



FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA INFORMÁTICA

RELATÓRIO FINAL DE ESTÁGIO

*Automating Energy with the
Internet of Things*

Autor:

João Barbosa

jpbarb@student.dei.uc.pt

Orientadores:

Professor **Raul Barbosa**

Mestre **Rafael Jegundo**

Tese submetida para o Grau de Mestre em Engenharia Informática

2 de Julho de 2013

Resumo

Nos últimos anos, as preocupações energéticas têm aumentado devido não só a fatores económicos como também devido a outras questões como o ambiente. De acordo com estudos, o *standby* residencial corresponde a 9% de todo o consumo anual. Nesta tese de Mestrado, é apresentada uma solução de *Home Energy Management* que possibilita um aumento do potencial de poupança energética, comparando com os sistemas de recomendação atuais. Esta solução está integrada num sistema de atuação através de uma plataforma alojada na *cloud* e de medidores controlados remotamente. Estes últimos irão recolher consumos dos equipamentos elétricos para que a nova plataforma os possa aprender. Posteriormente, e através de um sistema de previsão de consumos, a nova solução irá eliminar o *standby* dos equipamentos quando normalmente não se encontram em uso.

Palavras chave: *Internet of Things*, Eliminação do *standby*, Domótica, Eficiência Energética, *Home Energy Management*

Abstract

Over the last few years, the energy concerns have been increasing due not only to economic issues but also due to other questions like the environment. According to some studies, in Europe, the residential standby consumptions correspond to 9% of the entire anual consumption. In this Master thesis, I present a novel solution of Home Energy Management, which unlocks saving potential beyond the usual feedback systems. This solution is totally integrated in the cloud, using energy meters controlled remotely, which will learn the consumption habits for an appliance through a complex data analysis system, in order to save the standby consumption when not in use.

Keywords: Internet of Things, Standby Elimination, Domotics, Energy Efficiency, Home Energy Management

Agradecimentos

Foram sinuosos os corredores da Universidade de Coimbra. Por vezes becos, por vezes desconhecidos, por vezes boémios e outras vezes sem fim. No entanto, apesar da saudade que já se sente, há que relembrar aqueles que não quiseram ser indiferentes e que nos guiaram de uma forma ou de outra por este labirinto.

Por mais simples que pareça, os agradecimentos são a parte difícil, principalmente por aqueles que pertenceram à minha vida, mas que agora se afastam a cada dia.

Em primeiro, obrigado à unplugg, pelo ambiente com que me receberam e por me mostrarem que vale a pena acreditar no futuro. Agradeço a toda a equipa por serem bem mais que simples colegas e porque sem eles este trabalho não teria sido possível. Ao Jorge por mostrar que não há impossíveis e ao Rui Magalhães por ser o exemplo de um verdadeiro colega e amigo tornando o percurso deste projeto menos difícil. Ao Rafael, que sempre teve uma voz ativa alertando-me dos meus erros, agradeço o exemplo de liderança, coragem e excelente orientação. Deixo aos membros desta equipa os meus desejos de boa sorte no sucesso de todo o seu trabalho.

Ao Professor Raul Barbosa, agradeço a orientação, a boa disposição e o tempo que dispôs para me acompanhar na componente académica deste estágio.

Agradeço aos meus pais pela paciência, pelo tempo, pela compreensão, pela educação que me deram, e pela pessoa que me tornaram hoje.

À minha irmã, agradeço pelo caminho que desbravou à minha frente, pela paciência em criança e pelo ombro que sempre ofereceu.

Agradeço aos meus avós, que embora tenham partido cedo de mais da forma que menos mereciam, cuidaram de mim mais do que deviam.

Aos meus amigos de que tanto me orgulho, por os ter conhecido, por estarem lá sempre que foi preciso e serem o expoente da palavra amizade, obrigado! Particularizar é sempre injusto, mas há sempre aqueles que nos acompanham desde que temos memória, há sempre aqueles que nos estenderam a mão quando batemos no fundo e há sempre aqueles que são os verdadeiros amigos.

Agradeço à minha banda que foi uma segunda família, que me alegrou e divertiu todas as semanas.

Por fim, agradeço a todos os que me acompanharam ao longo destes anos e que marcaram não só o meu percurso académico mas também a minha vida pessoal.

There are two rules for success: 1) Never tell everything you know.
Roger H. Lincoln

Conteúdo

Resumo	ii
Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas	xii
Lista de Acrónimos	xv
1 Introdução	1
1.1 Objetivos	1
1.2 Contexto	2
1.3 Motivação	2
1.3.1 unplugg	6
1.3.2 Âmbito do estágio	6
1.3.3 Visão Técnica	8
1.4 Estrutura	10
2 Estado da Arte	11
2.1 Energia	11
2.1.1 Introdução	11
2.1.2 SmartGrid	12
2.1.3 Demand and Response	13
2.1.4 Advanced Meter Infrastructure	15
2.1.5 Home Energy Management	15
2.2 Soluções HEM	18
2.2.1 Soluções Hardware	18
2.2.2 Soluções Software	24
2.2.3 Soluções Mistas	27
2.2.4 Resumo	28
2.3 Controlo Inteligente	28
2.3.1 Internet of Things	28

2.3.2	Soluções de Automação	29
2.3.3	Previsão de Consumos Energéticos	32
2.3.4	Resumo	36
3	Metodologia	37
3.1	Requisitos	37
3.1.1	Definição e motivação	37
3.2	Arquitetura	38
3.2.1	<i>Drivers</i> Arquiteturais	38
3.3	Desenvolvimento de <i>Software</i>	38
3.3.1	<i>Kanban</i>	39
3.3.2	Vertente <i>Lean Software Development</i>	40
3.3.3	Ferramentas	41
3.4	Testes	42
3.4.1	Especificação	42
3.5	Planeamento	42
3.5.1	Primeiro Semestre	42
3.5.2	Segundo Semestre	43
3.5.3	Execução do planeamento	44
4	Visão do Produto	47
4.1	Especificação Funcional	47
4.1.1	Análise de Requisitos	47
4.2	Análise de Riscos	48
4.2.1	Listagem sumária dos riscos	48
4.2.2	Riscos Verificados	48
5	Arquitetura	50
5.1	unplugg	51
5.2	Nova Plataforma	51
5.2.1	<i>Drivers</i> Arquiteturais	51
5.2.2	Módulos e Serviços	53
5.2.3	Implementação	59
6	Verificação	65
6.1	Aprendizagem	65
6.1.1	Cenário 1	66
6.1.2	Cenário 2	66
6.1.3	Cenário 3	67
6.2	Conectividade	68
6.2.1	MongoLab	68

6.2.2	Third Party Servers	69
6.2.3	Iron.Io	69
6.3	Segurança	70
6.3.1	Node.js	70
6.3.2	Conexões	72
6.4	Viabilidade do Processo de Aprendizagem	73
6.5	KPI	75
6.6	Testes	75
7	Validação	77
7.1	Utilizador	77
7.1.1	Inquéritos	77
7.1.2	Problemas	77
7.1.3	Resultados	77
7.2	Serviço	79
8	Conclusão	82
8.1	Trabalho Futuro	83
A	<i>User Stories</i>	91
A.1	Administrador	91
A.2	Utilizador	92
B	Diagramas de Gantt	94
C	Análise de riscos	98
C.1	Equipamentos	98
C.2	Utilizadores de teste	100
C.3	Deploy	101
D	Node.js Performance	102
E	Aprendizagem	104
E.1	Testes Configuração da Rede Neuronal Artificial	104
E.1.1	Parâmetros testados	104
E.1.2	Metodologia de testes	105
E.1.3	Testes com dados sintéticos	106
E.1.4	Testes com dados reais	107
E.2	Aplicação das regras	108

F	Iron.Io	113
F.1	Planos Existentes	113
F.2	Configuração IronWorker	113
F.3	Retorno	114
G	Testes	118
G.1	Listagem do <i>spec</i> dos testes unitários	118
G.2	Listagem do <i>spec</i> dos <i>acceptance tests</i>	121
H	Inquéritos	123
H.1	Inquérito	123
H.2	Respostas	123

Lista de Figuras

1.1	Percentagem de ganhos de eficiência energética desde 2000 [6]	3
1.2	Instalação dos <i>smart meters</i> nos EUA [13].	5
2.1	Impacto da eficiência energética no <i>load profile</i> [26]	14
2.2	Impacto de Demand and Response no <i>load profile</i> [26]	14
2.3	Fornecimento de energia em função do tempo, mostrando as mudanças de consumo e respetivas assinaturas dos equipamentos [34].	17
3.1	Listagem de tarefas do primeiro semestre com o respetivo esforço, data de início e fim.	43
3.2	Listagem de tarefas planeadas do segundo semestre com o respetivo esforço, data de início e fim.	45
3.3	Listagem de tarefas executadas no segundo semestre com o respetivo esforço, data de início e fim.	46
5.1	Arquitetura da plataforma unplugg.	52
5.2	Arquitetura geral de todo o sistema	54
5.3	Arquitetura da nova plataforma.	56
5.4	Arquitetura de uma instância do <i>IronWorker</i>	59
5.5	Arquitetura de Node.js	60
5.6	Preparação dos dados e introdução dos mesmos na rede neuronal.	62
5.7	Lógica interna do módulo de aprendizagem e ligações com os serviços externos (RNA - Rede Neuronal Artificial).	64
6.1	Planos do IronWorker. p0 trata-se do plano grátis e p3 o plano mais dispendioso	74
6.2	<i>Dashboard</i> com as KPI para os administradores	75
7.1	Exemplo de <i>e-mail</i> recebido semanalmente pela equipa, com as KPI globais e individualizadas por utilizador.	81
B.1	Plano de trabalho para o primeiro semestre.	95

B.2	Plano de trabalho para o segundo semestre.	96
B.3	Execução do plano de trabalho para o segundo semestre. As <i>milestones</i> a vermelho representam o seu incumprimento. . . .	97
E.1	Probabilidade de consumo ao longo do dia acima do <i>standby</i> (ativo) durante o fim-de-semana.	108
E.2	Valor resultante da aplicação do f_1Score à <i>confusion matrix</i> de cada teste onde foi variado o número de neurónios da camada escondida.	109
E.3	Tempo de execução de cada teste variando o número de neurónios da camada escondida.	110
E.4	Aplicação das regras no cenário 1 (6.1.1). A verde encontram-se os consumos reais, e a vermelho os consumos eliminados pelas regras. O eixo dos yy encontra-se em W.h.	111
E.5	Aplicação das regras no cenário 2 (6.1.2). A verde encontram-se os consumos reais, e a vermelho os consumos eliminados pelas regras. O eixo dos yy encontra-se em W.h.	111
E.6	Aplicação das regras no cenário 3 (6.1.3). A verde encontram-se os consumos reais, e a vermelho os consumos eliminados pelas regras. O eixo dos yy encontra-se em W.h.	112
F.1	Retorno financeiro para a empresa, utilizando o plano p1 e assumindo um custo de €0.50 pelo serviço para o cliente. Aos 1000 clientes o plano atinge a sua carga máxima.	115
F.2	Retorno financeiro para a empresa, utilizando o plano p2 e assumindo um custo de €0.50 pelo serviço para o cliente. Este plano é mais rentável dos 1000 aos 3000 clientes (ponto em que atinge a sua carga máxima).	116
F.3	Retorno financeiro para a empresa, utilizando o plano p3 e assumindo um custo de €0.50 pelo serviço para o cliente. Este plano é mais rentável dos 3000 aos 10000 clientes (ponto em que atinge a sua carga máxima).	117
H.2	Respostas do inquérito apresentado aos utilizadores de teste. .	123
H.1	Inquérito apresentado aos utilizadores de teste.	124

Lista de Tabelas

1.1	Investimento das maiores <i>utilities</i> Norte Americanas	5
2.1	Comparação do número máximo de pontos que se pode retirar por cada pedido, através da API da Xively	19
2.2	Comparação das soluções propostas na secção de HEM, abordadas e estendidas do estudo [42] em conjunto com as soluções de automação.	33
2.3	Comparação da percentagem de erro absoluto médio entre algoritmos ANN e <i>time series</i> [45].	34
5.1	Configurações da rede neuronal artificial obtidas depois da realização dos testes.	63
6.1	Métricas relativas à deteção de padrões para os dados de uma <i>plug</i> real. Treino de 3 semanas, testado para a semana seguinte.	66
6.2	Métricas relativas à adaptação do sistema (após o cenário da tabela 6.1) à adição de um pico de consumo simulado ao fim de uma semana.	67
6.3	Métricas relativas à adaptação do sistema (após o cenário da tabela 6.1) à adição de um pico de consumo simulado ao fim de duas semanas.	67
6.4	Dados usados na previsão da escalabilidade do <i>IronWorker</i>	73
6.5	Tabela do <i>break-even</i> do preço por cliente para cada plano, assumindo €1 como poupança média mensal de cada utilizador. A vermelho encontram-se os planos inviáveis economicamente para o número de clientes.	74
7.1	KPI resultantes para os 3 <i>beta-testers</i> da plataforma.	79
D.1	Respostas por segundo a 20 <i>queries</i> por pedido a partir da Amazon EC2.	102
D.2	Respostas por segundo a 20 <i>updates</i> por pedido a partir da Amazon EC2.	103

D.3	Pico de respostas ao acesso à base de dados por segundo, a partir da Amazon EC2 numa única <i>query</i>	103
E.1	Resultados do F_1Score para dados sintéticos, variando o erro máximo.	106
E.2	Resultados do F_1Score para dados sintéticos, variando o número máximo de <i>epochs</i>	106
E.3	Resultados do F_1Score para dados sintéticos, variando o intervalo de <i>epochs</i>	107
E.4	Resultados do F_1Score para dados sintéticos, variando o o número de camadas escondidas e neurónios.	107
E.5	Resultados do F_1Score para dados reais, variando o número de camadas escondidas e neurónios	109
E.6	Resultados do F_1Score para dados reais, variando o número máximo de <i>epochs</i>	110
E.7	Resultados do F_1Score para dados reais, variando o intervalo de <i>epochs</i>	110
F.1	Planos atualmente existentes para o serviço IronWorker	113

Lista de Acrónimos

AMI	Advanced Meter Infrastructure
API	Application Programming Interface
DR	Demand and Response
HEM	Home Energy Management
IaaS	Infrastructure as a Service
IoT	Internet of Things
ISA	Intelligent Sensing Anywhere
KPI	Key Performance Indicator
MVP	Minimum Viable Product
PaaS	Platform as a Service
REST	REpresentational State Tranfer
RoR	Ruby on Rails
SDK	Software Development Kit
UE	União Europeia
URL	Uniform Resource Locator
VPS	Virtual Private Server
WEP	Wired Equivalent Privacy
WPA	Wi-Fi Protected Access
WPS	Wi-Fi Protected Setup

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo introdutório, irá ser contextualizada toda a temática desta tese de Mestrado, bem como clarificado qual o âmbito, objetivos e motivação que justifica todo o investimento do estágio. Durante o percurso desta tese, irei começar com uma visão geral de todo o ecossistema energético e sua gestão no sector residencial, terminando com soluções específicas com diferentes níveis de automação que irão trazer benefícios ao utilizador final.

