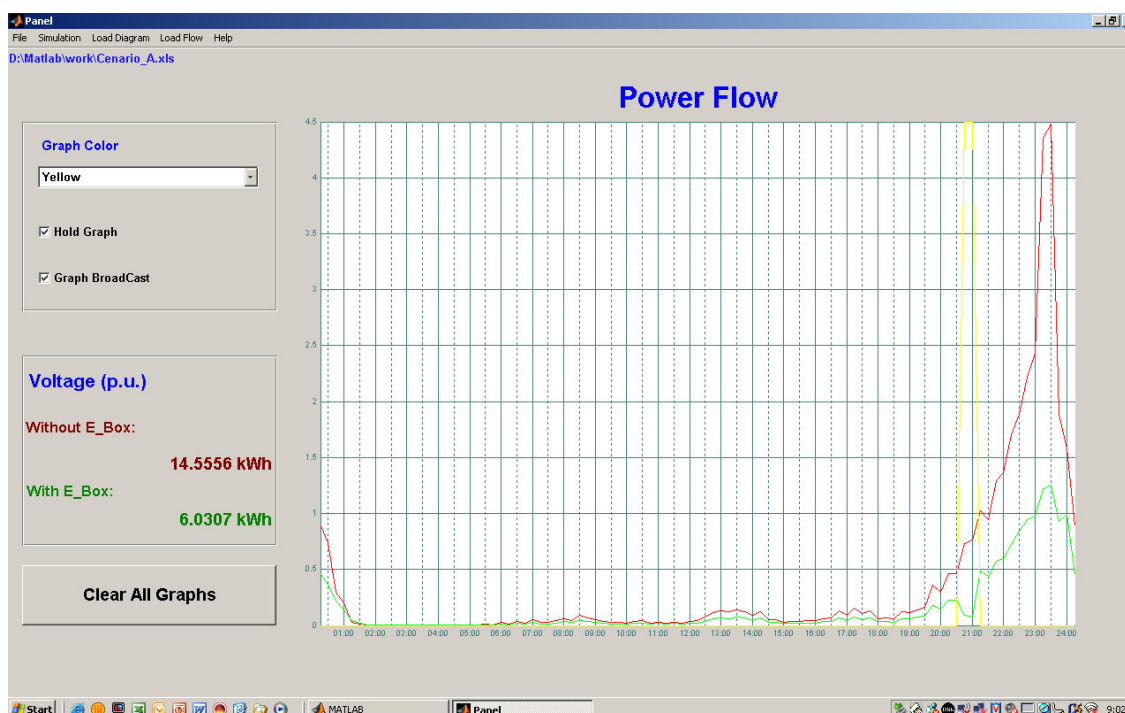


Figura 5.17 - Cenário A, Potências de Perdas na Linha que une os Barramentos 1 e 2

O alargamento do sinal de 'BroadCast' emitido pelo operador de rede de 30 para 90 minutos (cenário B) acarreta uma diminuição de perdas ligeiramente maiores conforme se pode constatar no gráfico da figura 5.18.

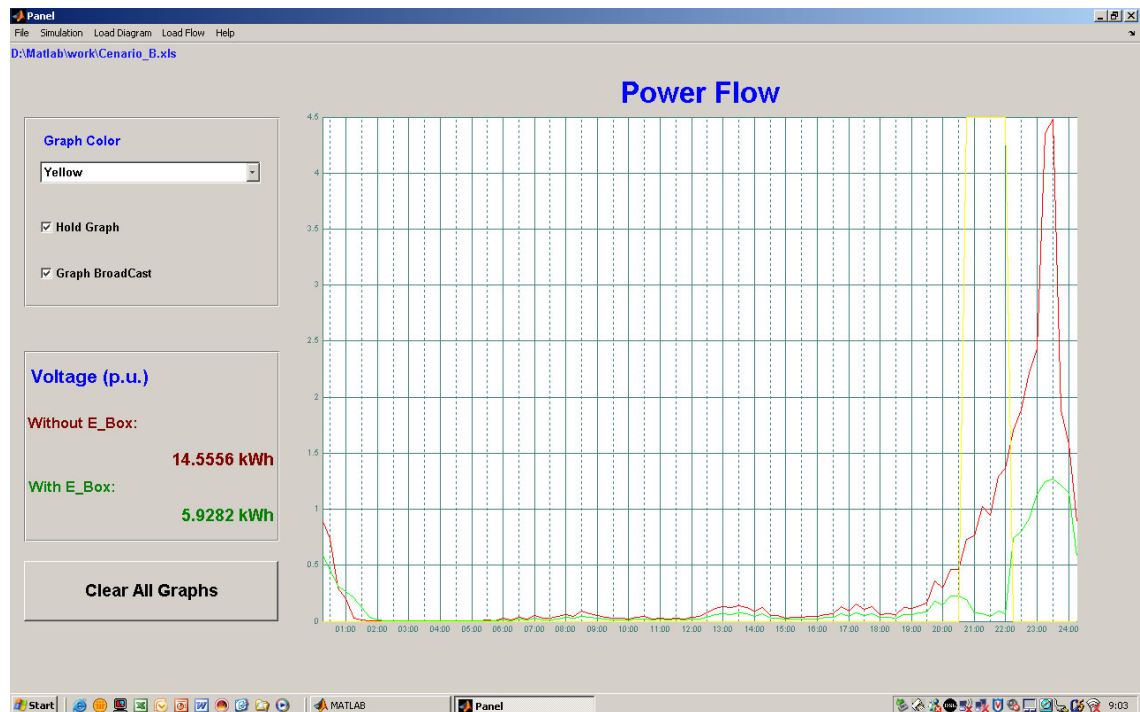


Figura 5.18 - Cenário B, Potências de Perdas na Linha que une os Barramentos 1 e 2

Comparando os dois cenários (figura 5.19), pode-se inferir com base na simulação que, nem sempre a um aumento do período do sinal de 'BroadCast' enviado pelo operador de rede se traduz numa redução significativa das perdas. Com efeito, a um aumento de 300% na duração do 'BroadCast', apenas se traduziu numa redução de perdas da ordem dos 2%. Este facto deve levar o operador de rede a concluir que deve enviar sinais de 'BroadCast' de duração não exageradamente longa. Note-se que esta conclusão, também se pode tirar ao nível dos trânsitos de potência.