1.1 Objetivos

O presente projeto tem como objetivo a eliminação do *standby* de equipamentos elétricos, através de um sistema de automação baseado em processos de aprendizagem de padrões de consumo, sem interação humana e totalmente integrado na *cloud*. Este sistema fará uso de dispositivos de monitorização e atuação energéticos, que podem ser controlados remotamente, para alterar o estado dos equipamentos.

O conceito de *standby* consiste nos consumos dos equipamentos elétricos que estão ligados às tomadas e em modo de espera, como por exemplo controlos remotos e temporizadores. Embora estes equipamentos não estejam a desempenhar a função principal para o qual foram desenhados, apresentam sempre um baixo consumo para manter estas funcionalidades base.

A solução proposta neste estágio vai ao encontro da necessidade de sistemas automáticos que substituam a responsabilidade do utilizador e aumentem o conforto ao ligar ou desligar equipamentos. Sabe-se também que os equipamentos elétricos, mesmo apresentando consumos baixos no seu conjunto, representam uma componente significativa ao fim do mês. Porém, o utilizador tende a descurar este facto no curto prazo, dado ser um processo pouco confortável e sem um retorno visível ao fim do mês [1].

Assim, a nova plataforma a desenvolver fará o controlo de equipamentos de forma inteligente sem nunca prejudicar o conforto do utilizador, minimizando a necessidade de interação humana.

1.2 Contexto

A cada ano, tendemos a gastar sempre mais energia (não só elétrica) do que no ano anterior. Na verdade, a energia gasta tem duplicado a cada 20 anos durante o séc. XX. Por exemplo, em 1980 gastou-se 4 vezes mais que em 1935. Até à crise de energia por volta de 1973¹ em que os preços do barril subiram drasticamente, a energia não era uma preocupação, nem nunca tinha sido vista como tal para o futuro. No entanto, a partir desse momento percebeu-se que estávamos perante uma necessidade vital, que teriam de existir preocupações para diminuir o seu consumo e aumentar a sua eficiência, sustentando sempre o crescimento da população e das indústrias.

Apesar de existir um grande número de políticas *supply-side* que influenciam uma maior produção de energia elétrica, atualmente existe uma crescente preocupação por políticas e iniciativas que foquem o aumento da eficiência energética de forma a reduzir a procura de energia e a desacoplá-la do crescimento económico. No último estudo publicado pela *European Environment Agency*, no decorrer do período de 1990 a 2009, a eficiência energética em geral do sector residencial aumentou cerca de 24% nos países da UE-27, com um taxa de 1.4% por ano. Estes resultados devem-se à criação de edifícios e equipamentos mais eficientes. No entanto, no mesmo período, o consumo total de energia aumentou a um ritmo de 4%, sendo que o consumo elétrico cresceu a um ritmo de 1.7% ao ano. Apesar de tudo, a eficiência energética de 2005 a 2009 aumentou 5% - 1.3% por ano - estabilizando o consumo da UE nos últimos anos [2].

1.3 Motivação

Ambiente

Para além de todas as preocupações económicas da UE, existem também grandes compromissos em diminuir o seu consumo de forma a diminuir as emissões de carbono.

Para tal, foi criado um conjunto de objetivos conhecidos como “20-20-20” para 2020 na UE:

¹http://envhist.wisc.edu/cool_stuff/energy/crisis.shtml

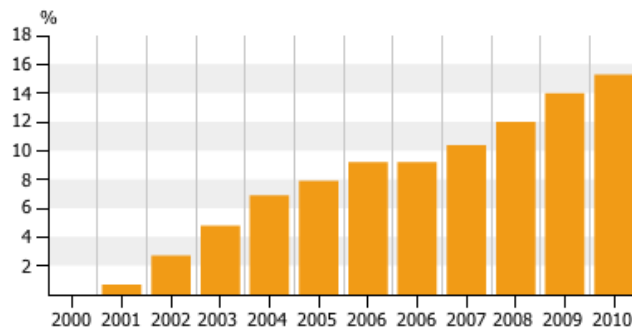


Figura 1.1: Percentagem de ganhos de eficiência energética desde 2000 [6]

- Redução de 20% nas emissões de gás comparando com os níveis de 1990;
- Aumentar a proporção dos consumos energéticos produzidos a partir de fontes renováveis em 20%;
- Melhoria de 20% na eficiência energética.

Estes objetivos traduzem-se numa abordagem que integra tanto preocupações climáticas, como políticas económicas com a finalidade comum de combater as mudanças climáticas, aumentar a segurança da energia e a competitividade da UE [3].

A prova da importância deste tema, são os resultados até agora obtidos (figura 1.1) e os planos já elaborados pela UE para 2050, que estabelecem reduções nas emissões de gases de 80 a 95% comparando com os níveis de 1990. No entanto, e apesar dos progressos já realizados, as soluções existentes ainda não são suficientes para atingir as metas, existindo assim uma necessidade de soluções inovadoras [4][5].

Ao olhar para os objetivos apresentados pela UE, é facilmente observável que o último tópico vem ao encontro da finalidade do estágio, o aumento da eficiência energética.

Margem para poupança

O contexto ambiental atual abre imensas portas para a existência de medidas e consequentes projetos que visem a diminuição dos consumos energéticos. Porém, mais do que contexto, é necessário perceber se existe de facto um sector dentro dos gastos energéticos que seja significativo, que possua desperdícios de energia e que seja possível motivar os responsáveis envolvidos a diminuírem os seus consumos.

De acordo com os dados publicados pelo Eurostat [7] o sector residencial é a terceira maior fatia de consumo elétrico, apresentando uma diminuição da sua eficiência e um aumento do consumo total. O utilizador mais atento, facilmente irá estranhar a diminuição da eficiência com o passar do tempo dado o aumento da eficiência dos equipamentos elétricos [8][9]. Todavia, esta tendência é justificada pelo aumento de pessoas por casa, pelo aumento do tamanho médio das habitações e pelas crescentes exigências de conforto dos seus habitantes.

Com base nestes factos, é possível observar um espaço bastante amplo para encontrar e implementar soluções, que tentem inverter a tendência de aumento dos gastos elétricos domésticos [10]. Mais concretamente, num ambiente residencial existem duas vertentes a analisar: aquecimento (difícil de reduzir sem um bom isolamento, mas possível de o tornar mais barato); e redução dos gastos de consumíveis elétricos [11].

Oportunidade de Económica

Apesar das oportunidades e contexto serem propícios ao sucesso e encaixe de uma solução, há que estudar a viabilidade económica e de mercado a médio e longo prazo das soluções implementadas. Em parte, este estudo já foi previamente realizado pela empresa onde se enquadra o presente estágio. Contudo, é interessante e importante perceber qual o futuro do negócio dada a forte dependência em equipamentos - *smart* e *power meters* - que irão permitir recolher leituras e consequentemente fornecer sugestões pragmáticas e objetivas para cada pessoa. Eventualmente, será possível efetuar algum controlo automático se o equipamento permitir.

Em 2009, a Diretiva da Comissão Europeia (2009/72/EC) estabeleceu um objetivo de instalar *smartmeters* em 80% das residências Europeias [12]. Todavia, apesar dos bons resultados até ao momento por parte da UE e do claro potencial deste ecossistema criado pela tensão económica da crise Europeia [5], a aplicação de medidores está ainda ser feita de uma forma muito lenta.

Do outro lado do Atlântico, os Estados Unidos da América do Norte, já prevêm cerca de 65 milhões de unidades instaladas em 2015, tendo já registados em Maio de 2012, 36 milhões (figura 1.2).

Estes valores são fortalecidos pelo forte investimento por parte das maiores *utilities* Norte Americanas (tabela 1.1) que irão realizar compromissos perante cerca de 15 milhões de casas, fornecendo os devidos equipamentos [14]. Ainda assim, estes valores não conseguem chegar aos 300 milhões previstos para a China em 2016 [15].

É possível verificar as inúmeras oportunidades criadas pelos diversos fa-

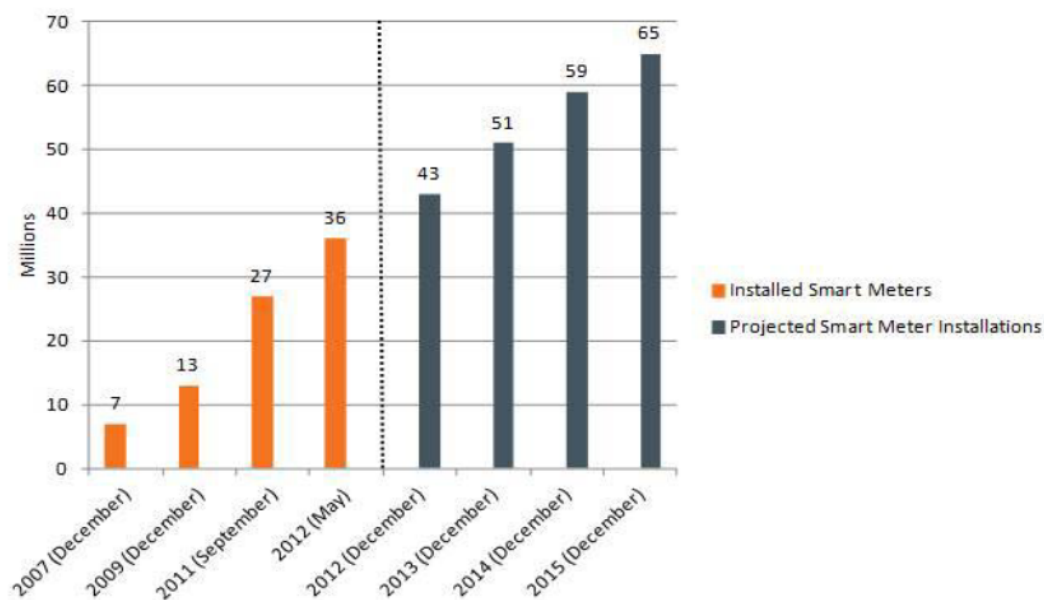


Figura 1.2: Instalação dos *smart meters* nos EUA [13].

Empresa	Descrição
American Electric Power	serve 5.3 milhões de clientes em 11 estados
Austin Energy	400,000 clientes no <i>Texas</i>
Baltimore Gas and Electric	1.2 milhões de clientes em <i>Maryland</i>
CenterPoint Energy	1.8 milhões de casas <i>Texas</i>
Commonwealth Edison	3.4 milhões de casas em <i>Illinois</i>
NSTAR	1.1 milhões de casas em <i>Massachusetts</i>
PECO	1.4 milhões de casas na <i>Pennsylvania</i>
Reliant	1.5 milhões de clientes no <i>Texas</i>
Virginia Dominion Power	2.4 milhões de clientes em <i>Virginia</i> e <i>North Carolina</i>

Tabela 1.1: Investimento das maiores *utilities* Norte Americanas

tores ambientais e económicos que prometem transformar-se em grandes soluções com grande retorno para o planeta e para o consumidor. Os fundos destinados a este tipo de soluções têm aumentado consideravelmente nos últimos anos, não só na Europa, como também por todo o mundo, assegurando um sustento viável à aposta em soluções para o ecossistema da energia, e garantindo consequentemente grandes retornos financeiros - 4.3 mil milhões de dólares em 2016 a nível mundial [16][17].

1.3.1 unplugg

Todo este estágio enquadra-se no *roadmap* da plataforma unplugg², desenvolvida pela empresa Numberdiscover, tendo sido criada em 2011 pelos fundadores Mestre Jorge Santos, Mestre António Pratas e Mestre Rafael Jegundo.

Os objetivos desta empresa passam por através do uso de análise de dados, e aconselhamento específico, oferecer uma experiência em ciclo de monitorização, análise e atuação, que irão permitir ao utilizador poupar dinheiro nos seus custos energéticos residenciais. A unplugg é tendencialmente agnóstica para com o hardware, adquirindo assim uma vantagem competitiva ao não depender de equipamentos específicos, recolhendo dados de *power meters* e outras fontes tais como *Greenbutton*³. Toda esta experiência é baseada segundo uma visão de *Internet of Things* como irá ser analisado mais à frente.

Atualmente a empresa encontra-se fisicamente na Incubadora do Instituto Pedro Nunes em Coimbra e incubada virtualmente na EDP *Starter*, tendo já a sua plataforma de recolha de dados em fase beta pública.