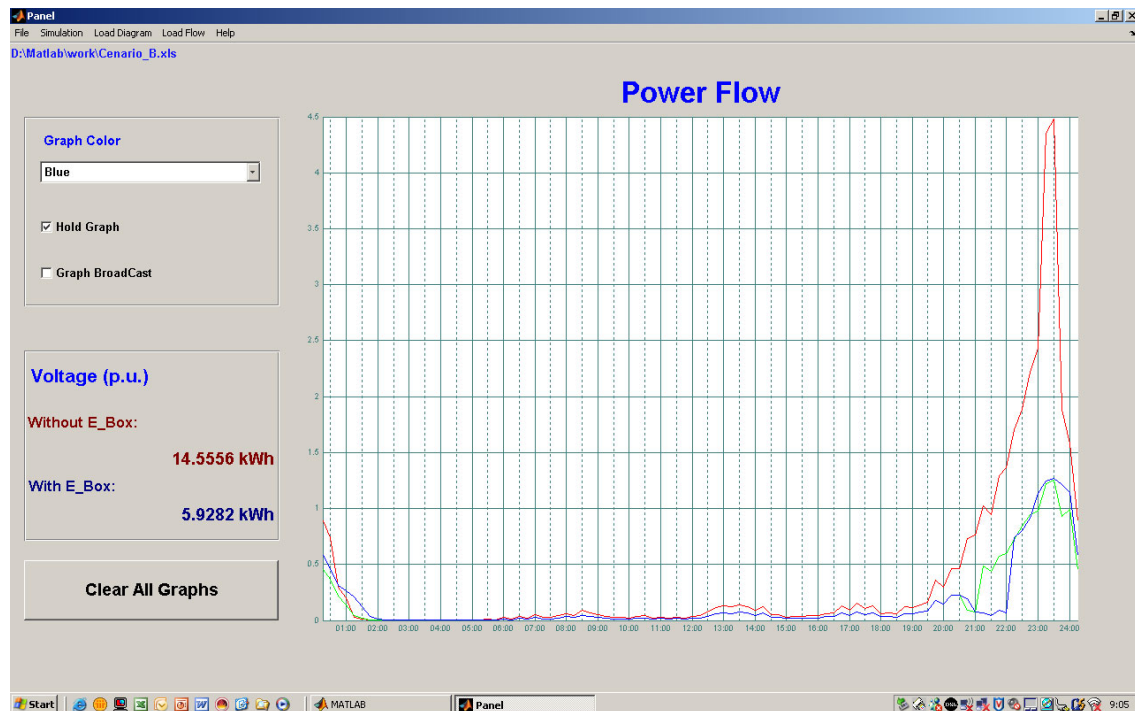


Figura 5.19 - Comparação entre Cenário A e Cenário B, Potências de Perdas na Linha que une os Barramentos 1 e 2

No cenário C (figura 5.20) em que o operador de rede enviou o sinal de 'BroadCast' na altura em que se verificou o pico de consumo a redução de perdas aumentou face ao cenário A de 2 para 20%. Note-se que a duração do 'BroadCast' neste cenário face ao cenário A quadruplicou. Mais uma conclusão a inferir daqui: o sinal de 'BroadCast' a enviar pelo operador de rede deve ser de curta duração e deve coincidir com os períodos em que se verifiquem picos de consumo.

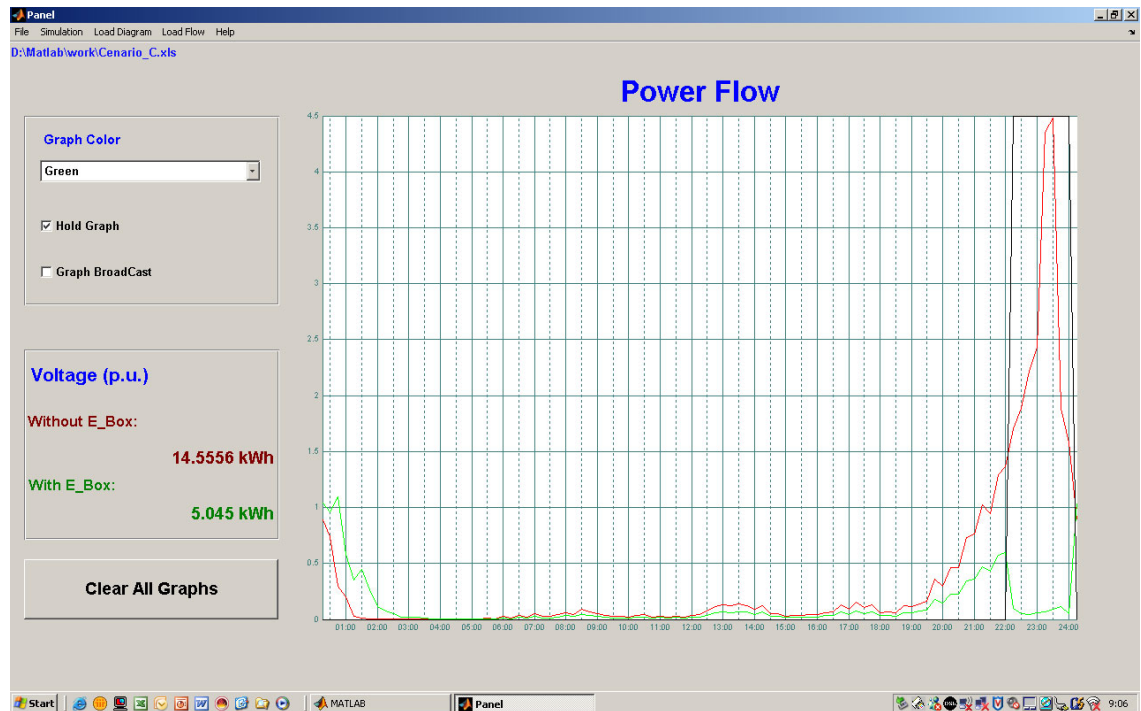


Figura 5.20 - Cenário C, Potências de Perdas na Linha que une os Barramentos 1 e 2

Por último o efeito de enviar dois sinais de 'BroadCast' de duração igual, mas em diferentes periodos do dia, tem o impacto que a figura 5.21 documenta. Decerto resultados mais animadores se teria obtido, ao nível das perdas, neste cenário (cenário D) se o segundo 'BroadCast' tivesse coincidido com o pico de consumo.

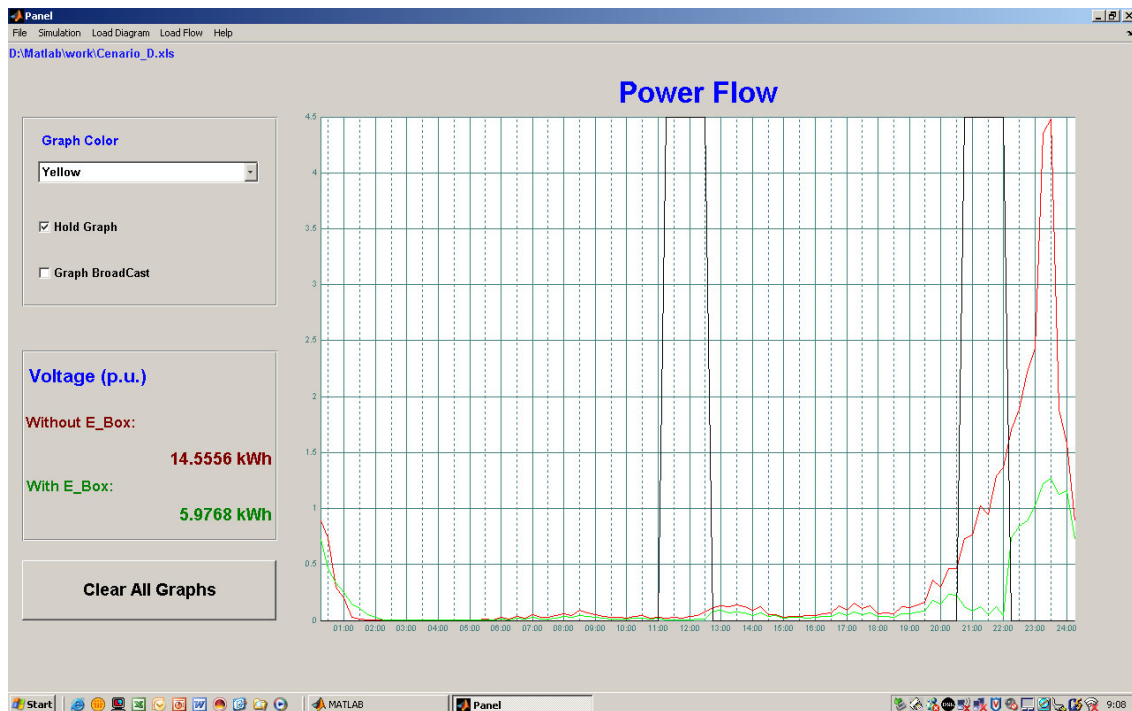


Figura 5.21 - Cenário D, Potências de Perdas na Linha que une os Barramentos 1 e 2