1.3.2 Âmbito do estágio

O âmbito de estágio define que:

- Não é contemplado qualquer desenvolvimento de *hardware*, sendo que todos os dados serão recolhidos através dos equipamentos já integrados e existentes na plataforma unplugg;
- É previsto o desenvolvimento de uma plataforma que possibilite o corte do *standby* de consumíveis elétricos de forma automática e com o mínimo de interação possível por parte do utilizador. Seguem-se os equipamentos passíveis de serem utilizados com a plataforma, desde que permaneçam ligados à mesma tomada durante períodos longos de tempo (vários semanas):

²<http://unplu.gg>

³<http://www.greenbutton.com/>

- Televisores
 - Monitores
 - Computadores de secretária em *standby*
 - Sistemas de som de sala
 - Aquecedores elétricos;
- A incorporação de sensores extra pode ser possível consoante o acesso a API's destes e consoante a evolução do estado da arte neste campo;
 - Não há qualquer envolvimento da restante equipa da empresa na elaboração da plataforma aqui proposta;
 - Os *beta-testers* são previamente escolhidos e que se voluntariam para testar o sistema e fornecer *feedback*, garantindo imparcialidade perante o produto e realizando as suas rotinas diárias normalmente;
 - Sejam recolhidas KPI - *key performance indicators* - relativos às soluções implementadas
 - Os relatórios que contemplam as KPI não sejam trabalhados do ponto de vista da usabilidade e de *user engaging*, interessando apenas os dados;
 - A segurança dos medidores é gerida pelas empresas que detêm os servidores dos mesmos.

Equipamentos

A nova plataforma está pensada para o uso de *power meters* que permitam recolher leituras de consumos e possibilitem o seu controlo remoto. Esta funcionalidade permitirá que o controlo do estado dos equipamentos seja mais eficaz, uma vez que não necessita de qualquer interação por parte do utilizador. No entanto, na falta deste tipo de funcionalidades, é sempre possível recomendar o utilizador a ligar ou a desligar os equipamentos.

Para além das potenciais limitações dos *power meters* em uso, existe a possibilidade de alguns equipamentos não apresentarem padrões de consumo regulares por serem usados espontaneamente ou por simplesmente serem característicos e obrigatoriamente necessários (e.g. frigorífico). Nestes casos, estes equipamentos não fazem parte do âmbito desta tese como já foi referido na listagem apresentada na secção anterior.

1.3.3 Visão Técnica

A visão⁴ tem como objetivo reunir os membros por de trás de uma ideia e fornecer-lhes o contexto necessário para tomadas de decisões. Assim, esta secção relativa à visão técnica irá descrever a perspectiva e requisitos dos *stakeholders* face à solução técnica a ser desenvolvida.

Posicionamento

Descrição do problema

O problema	reside nos gastos desnecessários de energia por equipamentos em <i>standby</i>
Afeta	os consumidores finais e algumas <i>utilities</i> através de consumos pico
Tem impacto	nos gastos de energia por equipamentos em <i>standby</i>
Uma solução	será eliminar consumos desnecessários de forma automática, sem interação do utilizador

Descrição da posição do produto

Destinado a	consumidores finais e <i>utilities</i>
Que	tencionam eliminar o <i>standby</i> e consequentemente reduzir o seu consumo energético
A nova solução	consiste num sistema para eliminar dos gastos de energia por equipamentos em <i>standby</i>
Que	analisa os consumos, deteta padrões, determina o <i>standby</i> e controla os equipamentos
Contrariamente	a soluções de <i>hardware</i> ou <i>software</i> que apenas recolhem e mostram consumos como o <i>Cloogy</i> e <i>Wemo</i>
Esta solução	será totalmente alojada na <i>cloud</i> e automática

⁴<http://epf.eclipse.org/wikis/openup>

Stakeholders

Nome	Descrição	Responsabilidades
unplugg	Empresa de controlo e gestão energética residencial	<ul style="list-style-type: none">• Monitoriza o progresso do projeto• Assegura integração com o serviço unplugg• Assegura manutenção do alojamento• Fornece os requisitos
Consumidor	Habitantes residenciais que detenham equipamentos com consumos de <i>standby</i> representativos	<ul style="list-style-type: none">• Comunica necessidades• Valida o sistema
EDP	Empresa de fornecimento de energia com preocupação pela sua imagem ecológica	<ul style="list-style-type: none">• Comunica necessidades• Fornece dados para validação

1.4 Estrutura

O capítulo 1 deste relatório tem como função familiarizar o leitor com o contexto de todo o trabalho e a problemática da energia, fazendo também uma análise dos objetivos e visão técnica da solução proposta.

No capítulo 2, relativo ao Estado da Arte, é feita uma análise aos conceitos teóricos relativos ao ecossistema da energia, às tecnologias atualmente existentes que permitem poupar energia (*Home Energy Management*) e às soluções de automação. É também nesta secção que é esclarecida a visão da *Internet of Things*.

Na Metodologia, correspondente ao capítulo 3, é apresentada a forma como o estágio decorreu, quais as estratégias adotadas para o levantamento de requisitos, arquitetura e o desenvolvimento de *software*.

Com a Visão do Produto (capítulo 4), o leitor terá em primeiro a especificação funcional do projeto onde serão analisados os requisitos através de *user stories*, terminando com uma análise dos riscos durante o estágio. Nesta última secção são comparados os riscos iniciais com os que se concretizaram.

Toda a implementação deste projeto é descrita em detalhe no capítulo 5 (Arquitetura). Neste, é feita uma visão geral da arquitetura da unplugg para depois detalhar a arquitetura da nova plataforma desenvolvida. Esta última foi dividida entre os módulos internos e serviços externos terminando com um subcapítulo para especificar os detalhes mais importantes da implementação.

No capítulo 6 são apresentados todos os resultados relativos ao sistema de aprendizagem, testes, validação económica, KPI e levantamento de questões de segurança, que permitem verificar que o sistema cumpre de facto os requisitos propostos. De seguida, o capítulo 7 irá fornecer uma perspetiva do utilizador final para que seja possível validar todo o sistema em função dos objetivos a que foi proposto.

Por fim, o capítulo 8 apresenta as conclusões obtidas ao longo do desenvolvimento deste projeto, sendo também apresentada uma breve discussão de ideias, funcionalidades e falhas existentes cujo uso, implementação e correção possam levar a melhorias do sistema no futuro.

Capítulo 2

Estado da Arte

2.1 Energia

2.1.1 Introdução

A energia elétrica tem cada vez mais um papel vital no crescimento da economia e da sociedade. Por sua vez, este crescimento não dá tréguas a um constante aumento de consumos energéticos derivado da exigência do conforto e do crescente número de dispositivos que consomem energia [9].

Esta situação coloca cada vez mais desafios à eficiência energética, sendo um deles a rede de distribuição. Atualmente, esta é ineficiente desde a produção ao consumo, e principalmente na forma como distribui a energia para evitar quebras, uma vez que a média de consumo é muito abaixo do necessário para cobrir os picos de corrente em situações pontuais de cada dia - *Demand and Response*. É neste contexto que surge a *Smart Grid* na tentativa de solucionar a baixa eficiência da rede.

No fim da cadeia de distribuição, encontram-se os medidores de energia que permitem a leitura e por vezes controlo dos equipamentos elétricos, constituindo muitas das vezes soluções de *Home Energy Management* construídas e negociadas por algumas empresas, que permitem reduzir as despesas elétricas no final de cada mês.

Embora existam condições para solucionar parte da problemática da energia, na verdade, o processo torna-se bem mais complexo de ser executado corretamente quando necessita da interação do utilizador. Surge assim a necessidade de soluções de *engagement* que cativem os utilizadores e permitam completar o ciclo de leitura, *feedback* e ação [1].

Todo este ecossistema com soluções e ações em tempo-real mostra um grande potencial para conseguir melhorar a eficiência energética atual no mercado residencial [18]. Nesta secção irão ser abordados estes conceitos fun-

damentais do ecossistema da energia.

2.1.2 SmartGrid

SmartGrid, trata-se da implementação de uma camada de informação sobre a rede de distribuição de energia, permitindo uma monitorização e controlo constante dos gastos e equipamentos eléctricos, resultando uma rede mais flexível, económica e estável.

Atualmente as *smart grids* apresentam uma visão que tenta cobrir diversos desafios e problemas atuais como a sustentabilidade ambiental, fiabilidade e qualidade do fornecimento e *empowerment* dos utilizadores.

Uma das características da *smart grid* é o seu carácter de *background* e automação evitando grande parte da interação humana. Este facto permite enormes poupanças na energia consumida. Na prática, a *smart grid* é uma rede que transporta as necessidades energéticas de cada casa e as transmite às *utilities* por forma a estas avaliarem a energia necessária, produzirem e a distribuírem no momento, enviando também o seu custo em tempo real, podendo ainda - num contexto de estado da arte da literatura - controlar os equipamentos domésticos. A recolha dos dados da residência é feita recorrendo a uma camada importante denominada *Advanced Meter Infrastructure* (AMI), que é geralmente definida como um sistema de medição de energia entre determinados intervalos de tempo, comunicando os resultados posteriormente para uma *utility* [19].

Esta infraestrutura abre imensas oportunidades tanto no campo da *demand and response* (ao aumentar a eficiência da distribuição), como no campo de *user engagement* ao aumentar o interesse dos utilizadores.

Do ponto de vista económico e de todo o ecossistema, existem já algumas soluções que mostraram uma grande viabilidade e resultados nesta área. Mais detalhadamente a Electric Power Research Institute (EPRI)¹ estima que a implementação de uma *smart grid* pouparia 5-10% em energia elétrica sem diminuir o conforto [20]. Outro dado importante, segundo a GTM Research² é o aumento de mercado das *smarts grids* que passará de 5.6 mil milhões em 2010 para 9.6 mil milhões de dólares em 2015 [21].

Em Portugal os primeiros passos foram dados pela iNovGrid da EDP³, que permite através da *smart grid* melhorar a inteligência na rede, aumentar o uso da microprodução da produção distribuída, promover a aplicação de *smart metering* e gerir a eficiência energética [22].

¹<http://www.epri.com/>

²<http://www.greentechmedia.com/research>

³<http://www.edpdistribuicao.pt/pt/rede/InovGrid>

É importante referir que esta solução não é concorrente à proposta apresentada nesta tese. O crescimento das *smart grids* vai na verdade potenciar o aparecimento de *smart* e *power meters*, sendo desta forma vantajoso uma vez que aumenta o número de residências que suportam a solução aqui proposta. Porém, a existência de uma *smart grid* pode ser canibalizadora se for mais eficiente na redução dos custos elétricos, conforme foi descrito acima, reduzindo o potencial da solução aqui apresentada.

2.1.3 Demand and Response

Em resposta a momentos de carga em pico⁴, existem várias soluções. Todavia, uma das que surge em linha com esta tese é a de *Demand and Response*. Esta é uma solução que contempla mudanças no uso da eletricidade, diminuindo ou cortando o consumo em alguns equipamentos das residências, fugindo assim ao seu uso habitual [24]. Segundo estudos, uma redução de 5% dos consumos na hora de pico da Califórnia durante a crise de 2000/2001, permitiria uma poupança de 50% na produção de energia [25]. Embora a solução apresentada não pretenda reduzir esses 5%, este valor é ilustrativo de como pequenas reduções podem ter grandes impactos na poupança energética.

Na prática, existem duas formas para aplicar *demand and response*. A primeira é através de incentivos, em que o utilizador recebe compensações por desligar determinados equipamentos ou por alterar determinado comportamento durante o tempo de pico de carga na rede. A outra baseia-se na opção por determinadas tarifas que podem ter preços fixos para as horas de maior carga (exemplo de tarifas bi-horárias), ou podem mesmo ter preços variáveis que flutuam em função dos custos das *utilities* de distribuição (muito comuns em países como o Reino Unido). É importante, no entanto, não confundir os conceitos de eficiência e de *demand and response*. Ao observar a figura 2.1 verifica-se que eficiência é relativa à diminuição dos consumos sem alteração dos hábitos, devido a melhores equipamentos. Já *demand and response* implica uma mudança dos hábitos, ou seja, cortando em alguns consumos ou simplesmente diminuindo estes (e.g. aquecimento, luzes) - figura 2.2.

Neste momento, uma das grandes preocupações e problemas desta solução, deve-se a questões de privacidade, uma vez que as *utilities* terão de conhecer que consumos estão a ser efetuados em determinado tempo, em que local, por que equipamento, provocando de seguida alterações nesse mesmo remotamente [27].

⁴*Peak load* (ou carga em pico) trata-se da carga existente em certos momentos do dia, em que o valor desta é muito superior à média do dia, devido principalmente ao aumento do consumo residencial [23].

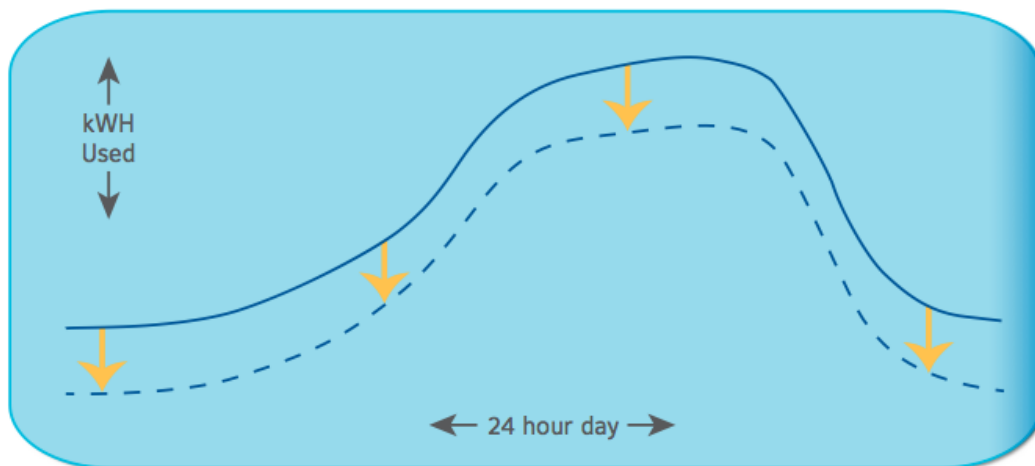


Figura 2.1: Impacto da eficiência energética no *load profile* [26]

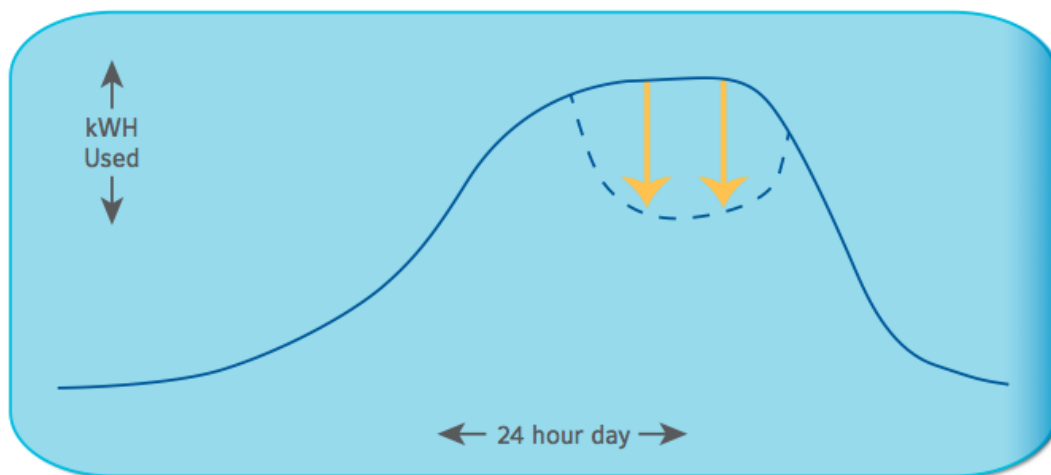


Figura 2.2: Impacto de Demand and Response no *load profile* [26]

2.1.4 Advanced Meter Infrastructure

Como vimos até agora, *smart grid* é um conceito com objetivos bastante abrangentes, que lidam com as questões de comunicação, transporte e distribuição. No entanto, incorporado neste sistema encontra-se uma componente chave, AMI. Trata-se essencialmente de um sistema que permite efetuar medições, leituras e análise de consumos energéticos que possibilitam por exemplo implementar soluções de *demand and response*. Geralmente também incorpora leituras remotas de eletricidade, gás, temperatura através de medidores [28].