A tabela seguinte resume todos estes resultados obtidos com o simulador:

Cenário		BroadCast	Energia Consumida Consumidor T1(kWh)	Nível de tensão ni Barramento 14 (p.u.)	Trânsito de Potência na Linha 1_2 (kWh)	Perdas na Linha 1_2 (kWh)
A	S/ Ebox	20:30-21:00	7,0615	0,565	1005,08	14,56
	C/ Ebox		7,0652	0,750	853,70	6,03
B	S/ Ebox	20:30-22:00	7,0615	0,565	1005,08	14,56
	C/ Ebox		7,0721	0,750	849,34	5,93
C	S/ Ebox	22:00-24:00	7,0615	0,565	1005,08	14,56
	C/ Ebox		7,0894	0,750	840,65	5,05
D	S/ Ebox	11:00-12:30&20:30-22:00	7,0615	0,565	1005,08	14,56
	C/ Ebox		6,8554	0,750	849,22	5,98

Tabela 5.1 — Tabela Resumo dos Resultados obtidos com o Simulador

Capítulo 6

Conclusões e Desenvolvimento Futuro

Tal como foi demonstrado ao longo do desenvolvimento desta Dissertação, os benefícios da utilização da "Energy Box" por um conjunto de consumidores residenciais numa rede eléctrica são inúmeros já que ao atenuar os picos de procura que se verificam em alguns períodos do dia, transferindo essa energia para outros períodos menos críticos do Diagrama de Carga, trás não só vantagens do ponto de vista da operacionalidade do sistema eléctrico, mas também vantagens económicas e ambientais na medida em que se atrasa ou mesmo evita investimentos no sentido de se aumentar a capacidade instalada de produção de energia eléctrica.

O fim último deste trabalho era o de desenvolver um simulador que permitisse avaliar o impacto da "Energy Box" numa rede eléctrica com consumidores domésticos. O simulador desenvolvido permite demonstrar que há vantagens significativas no uso da "Energy Box", quer ao nível do diagrama de cargas, do trânsito de potências nas linhas, das perdas nas mesmas e nas tensões nos ramos. Compreender-se-á no entanto que sendo a "Energy Box" um equipamento configurável, que toma decisões de desligar cargas ou retardar o funcionamento de determinados equipamentos eléctricos, tendo em conta um vasto conjunto de dados que inclui não só os dos equipamentos dos consumidores e das solicitações do operador de rede mas também das preferências pessoais desses mesmos consumidores, é desde já um equipamento complexo do ponto de vista do seu funcionamento e de modelização.

Ora desenvolver um simulador que permita simular um equipamento que já por si tem um modo de funcionamento configurável como que 'a pedido', é uma tarefa exigente. Contudo, no limite a "Energy Box" desliga alguns equipamentos eléctricos ou retarda a sua entrada em

funcionamento. Neste aspecto, o simulador desenvolvido e a "Energy Box" são similares, permitindo assim ao utilizador ver o impacto da utilização da "Energy Box" na rede eléctrica. Contudo, os critérios que foram implementados no simulador, apesar de poderem ser configurados na "Energy Box", representam apenas parte das potencialidades desta. Fica no entanto em aberto a possibilidade de se implementarem mais níveis de decisão no simulador com o intuito de se conseguir que ele traduza o mais fielmente possível o comportamento da "Energy Box".

A título de exemplo, seria futuramente interessante avaliar o impacto da utilização da "Energy Box" numa rede com consumidores trifásicos, para se poder inferir de que forma a gestão activa de cargas tem implicações ao nível do equilíbrio ou desequilíbrio do sistema trifásico.