A prova de que estamos perante uma camada chave é retirada do California Statewide Pricing Pilot em 2003, ao revelar que as poupanças em casas com equipamentos de controlo automático durante momentos pico foi de 34,5% face aos 12,5% conseguidos por comportamentos induzidos por preços fixos [29]. Embora a descrição da AMI já seja demasiado detalhada para o âmbito deste tese, as suas diferenças arquiteturais tocam num ponto importante que não irá ser abordado e que se situa na fronteira entre o controlo dos equipamentos ser feito pelas *utilities* (*utility-controlled architecture*) ou pelo consumidor (*consumer-controlled architecture*) [27].

Smart Meters

Smart meters são apenas uma componente da AMI. Contudo, estes equipamentos têm sido aplicados em larga escala e espera-se um crescimento extremamente acentuado nos próximos anos, demonstrando a força desta solução no mercado [30]. Os *smart meters* são na prática soluções de monitorização muitas das vezes instaladas pelas *utilities*, sendo um elemento final da *smart grid* e uma ligação fulcral para gestão digital de energia. Têm um papel vital pela recolha dos consumos em tempo real - permitindo um melhoramento na eficiência energética da residência - e também pelo envolvimento que provocam nos utilizadores, motivando-os e interessando-os pelos gastos da sua própria residência, de forma a serem utilizadores ativos e críticos na poupança energética [31]. Os seus dados recolhidos e a forma como são usados permitirão definir se estes equipamentos são ou não considerados soluções de *Home Energy Management* - como iremos ver na secção 2.1.5.

2.1.5 Home Energy Management

Alimentado pelas necessidades de poupança económica e ambiental, surgiu um novo campo de desenvolvimento para solucionar estas problemáticas, denominado de *Home Energy Management* - HEM. Trata-se de um mais um

campo complementar a outros já mencionados, que pode ser facilmente visto como qualquer sistema que possibilite poupanças energéticas residenciais.

No presente momento, existem diversas soluções já apresentadas ao mercado dos consumidores. Porém, se é verdade que existem necessidades e utilizadores já recetivos à aquisição destes novos equipamentos, também é verdade que as exigências dos utilizadores ainda não estão a ser satisfeitas, nomeadamente nos campos da usabilidade, transparência e conveniência para o dia a dia [32]. A maioria das soluções presentes no mercado são bastante concretas e maioritariamente fechadas, onde o utilizador final está dependente do hardware e software de uma determinada empresa como iremos ver no capítulo seguinte, relativo às soluções de *hardware*. Nesse capítulo será feita uma análise mais detalhada destas soluções. Contudo, o estado da arte revela campos atualmente em investigação e com soluções já experimentais, que trazem uma abordagem bastante diferente das convencionais baseadas somente num hardware específico.

Desagregação

Atualmente os custos dos equipamentos para monitorizar a energia são demasiado altos, sem que seja obtido o respetivo retorno em resultados. Estas são grandes barreiras à implementação de sistemas de HEM, comprometendo o seu sucesso, principalmente no campo de *demand and response*.

O conceito de desagregação tem vindo a ser explorado mais recentemente uma vez que, teoricamente, permite identificar o consumo de cada equipamento numa residência através de um único *smart meter* geral. Este processo recorre aos dados recolhidos sobre a energia consumida por habitação, sendo estes tratados posteriormente com técnicas onde são comparados os consumos, com comportamentos padrão existentes numa base de dados previamente desenvolvida (figura 2.3). Posteriormente são feitas análises estatísticas para identificar as melhores comparações [33].

Apesar de tudo, os resultados práticos relativos à desagregação não têm sido precisos o suficiente para provar a eficácia deste método e dos seus algoritmos usados. Atualmente, existem ainda alguns problemas para o sucesso deste mecanismo, que estão relacionados não só com os algoritmos mas também com a necessidade de *smart meters* com uma capacidade de amostragem acima de 1KHz [33]. Este requisito inviabiliza grande parte dos *smart meters* já instalados, uma vez que terão dificuldades em recolher dados com a granularidade suficiente para detetar alterações nos consumos de equipamentos como leitores de vídeo de sala, *routers* e diferenciação entre lâmpadas.

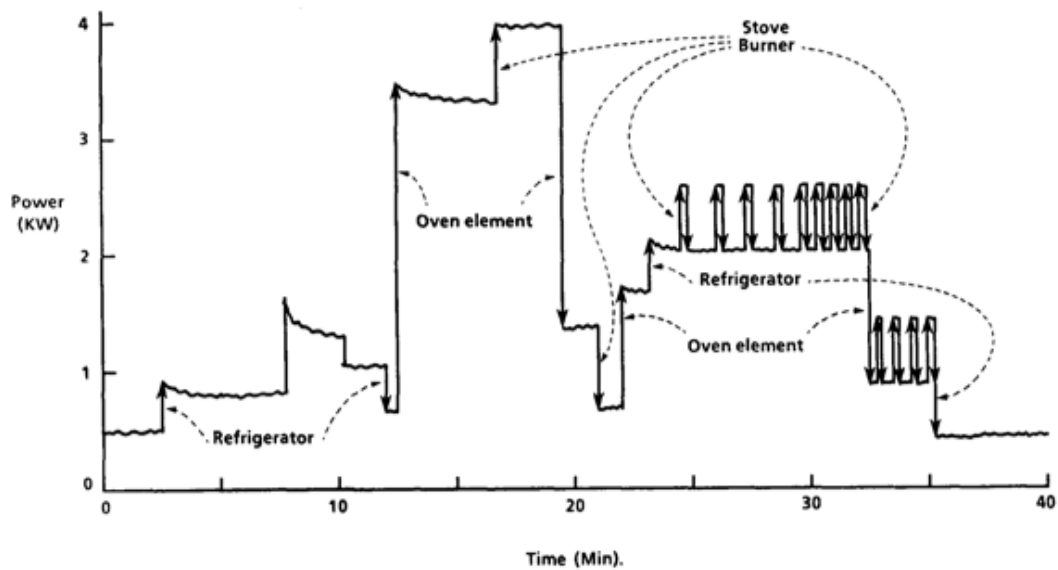


Figura 2.3: Fornecimento de energia em função do tempo, mostrando as mudanças de consumo e respectivas assinaturas dos equipamentos [34].

User Engagement

Sempre que existe a instalação de uma *smart grid* através de uma *utility*, surge a questão em como esta vai beneficiar o utilizador. A resposta mais comum seria a enumeração de fatores de performance e eficiência. Porém, este é o tipo de vantagens que fazem pouco sentido para o utilizador por serem impessoais e intangíveis na sua perspetiva.

Para manter um cliente motivado e *engaged* há que analisar três passos importantes:

1. **Uniformização de dados** - Possibilita que os dados retirados de centros de dados possam ser utilizados noutras plataformas, motivando também os vendedores e programadores a desenvolverem *standards* interoperáveis que permitam modelar os dados em informação útil para os utilizadores.
2. **Programas de motivação de clientes** - Através do desenvolvimento deste tipo de programas, e após a uniformização de dados, será possível apresentar ao utilizar benefícios reais e tangíveis, de forma a que os motive a inscreverem-se em soluções de automação e poupança no futuro.
3. **Empowerment dos clientes** - Além dos pontos já mencionados relativos à motivação do utilizador, este último surge como uma estratégia

específica, mais detalhada, prática e próxima dos objetivos desta tese de Mestrado:

- Acesso a informação detalhada da energia
- Escolha de preço em função da hora
- Tecnologias de automação

É precisamente este último ponto que mais relevância tem para o presente projeto. Assim que o utilizador verifique que possui ganhos com os sistemas de poupança energética sem penalizar o seu conforto e outros requisitos, este irá facilmente adotar o sistema "*set-and-forget*", confiando nele para a sua gestão energética [1].

Este é o tipo de solução que pode beneficiar tanto o lado do cliente como também do lado das *utilities*. Os utilizadores ao compreenderem os problemas energéticos, evitarão os momentos de pico na rede, que por sua vez irá beneficiar as *utilities* na eficiência da sua produção, e o próprio consumidor na sua poupança económica com preços flutuantes.

2.2 Soluções HEM

Nesta secção serão apresentadas soluções complementares de HEM, que apesar de se apresentarem como soluções que atuam em campos diferentes - tomadas, termostatos, luzes - são na verdade concorrentes entre si do ponto de vista de negócio, uma vez que todas permitem poupar energia e reduzir os seus custos.

2.2.1 Soluções Hardware

PowerMeters

A primeira solução em análise, é talvez a mais conhecida entre os utilizadores, principalmente os que por iniciativa própria adquirem estes equipamentos, com vista a conhecer os seus hábitos de consumo elétrico domésticos, e assim saberem de forma eficiente onde existe margem para poupar. A sua simplicidade e universalidade em ligarem-se a dispositivos elétricos, através das suas fichas, ou outros mecanismos simples, levou a que atualmente sejam os mais requisitados e usados.

Current Cost Current Cost é um dos equipamentos de maior referência atualmente⁵. Este consiste em sensores que efetuam a leituras dos consumos e um transmissor que irá comunicar com o mostrador (opcional), mostrando os dados em tempo real. Segundo a empresa, os sensores deste equipamento conseguem enviar dados para o receptor a cada 8-10 segundos.

Relativamente aos dados recolhidos, têm de ser enviados obrigatoriamente para uma plataforma de *backend* - onde irão ser guardados - que está atualmente integrada na Xively (página 30). É nesta plataforma que o utilizador pode visualizar os seus consumos através do interface simples da Xively.

Como iremos ver mais à frente, a Xively disponibiliza uma API para que os programadores possam desenvolver e criar novas aplicações. Isto faz com que, apesar dos Current Cost não terem qualquer API pública, possam ser considerados uma plataforma aberta, uma vez que comunicam obrigatoriamente os seus dados para a Xively. Existem porém pontos menos positivos. Um deles trata-se do facto da granularidade dos dados obtidos através da *web* ser no máximo de 15 minutos, embora possam ser recolhidos manualmente a cada 5 minutos (intervalo de envio do receptor). Estes dados são retirados dos equipamentos pela Xively que depois disponibiliza *streams* ou *feeds* de dados. Para posterior consulta é possível consultar dados de histórico com maior precisão de acordo com a tabela 2.1.

Pontos de Dados	Descrição	Alcance por pedido
0	Todos os pontos guardados	6 horas
30	Um ponto a cada 30 segundos	12 horas
60	Um ponto a cada minuto	24 horas
300	Um ponto a cada 5 minutos	5 dias
900	Um ponto a cada 15 minutos	14 dias
1800	Um ponto a cada 30 minutos	31 dias
3600	Um ponto por hora	31 dias
10800	Um ponto por 3 horas	90 dias
21600	Um ponto por 6 horas	180 dias
43200	Um ponto por 12 horas	1 ano
86400	Um ponto por dia	1 ano

Tabela 2.1: Comparação do número máximo de pontos que se pode retirar por cada pedido, através da API da Xively

⁵<http://www.currentcost.net/>

TED5000 Este equipamento é dos mais conhecidos na área de HEM, com particular incidência na América do Norte, em parte devido à parceria temporária com a Google ⁶. Uma das duas grandes vantagens deste equipamento é o seu grau de precisão comparativamente a outras soluções, conseguindo capturar dados a cada segundo [35]. A outra vantagem (embora possa não ser vista como tal em situações específicas) reside no fato do TED não possuir um *backend* específico para onde enviar os dados. Esta solução tem um *gateway* que armazena dados até um determinado limite consoante a precisão desejada. Isto evita a dependência de sistemas de armazenamento de terceiros, porém adiciona alguma complexidade à sua configuração.

Embora este equipamento ganhe em precisão, perde bastante na usabilidade⁷ e experiência do utilizador⁸. As formas de visualização de dados e configuração são complexas e confusas, afastando potenciais utilizadores que adquiriram o equipamento. Uma das alternativas para contornar este ponto negativo passa por usar *third party posting*, enviados os dados para plataformas também elas *third party* como a Plowatt, Bidgely e My Erargy que permitem a importação destes dados e melhoram a experiência do utilizador com o equipamento. Algumas destas plataformas irão ser analisadas posteriormente.

O TED também não permite qualquer controlo remoto dos equipamentos, nem implementa qualquer solução de automação. No entanto, disponibiliza a sua API dado que, como já foi referido, não possui *backend* e portanto é a única solução para retirar os dados do *gateway* do equipamento.

Cloogy Esta é uma solução energética residencial que foi recentemente disponibilizada pela ISA⁹. De acordo com a empresa, com a utilização destes equipamentos será possível poupar até 25% na fatura energética¹⁰.

Esta solução é composta por um sensor que lê os consumos diretos do quadro elétrico e os envia através de um transmissor ZiggBee, para um concentrador ligado à rede (router). Existe ainda um conjunto de tomadas inteligentes que também comunicam pelo mesmo sistema e que são ligadas diretamente entre a ficha e a tomada da casa para permitir um controlo e leitura dos consumos dos equipamentos. A interação deste sistema pode ser feita através da plataforma web, aplicação móvel ou até de um monitor exclusivo que indica os consumos em tempo real.

⁶<http://googleblog.blogspot.pt/2009/10/google-powermeters-first-device-partner.html>

⁷Facilidade de usar um determinado objeto tendo em vista uma tarefa específica

⁸Forma como uma pessoa se sente ao usar um determinado produto ou sistema

⁹Intelligent Sensing Anywhere - <http://isa.pt>

¹⁰http://cloogy.com/media/30961/brochura_cloogy_residential_pt.pdf

Em termos de funcionalidades, o cloogy é muito pragmático e dependente do utilizador. Além da monitorização e controlo remoto dos equipamentos pelo utilizador, permite estabelecer regras manualmente para poupar no *standby*, analisar se a potência contratada é adequada, enquadrar os consumos do utilizador na comunidade e fornece relatórios periódicos com a sua informação - gastos, custos e outros detalhes.

Apesar das suas funcionalidades serem interessantes, pecam por falta de automação e demasiada dependência nas ações do utilizador, ou seja, se a iniciativa de desligar os equipamentos não partir deste o produto falha.

Outro fator importante é que esta plataforma é fechada, não permitindo acesso a programadores que a queiram usar e tem um custo elevado com cerca de 250 euros para o conjunto inicial (2 tomadas inteligentes e 1 *power meter*).

Termostatos

No contexto deste relatório, foi possível perceber que apesar da soma de consumos de pequenos equipamentos ser uma boa parte da totalidade dos consumos residenciais, a nível individual, o aquecimento detém também uma grande parte da fatura ao fim do mês [7].

Surgiu então a necessidade no mercado, da utilização de termostatos que permitissem um controlo do aquecimento para minorar os consumos sem prejudicar o conforto dos utilizadores.

Nesta secção irão ser apresentadas algumas soluções que utilizam dados de presença, aprendem comportamentos ou que simplesmente são programados pelo utilizador, para controlarem os equipamentos de aquecimento quando estão fora/dentro de casa. Embora existam imensas soluções, apenas irão ser mencionadas as que atualmente fazem a diferença, que são referência na sua área e que tenham mecanismos de alguma automação¹¹ com valor para o sistema a desenvolver neste estágio.

NEST Segundo a NEST ¹², um termostato programável pode poupar cerca de 20% de energia em aquecimento. Porém, a Nest também afirma que atualmente apenas 11%¹³ dos termostatos programáveis são corretamente configurados. O NEST trouxe uma abordagem inovadora através de um *design* e interface cativantes e intuitivos a qualquer utilizador.

¹¹Regras introduzidas manualmente pelo utilizador, ou criadas automaticamente pelo equipamento

¹²<http://www.nest.com/>

¹³<http://nest.com/living-with-nest/>

O NEST é uma referência no campo de termostatos inteligentes. De forma extremamente simples, este termostato exclui todas as pequenas funcionalidades extras dos comuns termostatos, como o controlo de alguns equipamentos ou inserção de um relógio. Consequentemente o NEST foca-se exclusivamente no controlo inteligente nos sistemas de aquecimento de ar, embora apresentem já planos para sistemas de aquecimento radiante, entre outros.

No capítulo de automação irei especificar algumas componentes técnicas deste equipamento que ainda não disponibiliza uma API para programadores. Contudo e de forma pragmática, o NEST aprende os comportamentos do utilizador, quando chega a casa, quando sai, que temperatura escolhe, quanto tempo demora a casa a aquecer, e junta toda essa informação para automatizar o aquecimento. Desta forma, o conforto do utilizador mantém-se, não existe fricção na interação com este, e a eficiência energética aumenta uma vez que o aquecimento é otimizado para cada casa, decidindo quando aquece e como aquece.

Ecobee O *Smart Thermostat* da ecobee¹⁴ embora apresente os mesmos objetivos que o NEST, contraria precisamente o ponto forte deste ao não se focar em algo específico.

A ecobee possui diversas plataformas e tenta tornar o seu produto o mais abrangente possível. Concretamente para o presente âmbito, o seu termostato inteligente também possibilita controlo dos sistemas de aquecimento de forma automática através de sistemas de aprendizagem, que faz uso de regras introduzidas pelo utilizador e de dados recolhidos no dia a dia.

Este sistema pode ser visto como o NEST com um interface diferente. O NEST aborda este conceito de uma forma simplista, direta mas com todo o foco na melhor automação e na menor interação com o utilizador. Já o ecobee oferece ao utilizador toda uma plataforma de dados que pode ser acedida através diversos dispositivos móveis, acompanhando-os de um sistema de alertas, relatórios e de pequenas informações externas como por exemplo o tempo para o presente dia e humidade.

Set Point Os termostatos que fazem reconhecimento de padrões são uma minoria, embora já sejam vistos como a solução do futuro até para outras finalidades que não a regulação de temperatura. Todavia, a grande maioria dos termostatos inteligentes são precisamente semelhantes ao Set Point¹⁵, daí a sua referência neste relatório.

¹⁴<http://www.ecobee.com/>

¹⁵http://www.tendrillinc.com/wp-content/uploads/2010/02/Tendrill_Set-Point_2012.pdf

Este é atualmente um produto lançado pela Tendril, que é das empresas com maior fatia de mercado em soluções de HEM, embora recentemente tenha perdido terreno para a Opower e Honeywell, encontrando-se em processo de reestruturação e com boas perspectivas futuras [36]. A Tendril é também uma das principais razões para mencionar o seu produto uma vez que o Set Point não possui qualquer sistema de aprendizagem. Este disponibiliza apenas um conjunto de regras e perfis que podem ser configurados pelo utilizador manualmente, como por exemplo um perfil de férias em que todos os equipamentos são desligados, ou um perfil de trabalho que liga o equipamento por exemplo às 6h e o desliga às 8h na parte da manhã aquando da saída de casa do utilizador.

Radio Thermostat Embora muito semelhante ao Set Point, o Radio Thermostat merece alguma referência dada a sua importância para programadores. Este equipamento disponibiliza não só toda a sua API como também oferece uma extensa e precisa documentação.

Visible Energy

As soluções apresentadas pela Visible Energy¹⁶, abordam uma interação mais visual com o utilizador. O UFO Power Center¹⁷ é um equipamento que possui 4 tomadas que podem ser controladas remotamente através de uma plataforma *web* ou móvel e que recolhem dados a cada 5 minutos, guardando-os durante 2 meses. A grande diferença deste equipamento é o LED colocado no seu topo, que consoante a sua cor mais avermelhada, transmite logo *feedback* ao utilizador, de que este está a consumir demasiada energia. Esta solução também permite programar manualmente horários de forma a eliminar o *standby* dos equipamentos.

Caso o utilizador necessite de mais tomadas, terá de adquirir outras soluções como a Monostrip¹⁸ que já permite guardar dados até 4 meses.

Um fator de grande importância para este equipamento é a disponibilização de uma API bastante completa, oferecendo assim uma excelente plataforma para teste e desenvolvimento.

¹⁶<http://www.visibleenergy.com>

¹⁷<http://www.visibleenergy.com/products/ufo.html>

¹⁸<http://www.visibleenergy.com/products/monostrip.html>

LIFX

Ainda no campo da visualização da energia, surge o LIFX, um dos mais recentes fenómenos do Kickstarter¹⁹, que se destaca entre as soluções orientadas à iluminação. Este equipamento permite o controlo e a monitorização individual de lâmpadas, concretamente no que diz respeito à intensidade e cor da lâmpada.

O seu funcionamento é bastante simples. Existe uma lâmpada principal que é controlada através de *WI-FI* por um equipamento externo onde é definida a intensidade e cor da luz. Posteriormente, todas as restantes luzes irão comunicar entre si e com a lâmpada principal de forma a adotarem todas as mesmas configurações, através de uma *ZigBee*²⁰ *mesh network* - tipologia de rede em que um nó além de recolher e enviar informação, também é usado como nó de *relay* para os restantes, comunicando por *ZigBee*.

O LIFX permite além de um controlo simples, programar horários para aumentar a sua intensidade como um despertador, visualizar o *mood* de uma música e ligar/desligar as luzes assim que o utilizador entra/sai de casa.

Segundo a empresa, dentro em breve será lançado um SDK que irá permitir a programadores desenvolverem soluções mais personalizadas e utilizar estes equipamentos e respetivo *software* para outras soluções.

2.2.2 Soluções Software

Opower

A Opower apresenta-se como a líder de mercado no que respeita à experiência oferecida aos utilizadores para a indústria das *utilities*, tendo já cerca de 75 parcerias e o seu produto aplicado por todo o mundo em milhões de casas²¹.

A sua solução contempla diversas abordagens em diversos campos. Estas vão desde relatórios que permitem total conhecimento dos consumos, ferramentas *on-line* e móveis que permitem um controlo e consulta em qualquer lugar e momentos, e alertas de energia para aconselhar o utilizador. Isto tudo é aliado de uma excelente experiência do utilizador (*User Experience* - *UX*).

Como já foi referido, a Opower detém várias parcerias com *utilities*, aumentando assim o seu potencial como produto. Consequentemente, esta empresa tem acesso e controlo sobre os consumos residenciais permitindo criar soluções que lidem com os picos de carga na rede e seus custos melhorando a eficiência energética não só para quem fornece energia, como também para

¹⁹<http://www.kickstarter.com/>

²⁰<http://www.zigbee.org/>

²¹<http://opower.com/solutions>

o consumidor, reduzindo assim o valor da sua fatura elétrica mensal. Este é talvez o fator a chave da Opower.

Além das vantagens já mencionadas, a Opower possibilita que os utilizadores se comparem entre si através do uso da *smart grid* e de parcerias com a rede social Facebook²².

No decorrer da análise de termostatos, é importante referir que recentemente a Opower realizou mais uma parceria com a Honeywell²³ que se trata de uma empresa que desenvolveu também um termostato sem qualquer sistema de automação inteligente, mas que permite criar regras manualmente - à semelhança do *Radio Thermostat* (página 23).

Eragy

myEragy é o produto lançado pela Eragy que consiste numa plataforma que apenas necessita de um sensor de energia e uma ligação à Internet para conseguir monitorizar a energia de toda a casa. Recentemente, e segundo a própria empresa, passaram a suportar também controlo de equipamentos remotamente, tornando esta solução mais completa.

Esta plataforma é *cloud-based* [37] permitindo a integração também com parcerias de *utilities*, fornecedores de serviços de meteorologia, energia solar e eólica. Toda esta informação é agregada e tratada pela Eragy que apresenta ao utilizador relatórios com possíveis desagregações de consumos e *feedback* das relações entre todas estas variáveis e os seus consumos elétricos [38].

Uma das maiores parecerias da Eragy é a Control4²⁴ que é uma empresa dedicada à automação residencial. Contudo esta não se foca na poupança de energia mas sim na automação de equipamentos e no controlo da casa através de um dispositivo. Esta parceria é uma mais valia para ambas as partes. Além de aumentar o número de potenciais clientes da Control4 e de aumentar a sua taxa de retenção, permite que os utilizadores finais ao incorporarem novos controlos, controlem de forma mais eficiente os seus equipamentos, podendo poupar até 30% a cada mês, segundo a própria Eragy.

Plotwatt

Esta solução é bastante semelhante ao myEragy, contudo esta foca-se mais na sua plataforma web e na desagregação de consumos. A Plotwatt, através de algoritmos proprietários, promete fazer desagregação de consumos, para

²²<http://www.facebook.com>

²³<http://honeywell.com/Pages/Home.aspx>

²⁴<http://www.control4.com/>

se tornar uma solução teoricamente bastante eficiente tendo em conta os seus custos com apenas um *Power Meter* [39]

Porém, não existem dados quanto à precisão da sua solução, mais concretamente, quanto à desagregação de consumos. Como já foi referido na secção da Energia (página 11), a precisão deste tipo de técnicas depende muito da taxa e amostragem dos medidores. Uma vez que a Plotwatt diz que suporta todo o tipo de medidores, poderão existir problemas relativos à eficácia da desagregação de consumos que não são clarificados pela empresa. Ainda assim, esta adverte que *power meters* com leituras menos frequentes que 1 leitura por cada 100 segundos, embora sejam aceites, poderão impedir a utilização de algumas funcionalidades da plataforma²⁵. É importante relembrar que segundo o que foi analisado na secção de desagregação de consumos, a frequência ideal de amostragem deveria ser sempre superior a 1KHz.

A Plotwatt recentemente disponibilizou uma API sendo portanto uma plataforma aberta.

Bidgely

Este é talvez um dos produtos mais interessantes do ponto de vista da desagregação de consumos. Através de um único medidor e com o auxílio fundamental de algoritmos proprietários, a Bidgely²⁶ desenvolveu uma solução que reconhece as assinaturas deixadas pelos os equipamentos quando se ligam ou desligam, permitindo identificar e desagregar o consumo geral da casa até ao nível dos equipamentos. Mais uma vez não existem dados quanto à eficácia deste sistema.

Além dos dados diretos dos consumos domésticos, esta plataforma agrega também dados meteorológicos e das redes sociais, como o Facebook e o Twitter²⁷, para retirar melhores conclusões através dos seus algoritmos de desagregação²⁸

A Bidgely é uma plataforma aberta, disponibilizando uma API para aplicações externas.