O desenvolvimento de um contador inteligente do género da "Energy Box", que tendo a capacidade de comunicar com todos os equipamentos eléctricos dos consumidores domésticos e também com o operador de rede em tempo real por forma a gerir os consumos de maneira eficiente, representa, sem sombra de dúvida, um marco importante na mudança de paradigma que se exige cada vez mais na gestão do sistema eléctrico de energia em que os consumidores terão um papel mais activo fazendo com que a procura de energia seja determinada pela oferta e não o inverso. Neste contexto espera-se que o simulador desenvolvido com esta Dissertação venha dar mais ênfase às vantagens económicas e ambientais da utilização da "Energy Box".

Referências

Adilov, N. (2004). *Richard E. Schuler, William D. Schulze, and David E. Toomey. The Effect of Customer Participation in the Electricity Markets: An Experimental Analysis of Alternative Market Structures*. Paper presented at the Proceedings of the 37th Hawaii International Conference on System Sciences.

Barbose, G. (2004). Charles Goldman, and Bernie Neenan. A Survey of Utility Experience with Real Time Pricing. *Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory*.
BBC. (2006). Mark Kinver, Bringing meters out of the closet [Electronic Version]. *BBC News, Science & Technology*. Retrieved January 5, 2008 from <http://news.bbc.co.uk/go/pr/fr/-/1/hi/sci/tech/4754109.stm>.

Black, J.W. and R.C. Larson (2007). "Strategies to Overcome Network Congestion in Infrastructure Systems," *Journal of Industrial and Systems Engineering*, Vol. 1, No. 2, pp 97-115.

Brattle. (2007). A. Faruqui, R. Hledik, S. Newell, J. Pfeifenberger, Brattle Group Discussion Paper: The Power of Five Percent--How Dynamic Pricing Can Save \$35 Billion in Electricity Costs [Electronic Version]. May 16, 2007. Retrieved November 9, 2007 from http://www.brattle.com/_documents/UploadLibrary/Upload574.pdf.

DOE. (2006). *Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them: A Report to the United States Congress Pursuant to Selection 1252 of the Energy Policy Act of 2005*

Duncan, R. (2005). Energy Efficiency as a Resource, Presentation to the ACEEE 3rd National Conference. Austin Energy.

Harbaugh, W. (2005). Discussion Draft of Critical Peak Pricing Pilot Design, MADRI Presentation BRG, A Constellation Energy Group.

Katzev, R., and Johnson, Theodore. (1987). *Promoting Energy Conservation: An Analysis of Behavioral Research*. Boulder, CO: Westview Press.

Lovins, A. (2007). Advanced Energy Efficiency: Implementation. retrieved from: iTunesU (online): Stanford University, Civil and Environmental Engineering Department.

MIT. (1980). F.C. Schweppe, R.D. Tabors, J.L. Kirtley, Jr., H. Outhred, F.H. Pickel, and A.J. Cox, Homeostatic Utility Control. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-99, No. 3(May/June 1980), 1151-1163.

MIT – Portugal Program – *Achieving Energy Efficiency through Behavioural Economics and Energy Box Technology Implementation* (White Paper). Kathy Donnelly, Daniel Livengood.

nuclear.net. (2008). Nuclear Power Education. *Cost of Nuclear Power* Retrieved January 2, 2008, from <http://nuclearinfo.net/Nuclearpower/WebHomeCostOfNuclearPower>

Parker, D. (2006, August 2006). *David Hoak, Alan Meier, and Richard Brown, How Much Energy Are We Using? Potential of Residential Energy Demand Feedback Devices* Paper presented at the Proceedings of the 2006 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Asilomar, CA.

Stone, J. (2007, July 19, 2007). Smart Meter installation marches on: Many municipalities to see total installation by end of year. *newsdurhamregion.com*.

Taylor, T. N. (2005). Peter M. Schwarz, James E. Cochell. "24/7 Hourly Response to Electricity Real-Time Pricing with up to Eight Summers of Experience," *Journal of Regulatory Economics, Spring Science + Business Media, Inc. 2005* 27(3), 235-262.

UtiliPoint. (2007). Real Time Pricing: A Pricing and Demand Response Practice Publication from <http://www.utilipoint.com/>