Tendrill

Conforme mencionado na secção 2.2.1 relativa aos *power meters*, a Tendrill é das empresas com maior mercado atualmente e de maior referência na área

²⁵<https://plotwatt.com/docs/api>

²⁶<http://bidgely.com>

²⁷<http://www.twitter.com>

²⁸<http://bidgely.com/utilities>

de HEM. Esta apresenta-se como uma empresa que desenvolve aplicações e serviços cativantes para os utilizadores na área de HEM.

A solução da Tendrill pode ser facilmente descrita como personalizável, aberta através de uma API, segura, escalável e que promove os utilizadores a serem participantes ativos a gerir a sua energia em casa, através de *feedback* e mecanismos de alertas ²⁹.

A Tendrill oferece também um conjunto vasto de serviços base como relatórios periódicos, aplicações *web*, e soluções mais focadas nos campos de *demand and response* e *load control*. Estas funcionalidades, em conjunto com os *power meters* e termostatos inteligentes que possuem, tornam esta plataforma extremamente interessante para o utilizador final mas também para as já 35 *utilities* em parceria com esta empresa ³⁰.

2.2.3 Soluções Mistas

AlertMe

AlertMe trata-se de uma empresa do Reino Unido que oferece uma solução bastante abrangente. A plataforma que apresenta combina desde soluções de monitorização de energia, segurança, automação e aprendizagem de padrões. De forma simples, a AlertMe assenta em aplicações baseadas na *cloud* e em vários protocolos de *gateways* residenciais, permitindo uma enorme diversidade de dispositivos numa única aplicação.

A grande vantagem desta solução é o facto da AlertMe funcionar com ou sem um medidor de energia, tornando-os únicos em suportar diversas parcerias desde *utilities*, aplicações de *software*, eletrónica e empresas de telecomunicações.

Embora teoricamente o seu ponto forte seja precisamente a sua abrangência de campos, o facto de não se focarem num campo específico torna esta solução menos competitiva se olharmos para os problemas individualizados. Contudo, recentemente esta empresa tem-se direccionado cada vez mais para os sistemas de HEM.

É importante referir que esta plataforma disponibilizou recentemente uma API ³¹, apesar de já existirem trabalhos de *reverse engineering* que permitiram descobrir e elaborar uma API³².

²⁹<http://www.tendrillinc.com/connect/>

³⁰<http://www.tendrillinc.com/about/>

³¹<https://api.alertme.com/webapi/test/v2>

³²<https://github.com/dclark/alertmeapi>

2.2.4 Resumo

Nesta secção foi possível observar um conjunto de soluções de HEM em vários segmentos de *hardware*, *software*, e mistos. Na prática todas estas soluções têm sempre vantagens e desvantagens relativamente à solução proposta nesta tese. Porém, quando esta última é aliada ao serviço já oferecido pela unplugg, obtém-se um conjunto de vantagens relativamente aos concorrentes. Em primeiro, é uma solução tendencialmente agnóstica de *hardware* que possibilita o uso de alguns dos equipamentos listados neste capítulo sem estar presa a um *hardware* específico. Em segundo, oferece uma solução de automação independentemente do tipo de equipamentos que o utilizador utiliza, podendo vir a abranger controlos de temperatura (e.g. NEST) ou qualquer outro equipamento ligado a uma tomada (e.g. Tendril) minimizando a interação com o utilizador. Esta última vantagem estará sempre dependente da existência de padrões de consumo dos equipamentos.

Num nível mais prático, esta solução passará a competir com sistemas de auditoria ao conseguir detalhar quais os consumos, por exemplo de um edifício, e onde estes se localizam, fornecendo um controlo remoto dos equipamentos em tempo real. Tudo isto será possível sem necessitar de uma auditoria intrusiva e dispendiosa ao edifício.

2.3 Controlo Inteligente

2.3.1 Internet of Things

Como foi descrito na secção 1.3.1 relativa ao produto unplugg, este integra-se numa visão de *Internet of Things*. Todavia, falta ainda clarificar a sua definição e ligação com o campo da energia.

Num contexto mais geral, *Internet of Things* - IoT- refere-se a uma forte evolução no desenvolvimento das funcionalidades da internet, onde qualquer dispositivo com ligação à rede é univocamente identificado, podendo comunicar com outros dispositivos, recolher e transmitir dados do ambiente onde estão inseridos.

Por 2015 espera-se não só que 75% das pessoas no mundo tenham acesso à Internet bem como existam 65 mil milhões de dispositivos ligados à mesma [40]. Esta situação cria um enorme potencial na mudança de paradigma, onde existe já uma rede global de computadores, e passará a existir também uma rede de sensores e atuadores que usam protocolos específicos para comunicarem entre si e que podem ser controlados remotamente a qualquer momento, conforme as presentes necessidades.

IoT e o Projeto

A IoT trata-se de uma visão cuja interpretação é muito variável. Para o presente projeto é possível afirmar que este se encontra integrado numa visão de IoT. Contudo, não será feito total uso do que é descrito pela visão, uma vez que esta envolve muito mais componentes, interações e comunicação entre sensores.

A nova plataforma desenvolvida neste estágio fará uso de sensores distribuídos pelas casas dos utilizadores, cujo ponto de acesso do sistema é identificado por um endereço IP. Contudo, embora de momento estes sensores sejam a única fonte de dados, o sistema desenvolvido permite que sejam processados dados provenientes de diferentes sensores como os de luminosidade, som, presença entre outros. Esta possibilidade, para além de beneficiar individualmente o processo de automação com mais e diferentes dados, permite cruzá-los entre utilizadores de forma a retirar novas conclusões tanto para o campo da energia aplicadas ao presente projeto como para outros serviços.

2.3.2 Soluções de Automação

Uma solução de de automação pode ser descrita como um sistema que não necessita diretamente de interação humana para efetuar uma determinada ação. Na presente secção irão ser descritas várias soluções que utilizam sensores, regras previamente definidas ou geradas automaticamente para reduzir o consumo energético de forma automática. No entanto, apenas irão ser analisadas em detalhe as que trazem valor e interesse para o âmbito do estágio.

WeMo

Produzido pela *Belkin*³³, o WeMo permite monitorizar e controlar o estado dos equipamentos - ON/OFF. Contudo este produto optou por incorporar alguns sistemas que o tornaram mais diferenciador relativamente a outras soluções já existentes.

O sistema WeMo consiste num conjunto de componentes que são ligados à rede WI-FI de casa podendo ser manuseados pela aplicação móvel. Contrariamente às soluções até agora apresentadas, o WeMO é totalmente modular evitando a necessidade de centralizar o controlo dos equipamentos. A única desvantagem é o facto de todos os equipamentos terem de estar dentro da cobertura WI-FI do espaço onde estão instalados.

³³<http://www.belkin.com>

Outra das vantagens do WeMo consiste no componente extra que é possível de adquirir. Trata-se do *WeMo Motion* que deteta movimento até cerca de 3m, permitindo configurar o equipamento para se desligar/ligar conforme o movimento detetado. Esta é uma forma de automação simples e bastante eficaz, que permite poupar energia em alguns equipamentos.

Finalmente, a maior vantagem desta solução é a sua integração com o sistema IFTTT³⁴. Este sistema baseia-se numa rede de *triggers* e respetivas ações, ou seja, *if this then that* - se acontece um determinado evento então executa uma ação específica. A integração deste sistema possibilita o uso de dados de redes sociais, de luminosidade e do clima, para desencadear ações que permitirão por sua vez controlar o estado de equipamentos. Estes dados funcionam como um conjunto de sensores ubíquos espalhados por vários locais³⁵.

Xively

A Xively³⁶ (antiga COSM³⁷) é uma solução que se enquadra como concorrente para a unplugg, uma vez que sua estrutura está totalmente baseada na visão IoT.

Este serviço trata-se de um sistema *cloud* público (*PaaS*), que fornece um conjunto de ferramentas *web* que permitem construir soluções totalmente integras na visão da *Internet of Things*.

Dada a sua arquitetura *cloud*, é muito simples integrar uma ampla variedade de equipamentos no seu serviço. A *Xively* permite a partilha de dados de vários utilizadores de forma a serem monitorizados em tempo real. Assim, o programador tem a possibilidade de construir soluções que usem diversas fontes dados, tornando-as possivelmente mais eficazes ao conseguirem processar mais variáveis e consequentemente obter melhores resultados.

Atualmente a Xively disponibiliza uma excelente API, assim como suporte com o protocolo MQTT³⁸.

Meter Plug

Esta solução é bastante recente e, embora ainda se encontre em desenvolvimento, promete reduzir os consumos *standby* de forma simples.

³⁴https://ifttt.com/wemo_switch

³⁵https://ifttt.com/wemo_motion

³⁶<https://xively.com>

³⁷<http://blog.xively.com/2013/05/14/cosm-is-now-xively/>

³⁸Protocolo de conectividade *machine-to-machine (M2M)*/"*Internet of Things*" - <http://mqtt.org/>

O princípio base da *Meter Plug*, é a aprendizagem de padrões de consumo do utilizador diretamente em cada ficha individual, de modo a que estas mudem o estado para OFF quando é detetado uma padrão de *standby* no equipamento. Existe porém, uma necessidade um mecanismos para voltar a ligar os equipamentos. A solução encontrada por esta empresa consiste na utilização de um pequeno botão na ficha (via manual) ou então pela proximidade de um equipamento (sensivelmente 3m) com *bluetooth* devidamente configurado (iPhone, iPad, Nexus7...) ³⁹.

Estas fichas têm memória para armazenar eventos durante cerca de 2 meses, apresentando um consumo de 0.1W, ou seja, cerca de 1 cêntimo por ano tipicamente ⁴⁰.

A *Meter Plug* disponibiliza também um controlo ON/OFF através da própria aplicação móvel, que permite configurar alertas para determinados níveis de consumos, e apresentar os valores destes em tempo real.

Esta solução é certamente a mais competitiva com a proposta deste estágio, uma vez que se baseia na deteção de padrões de *standby*. Contudo, continua fortemente dependente de um *hardware* específico, o que a torna menos vantajosa.

ElectricImp

O Electric Imp ⁴¹, surge no seguimento da necessidade de equipamentos para integrarem a visão IoT. Existe uma grande procura por equipamentos baratos, eficientes e fundamentalmente com ligação à Internet. Este produto resolve todos estes problemas na forma de um simples cartão SD, que incorpora um processador de baixo consumo Cortex-M3, 6 pinos para a integração de outros sensores (todos programáveis), e que lida com encriptação WEP, WPA e WPA2.

Concretamente, para o campo da energia, este equipamento tem um papel fundamental ao ter o potencial de incorporar sensores de luz, som, e presença, relês ⁴² para ligar/desligar equipamentos, e ter uma ligação WI-FI para transmitir dados. Estas funcionalidades são facilmente programáveis e configuráveis através das plataformas e API's disponibilizadas pela empresa.

Atualmente este projeto encontra-se a ser explorado por membros da unplugg em parceria com outras equipas de investigação.

³⁹<http://meterplug.com/>

⁴⁰<http://meterplug.com/info/tech-specs/>

⁴¹<http://electricimp.com/product/>

⁴²Interruptor elétrico

Resumo

A tabela 2.2 apresenta um resumo comparativo das soluções de HEM vistas até ao momento em conjunto com outras investigadas, mas que não revelaram argumentos suficientes para serem analisadas com os sistemas de automação da presente secção.

Esta tabela irá comparar o tipo de plataforma, ou seja, se esta é aberta para programadores tendo o seu código fonte público, se fornece uma API para ser acedida, ou se é simplesmente fechada não sendo possível realizar qualquer acesso.

Também irá ser comparada o tipo de oferta e se a solução oferece um sistema de automação. O primeiro é referente às ferramentas que a solução fornece ao cliente. Estas podem ser ferramentas de monitorização em que o utilizador consegue avaliar os seus gastos energéticos através de um *dashboard*, e/ou através de controlo em que é permitido mudar o estado dos equipamentos remotamente. O segundo indica se o sistema disponibiliza soluções automáticas em que a interação com o utilizador é insignificante para o seu uso e configuração.

2.3.3 Previsão de Consumos Energéticos

Seria interessante conhecer as ferramentas usadas pelos principais concorrentes da unplugg para prever e estimar os gastos e padrões de energia. Porém, estas empresas protegem as suas soluções para obterem uma vantagem competitiva, não as tornando públicas. Existem, no entanto, estudos e são conhecidas soluções para conseguir fazer as previsões necessárias a este estudo.

Requisitos de Previsão

Num contexto de consumos energéticos residenciais, o cenário ideal seria os utilizadores apresentarem padrões de consumo regulares e constantes por forma a serem facilmente reconhecidos. Porém, o comportamento dos utilizadores tende a variar semanalmente, dificultando consequentemente a deteção e aprendizagem dos seus hábitos.

Atualmente existem diversas soluções de deteção de padrões, contudo, nem todas elas são destinadas aos mesmos cenários. Cada uma é aplicada conforme o contexto e as necessidades de um problema em particular. Neste caso, para a deteção dos padrões de consumo energético, o sistema necessita de lidar com o seguinte contexto:

Solução	Abertura	Oferta	Automação
Current Cost Envi	API	Monitorização	Não
HITS concept [41]	API	-	Não
The Energy Detective	API	Monitorização	Não
Open Energy Monitor	Aberta	Monitorização	Não
Cloogy	Fechada	Monitorização e controlo	Não
Opower	Fechada	Monitorização e análise	Não
Eragy	Fechada	Monitorização e controlo	Não
Plotwatt	API	Monitorização e desagregação	Não
Tendril	API	Monitorização	Não
AlertMe	API	Monitorização e controlo	Não
Verizon HEM	Fechada	Monitorização e controlo	Não
Nucleus Energy Monitor	Fechada	Monitorização and control	Não
WattsUp	API	-	Não
Wattvision Power Monitor	API	Monitorização	Não
Plugwise	Fechada	-	Não
Bidgely	API	Monitorização e Controlo	Não
Ecobee	API	Monitorização e Controlo	Não
NEST	Fechada	Monitorização e Controlo	Sim
Set Point	Fechada	Monitorização e Controlo	Sim
Visible Energy	API	Monitorização e Controlo	Sim
LIFX	API (em breve)	Monitorização e Controlo	Sim

Tabela 2.2: Comparação das soluções propostas na secção de HEM, abordadas e estendidas do estudo [42] em conjunto com as soluções de automação.

- Múltiplas variáveis de entrada (e.g. mês, dia da semana, hora, sensor temperatura, sensor de luminosidade)
- Detecção de padrões baseada num conjunto de dados de histórico (classificação ON/OFF);
- Mudança de padrões, derivada alterações no comportamento dos utilizadores (aprendizagem gradual e dinâmica);
- Guardar o estado de conhecimento na sua totalidade;
- Lidar com erros/ruído.

Análise de Soluções

Pela a análise dos requisitos para a previsão dos consumos podemos concluir que o algoritmo a usar:

- Necessita de classificar o estado do equipamento para um determinado *input*;
- Tem de lidar com um número desconhecido de variáveis de entrada;
- Necessita de ser supervisionado perante um conjunto de dados treino;
- Não existe qualquer conhecimento prévio de distribuições estatísticas;
- Tem de aprender e atualizar o seu conhecimento consoante a introdução de novos dados assincronamente.

Dados estes requisitos, existem várias soluções passíveis de serem usadas tais como redes Bayesianas, algoritmos genéticos, *time series* e redes neuronais artificiais. Contudo, estudos aplicados especificamente à previsão de consumos energéticos demonstraram uma convergência para a utilização de redes neuronais de multicamada comparativamente por exemplo a algoritmos genéticos [43][44] e algoritmos de *time series* [45]. Uma destas comparações é apresentada na tabela 2.3, onde para vários testes x_y é possível observar um menor valor do erro absoluto médio entre algoritmos ANN e *time series*.

Models	x_1	x_2	x_3
ANN	0.132469	0.1023	0.010582
Time Series	3.157024	0.3822347	2.1188473

Tabela 2.3: Comparação da percentagem de erro absoluto médio entre algoritmos ANN e *time series* [45].

É importante referir que este módulo de aprendizagem não é o foco do presente estudo. Assim, admite-se que as redes neuronais possam não ser a solução ideal. No entanto, dadas as conclusões positivas apresentadas pelos estudos já mencionados, em conjunto com os requisitos analisados e alguns cenários de verificação que irão ser abordagens mais à frente, assume-se que as redes neuronais artificiais apresentam as condições necessárias para cumprir os objetivos propostos.

Redes Neuronais Artificiais

As redes neuronais artificiais são unidades de processamento inspiradas no cérebro humano e também no seu processo de aprendizagem. Estas redes são constituídas por nós que têm pesos que multiplicam pelos valores chegados a esses mesmos. Geralmente, os valores obtidos só passam para o nó seguinte se o seu valor cumprir com uma determinada função de ativação escolhida pelo programador.

Existem vários tipos de ANN, no entanto, as mais usadas e referenciadas pelos estudos são as redes de multi-camada. Estas são compostas por uma camada de entrada e uma de saída, podendo ter n camadas escondidas pelo meio. Se a ligação destas camadas não criar ciclos são denominadas de *feedforward* [46] - geralmente mais usadas.

Para realizar previsões com uma rede neuronal são necessários dois passos: treino e aprendizagem. No primeiro passo, são usados dados de histórico como *input* para depois comparar o *output* da rede com o desejado (a situação real). Durante a aprendizagem, a rede neuronal tenta minimizar o erro (entre desejado e obtido), ajustando para isso pesos e *biases*. Este processo é então repetido até que o erro convirja para um mínimo.

Arquitetura Embora a abordagem das redes neuronais seja *black-box*, esta apresenta uma arquitetura [47] bem definida.

A camada de entrada deve ser vista como o órgão sensorial de toda a rede neuronal. Nesta camada existem vários neurónios sem ligações de entrada, uma vez que os valores são introduzidos diretamente através de fontes externas. Os valores de saída desta rede são depois encaminhados para a camada seguinte que pode ser tanto a escondida como a de saída.

A(s) camada(s) escondida(s) estão colocadas entre a camada de saída e entrada, podendo existir várias ou nenhuma. A razão para serem denominadas de escondidas deve-se ao facto de não serem visíveis a qualquer processo externo, levando a que as redes neuronais sejam vistas como

abordagens *black-box*. Todos os neurónios nestas camadas têm conexões de entrada e de saída.

A camada de saída é responsável por produzir o resultado final de toda a computação feita pela rede. Naturalmente que não existem ligações de saída, dado que os valores produzidos estão desde logo prontos a serem processados por qualquer processo externo.

O funcionamento da rede neuronal baseia-se em colocar informação na camada de entrada e calcular a função de ativação para cada neurónio, passando o resultado à camada seguinte. Todos os resultados e processamentos em cada neurónio estarão dependentes do treino a que foram sujeitos previamente.

Aplicação à Energia No presente projeto, e conforme irá ser avaliado na secção dos requisitos, pretende-se uma deteção de padrões de forma a criar uma previsão semanal com precisão ao nível das horas. Desta forma, na camada de entrada estarão o dia da semana e hora. Durante a fase de treino será fornecido também o estado do equipamento para o momento correspondente, por forma a que o algoritmo o compare com o resultado produzido pela camada de saída.

A longo prazo prevê-se a introdução de mais variáveis na camada de entrada como valores de sensores de movimento, temperatura e luz.

2.3.4 Resumo

No fim desta secção, foi possível perceber que apesar de existirem diversas soluções de HEM no mercado, poucas envolvem sistemas de automação inteligentes baseados em *software* que evitem a interação com o utilizador. Esta situação abre espaço à solução proposta neste estágio, que irá fazer uso de redes neuronais artificiais para aprender e prever consumos, tendo a possibilidade de usar diversas variáveis de entrada (várias informações/sensores).

Outra conclusão vital com a análise de soluções existentes, é que existem diversos sistemas abertos ou que fornecem uma API, permitindo que a plataforma aqui desenvolvida os integre facilmente (e.g. Wemo, LIFX, Visible Energy).

Capítulo 3

Metodologia

3.1 Requisitos

Para a formalização de requisitos adotou-se a técnica de *user stories*. Após algumas reuniões iniciais com os *stakeholders*, a empresa apresentou um conjunto de requisitos de alto nível para serem posteriormente analisados e divididos em *user stories*.

3.1.1 Definição e motivação

Users stories são descritas como interações informais entre dois sistemas ou entre utilizador/administrador e sistema. Geralmente são escritas usando linguagem não técnica.

Uma *user story* segue uma estrutura definida, onde os benefícios nem sempre são necessários de serem incluídos:

```
Como <papel desempenhado>  
Quero poder <funcionalidade>  
De forma a <benefício>
```

Neste estágio foram usadas *user stories* atendendo a dois fatores:

Simplicidade

A formalização de requisitos através *user stories* é bastante simples dada a sua linguagem não técnica e dado que referem geralmente aspetos de alto nível, que são facilmente compreendidos por qualquer *stakeholder* envolvido no processo.

Adaptação ao *Kanban*

Kanban trata-se de um *pull system*, ou seja, todo o processo é focado

no *output* e nos objetivos de uma determinada *user story*. Assim, no *board* desta metodologia, estarão as *user stories* que de forma clara indicarão o que deverá ser feito e porquê. Eventualmente poderão existir *acceptance stories* para validar ou certificar uma determinada *user story*. Geralmente esta situação deve ser evitada por forma a tornar o processo mais simples e potenciar a formalização de *user stories* de qualidade.

É importante referir que os requisitos não-funcionais foram também formalizados com *user stories*, embora este seja um tema que possa não reunir consenso entre autores. Ainda assim, foi adotada esta decisão por forma a que os requisitos não-funcionais possuam um contexto, que será compreendido em qualquer fase futura do projeto dada a sua estrutura simples e pragmática.

3.2 Arquitetura

3.2.1 *Drivers* Arquiteturais

Antes de iniciar a construção da arquitetura foi necessário perceber quais os *drivers* arquiteturais, ou seja, as condições impostas que obrigam a determinadas configurações. Geralmente estes *drivers* são compostos pelos requisitos funcionais, requisitos não-funcionais e limitações. Para o presente projeto: os requisitos funcionais e não funcionais foram especificados por *user stories* e as limitações foram impostas por especificações externas, ou seja, pela empresa.

Dado que o estagiário foi o único membro da equipa a trabalhar nesta plataforma e dada a simplicidade desta, não foi necessário aplicar nenhum processo mais detalhado para a elaboração da arquitetura da nova plataforma. Porém, todas as decisões tiveram de ser explicadas perante a empresa e aprovadas por esta.

3.3 Desenvolvimento de *Software*

O produto unplugg trata-se de um projeto recente cujo modelo de negócio e conceito ainda estão em fase de validação. Por estas razões, o projeto terá sempre associada uma natureza imprevisível e em constante mudança. Estes factos levaram que a que fosse adotada uma metodologia ágil tanto para o produto unplugg como para o presente estágio.

Segundo o seu manifesto, a metodologia ágil é na verdade um conceito abstrato descrito em poucas palavras, que necessita de ser concretizado por um processo mais detalhado no caso do desenvolvimento de *software*. Assim, para este projeto optou-se pela variação do *Kanban*¹ onde foram aplicados alguns princípios de *Lean Software Development*².

Nesta secção será descrita a metodologia em uso e suas diferenças implementadas. No entanto, é importante referir que existem diversas abordagens para a classificação e organização de metodologias de desenvolvimento de *software* que foram variando ao longo dos anos. Desta forma, toda a discussão de metodologias será em torno de definições recentes e em conformidade com a perspectiva adotada pela empresa unplugg.

3.3.1 *Kanban*

Prioridades Por vezes, a mudança de contexto, ou o simples *feedback* do utilizador trazem consigo novos requisitos inesperados, ou funcionalidades que necessitam de ser implementadas com a maior brevidade possível. O carácter experimental deste projeto faz com que as tarefas a desenvolver necessitem de ser organizadas por prioridades em vez de por imposições temporais. Isto leva a que facilmente sejam introduzidas novas tarefas ou que se adotem diferentes prioridades por forma a satisfazerem recentes e urgentes mudanças.

Releases Como já foi referido no parágrafo acima, o carácter deste projeto sem datas de lançamentos planeadas, faz com que seja necessária uma abordagem em que sejam criadas *releases* o mais cedo possível e em qualquer momento, por forma a que os utilizadores de teste e o estagiário possam beneficiar respetivamente o mais cedo possível das novas funcionalidades implementadas.

Estimação A estimação é sempre uma etapa incerta em qualquer processo de *software*, dado que a noção do cérebro humano não consegue acompanhar a complexidade dos projetos. Tendo em conta que a maioria das funcionalidades e requisitos deste estágio são novos sem semelhança a outros projetos conhecidos, não existem formas de estimar com uma precisão razoável o tempo que estes levarão a serem implementados. Para além deste fator, e como já foi referido, as *releases* não possuem datas determinadas, permitindo e suportando a gestão de tarefas por prioridades.

¹<http://www.everydaykanban.com/what-is-kanban/>

²<http://msdn.microsoft.com/en-us/library/vstudio/hh533841.aspx>

Equipa Durante este projeto, a equipa de desenvolvimento será constituída apenas pelo estagiário. Desta forma, leva a que tenha de ser imposto um limite de trabalho em progresso por forma a criar foco, a aumentar a rapidez de desenvolvimento de cada tarefa e a estimular um desenvolvimento contínuo e incremental, que por sua vez permite a deteção de problemas no *flow* de desenvolvimento antecipadamente.

Neste caso em concreto, foi estabelecido um WIP - *work in progress* - máximo de 2 tarefas em cada fase.

3.3.2 Vertente *Lean Software Development*

A aplicação dos princípios de *Lean Software Development* - LSD - pode parecer contraditória com *Kanban*, dado que esta última se foca muito mais no processo de desenvolvimento do que propriamente na redução de ruído. No entanto, a aplicação de *Kanban* foi necessária para estabelecer um processo mais detalhado de desenvolvimento.

Após reunião com a empresa decidiu-se que para lidar com a imprevisibilidade do projeto e a incerteza da definição dos requisitos, seria vantajosa a adoção desta vertente *Lean*.

A um nível mais prático, o uso de LSD trará um conjunto de situações que vão beneficiar o projeto:

- As tarefas deverão ser o mais pequenas possíveis levando a que a entrega destas seja feita o mais rápida possível, eliminando ruído e tarefas desnecessárias antecipadamente.
- Uma vez que os requisitos nem sempre possuem informação suficiente para serem fundamentados, LSD vem ao encontro desta situação trazendo o princípio de decidir o mais tarde possível. Geralmente, as equipas tomam decisões antecipadamente quando as podiam adiar, aumentando assim a probabilidade de uma decisão correta ao recolher mais informação necessária à decisão.

Estes princípios permitiram um desenvolvimento sistemático, contínuo e rápido garantindo uma redução de defeitos significativa em que é o próprio cliente/empresa a estimular o processo de desenvolvimento.

3.3.3 Ferramentas

Pivotal Tracker

O *Pivotal Tracker*³ é uma ferramenta utilizada com o intuito de gerir o trabalho, geralmente de toda uma equipa. Esta ferramenta, permite registar as tarefas a realizar por prioridades, atribuindo-lhes uma carga de esforço numa determinada escala mensurável, tendo ainda a possibilidade de priorizar algumas funcionalidades ou *bugs* que possam surgir.

Pelas funcionalidades acima mencionadas, o *Pivotal Tracker* permite prever e avaliar o estado do projeto através da velocidade a que os pontos pertencentes às tarefas estão a ser completados. Outra grande vantagem, é a visualização em termos gráficos das tarefas, através de um quadro onde estão distribuídas por *icebox*, por fazer, em progresso, em teste e aceites.

Esta plataforma é facilmente partilhável com o orientador para que este tenha acesso constante ao progresso e possa validar alguns aspetos de forma mais imediata.

GitHub

De modo a fazer uma gestão eficiente do código produzido pelos elementos da empresa, esta optou pelo uso do sistema de controlo de versões Git⁴.

Para manter o código acessível a partir de qualquer local e assegurar a sua segurança, a unplugg utiliza o serviço *GitHub*⁵. Este é um serviço de alojamento de repositórios Git largamente utilizado pela comunidade de programadores, que permite uma boa visualização do código dos projetos e possibilita que este seja comentado no local pelo orientador. Além destes aspetos, o *GitHub* permite uma fácil visualização da ramificação criada pelos *branches* existentes, levando a que o programador tenha uma noção mais clara do estado e estrutura do seu trabalho.

Esta ferramenta é usada atualmente pela equipa da unplugg, sendo feito um controlo e aprovação de novas funcionalidades através do sistema de *pull requests* - o programador submete o seu ramo de trabalho com as alterações realizadas, e espera que alguém da equipa o valide e aceite para o unir ao ramo principal. No contexto particular deste estágio, dada a falta de contexto da restante equipa, a validação é feita em conjunto com o estagiário.

³<http://www.pivotaltracker.com/>

⁴<http://git-scm.com/>

⁵<http://github.com>

3.4 Testes

A plataforma desenvolvida neste estágio foi desenhada e construída de raiz, pelo que não existiam inicialmente quaisquer tipos de testes. Embora o cenário ideal consistisse numa cobertura de testes perto de 100%, devido a restrições de tempo de desenvolvimento não foi possível atingir esse valor. Contudo, foi feita uma cobertura de testes que garantisse a integração com o produto unplugg, o correto funcionamento dos principais módulos de código e que assegurasse o cumprimento dos requisitos.

A construção dos testes foi feita no fim da implementação de cada módulo de forma a validar o correto funcionamento das novas funcionalidades e a evitar a propagação de erros a fases seguintes do projeto. Desta forma, e de acordo com a metodologia de desenvolvimento de *software* adotada, considerou-se que os testes estão implícitos na elaboração de cada tarefa, não necessitando de serem incluídos explicitamente na secção relativa ao planeamento.

3.4.1 Especificação

Os requisitos foram a base para a formalização dos testes que foram divididos em dois grupos. Em primeiro, testes de unidade que permitem assegurar o correto funcionamento de alguns componentes e a conexão entre serviços. Por último testes de aceitação que asseguram o cumprimento dos requisitos fundamentais em todo o seu processo.

O Apêndice G.1 e G.2 lista o *spec* de testes unitários e de aceitação implementados usando bibliotecas como *mocha*, *should* e *assert* de *node.js*.

3.5 Planeamento

Nesta secção será descrito o plano inicial para os dois semestres deste estágio. No Apêndice B poderão ser consultados os diagramas de *Gantt* construídos para ambos os semestres.

3.5.1 Primeiro Semestre

Os primeiros seis meses deste estágio foram dedicados maioritariamente à integração com a restante a equipa e à contextualização da problemática em estudo, ou seja, o estado da arte.

Durante o primeiro semestre deste estágio, o estudo das soluções atuais e a experimentação de tecnologias acompanhou sempre o plano de trabalhos,

☞ ☰ Title	Effort	Start	End
• 1) Estudo da plataforma unplugg	2w 1d	9/3/12	9/17/12
• 2) Implementação de pequenas funcionalidades na unplugg	< 1w 4d	9/18/12	9/28/12
• 3) Estudo de problemáticas da Energia	2w 1d	10/2/12	10/16/12
• 4) Estudo de soluções atuais	8w	10/16/12	12/10/12
• 5) Experimentação de tecnologias	7w	10/23/12	12/10/12
• 6) Redefinição do âmbito de estágio	2w 1d	11/5/12	11/19/12
• 7) Definição da estrutura do relatório intermédio	1w 4d	11/20/12	11/30/12
• 8) Definição de requisitos e arquitetura da plataforma	2w 1d	12/3/12	12/17/12
• 9) Redação do relatório intermédio	< 2w 4d	12/18/12	1/4/13
♦ 10) Primeira versão do relatório		1/4/13	1/4/13
• 11) Revisão do relatório intermédio	3w 1d	1/7/13	1/28/13
♦ 12) Entrega do relatório intermédio		1/28/13	1/28/13

Figura 3.1: Listagem de tarefas do primeiro semestre com o respetivo esforço, data de início e fim.

uma vez que as soluções e o próprio ecossistema da energia está em constante mudança. Esta abordagem permitiu que a análise destes dois pontos fosse o mais atual possível.

Ainda durante este semestre, o plano e âmbito inicialmente traçados foram ligeiramente alterados, focando-se num sistema de automação inteligente para eliminar o *standby*, utilizando *power meters*. Foi também estruturada a arquitetura prévia da nova plataforma a desenvolver.

Na figura B.1 estão registados todos estes passos num diagrama de *Gantt*, sendo este completado com figura 3.1.

3.5.2 Segundo Semestre

Apesar da abordagem *Kanban* não categorizar as tarefas a desenvolver por tempo mas sim por prioridades, é necessário alguma noção do esforço de cada tarefa de modo a conseguir que o projeto termine dentro do prazo estabelecido. Para tal, foram estabelecidas 5 *milestones* (figura 3.2) mensais por ordem de prioridade mais alta para conseguir controlar a progressão do estágio, sendo detalhado entre cada uma algumas das tarefas mais importantes a realizar.

1^a Milestone - Sistema de regras, sem inteligência

Nesta fase estava prevista a implementação do sistema base. Este seria constituído pela plataforma e bases de dados e teria de ser capaz de executar determinadas regras (módulo de regras) introduzidas manualmente, controlando remotamente os equipamentos.

2^a Milestone - Sistema de automação inteligente

No fim do mês de Março era esperado incluir o sistema de automação inteligente em funcionamento - módulo de aprendizagem. Porém, de forma avaliar a performance deste seria também necessário implementar previamente as KPI do sistema.

Dado que o sistema de automação é baseado em técnicas de previsão, estava previsto algum tempo de experimentação com a tecnologia e afinação dos parâmetros por forma a obter melhores resultados.

3^a Milestone - Sistema totalmente funcional

Por finais do mês de Abril, estava previsto que o sistema já estivesse totalmente funcional com todos os requisitos cumpridos. Para tal era esperada a implementação do módulo de estatísticas e uma pequena plataforma que permitisse a visualização do *output* de todo o sistema, facilitando o *benchmark* do módulo de aprendizagem.

4^a Milestone - Fim da recolha de resultados

Tendo tido início na 3^a Milestone, era previsto no final do mês de Maio terminar todas as tarefas em curso, que estariam relacionadas com a melhoria de módulos, limpeza de código e afinação de algoritmos.

Nesta fase era esperado que o sistema estivesse totalmente terminado e em pleno funcionamento.

5^a Milestone - Entrega final

No início do mês de Julho era prevista a entrega do relatório de estágio final, pelo que o mês anterior estaria dedicado à escrita deste e à sua revisão.

Por esta altura estaria também prevista a finalização do artigo para a *7th International Conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting*⁶ a realizar este ano em Coimbra. Uma vez que as datas de entrega eram desconhecidas, esta meta estava pendente mediante a existência de resultados relevantes a tempo da entrega final.

3.5.3 Execução do planeamento

Durante o primeiro semestre, uma vez que a produção de código foi reduzida, o plano foi cumprido com rigor, não tendo existido qualquer diferença entre o planeado e o que foi executado.

⁶<http://www.eedal-2013.eu/>

Title	Effort	Start	End
• 1) Plataforma base e base de dados	2w	2/4/13	2/15/13
• 2) Sistema de controlo remoto de equipamentos	4d	2/18/13	2/21/13
• 3) Sistema de execução e adiamento de regras	1w	2/22/13	2/28/13
♦ 4) Sistema de automação baseado em regras, sem inteligência		3/1/13	3/1/13
• 5) Implementação de KPI	4d	3/1/13	3/6/13
• 6) Unidade de Processamento	3w 2d	3/7/13	3/29/13
• 7) Afinação de parâmetros da rede neuronal	1w 4d	3/19/13	3/29/13
♦ 8) Sistema de automação com a componente de aprendizagem e KPI		4/1/13	4/1/13
• 9) Afinação dos algoritmos e componentes em uso	> 8w 4.75d	4/1/13	5/31/13
• 10) Notificações por e-mail	1w	4/1/13	4/5/13
• 11) Estatísticas Reais e de Ganho	2w	4/8/13	4/19/13
• 12) Plataforma de visualização teste da rede neuronal	1w 2d	4/22/13	4/30/13
♦ 13) Sistema totalmente funcional		5/1/13	5/1/13
• 14) Redação do artigo para a EEDAL 2013	9w	5/1/13	7/2/13
♦ 15) Fim da recolha de resultados		6/3/13	6/3/13
• 16) Redação do relatório final	4w	6/3/13	6/28/13
• 17) Revisão do relatório final	2d	7/1/13	7/2/13
♦ 18) Entrega Final		7/3/13	7/3/13

Figura 3.2: Listagem de tarefas planeadas do segundo semestre com o respetivo esforço, data de início e fim.

No decorrer do segundo semestre os planos sofreram algumas alterações em relação ao previsto (figura 3.3). Estes foram cumpridos com rigor até à primeira *milestone*. No entanto, dada a imaturidade da linguagem Node.js e a inexistência de boas práticas desta tecnologia, levou a que fossem provocados alguns erros principalmente ao nível da estruturação de código e consequentemente à necessidade de *refactoring* do código produzido até ao momento. Estes imprevistos em conjunto com dificuldades de *deploy* do módulo de aprendizagem no *IronWorker*, estenderam a data da 2^a *milestone* até à primeira semana de Abril aproximadamente.

Durante a terceira *milestone*, apesar do módulo de aprendizagem já se encontrar em funcionamento, os seus resultados eram pouco satisfatórios, pelo que foi prioritário conduzir esforços na afinação da configuração das redes neuronais. Estes esforços traduziram-se na implementação de cenários mais extensivos com dados sintéticos e reais de forma a obter uma configuração estável e com resultados positivos. Posteriormente, toda esta situação em conjunto com o atraso da 2^a *milestone* fez com que a implementação das estatísticas fosse adiada na sua totalidade para o mês de Maio.

Apesar dos atrasados acima descritos, estes foram compensado com o cancelamento da entrega do artigo para a conferência internacional *EEDAL*. Este cancelamento deveu-se ao facto da data para entrega do artigo ter sido

Title	Effort	Start	End
• 1) Plataforma base e base de dados	2w	2/4/13	2/15/13
• 2) Sistema de controlo remoto de equipamentos	4d	2/18/13	2/21/13
• 3) Sistema de execução e adiamento de regras	1w	2/22/13	2/28/13
♦ 4) Sistema de automação baseado em regras, sem inteligência		3/1/13	3/1/13
• 5) Implementação de KPI	4d	3/1/13	3/6/13
• 6) Refactoring de código	1w	3/7/13	3/13/13
• 7) Deploy IronWorker	4d	3/14/13	3/19/13
• 8) Unidade de Processamento	3w 2d	3/19/13	4/10/13
• 9) Ajustação de parâmetros da rede neuronal	1w 4d	3/29/13	4/10/13
♦ 10) Sistema de automação com a componente de aprendizagem e KPI		4/1/13	4/1/13
• 11) Ajustação dos algoritmos e componentes em uso	> 8w 4.75d	4/1/13	5/31/13
• 12) Notificações por e-mail	1w	5/1/13	5/7/13
• 13) Estatísticas Reais e de Ganho	2w	5/9/13	5/22/13
• 14) Plataforma de visualização teste da rede neuronal	1w 2d	5/23/13	5/31/13
♦ 15) Sistema totalmente funcional		5/1/13	5/1/13
♦ 16) Fim da recolha de resultados		6/3/13	6/3/13
• 17) Redação do relatório final	4w	6/3/13	6/28/13
• 18) Revisão do relatório final	2d	7/1/13	7/2/13
♦ 19) Entrega Final		7/3/13	7/3/13

Figura 3.3: Listagem de tarefas executadas no segundo semestre com o respetivo esforço, data de início e fim.

estabelecida a 17 de Abril, altura em que ainda não existiam dados relevantes pela falta de estatísticas e pelo mau funcionamento da componente de aprendizagem.

Capítulo 4

Visão do Produto

4.1 Especificação Funcional

Neste estágio pretende-se criar um MVP - *Minimum Viable Product* - pelo que os seus requisitos mínimos de performance são ainda desconhecidos dada a inexistência de clientes para a plataforma. Porém, existem outros que necessitam de ser definidos.

Esta secção pretende familiarizar o leitor com os requisitos da plataforma a desenvolver.

4.1.1 Análise de Requisitos

Como foi referido, inicialmente foram propostos alguns requisitos de alto nível por parte da empresa que podem ser vistos como os objetivos principais de todo o projeto:

- O sistema deve eliminar o *standby* de equipamentos;
- O sistema não deve afetar o quotidiano do utilizador;
- O sistema deve ser financeiramente sustentável para o utilizador e para a empresa.

Tendo a listagem acima apresentada como ponto de partida, em reunião com os *stakeholders* foram formalizados os requisitos em *user stories*. Estes podem ser consultados no Apêndice A onde estão divididos de acordo com a perspetiva do administrador e do utilizador.

4.2 Análise de Riscos

Na fase inicial do projeto tiveram de ser contemplados diversos cenários que poderiam comprometer o sucesso do presente projeto. No apêndice C pode ser consultada toda a análise.

Nesta secção será feita listagem dos potenciais riscos inicialmente analisados bem como uma análise dos que se concretizaram e de que forma influenciaram o desenvolvimento e os objetivos finais do projeto.

4.2.1 Listagem sumária dos riscos

Equipamentos

- Risco 1 - Mudança de API;
- Risco 2 - Avaria dos equipamentos.

Utilizadores

- Risco 1 - Desinteresse dos utilizadores;
- Risco 2 - Inexistência de utilizadores de teste.

Deploy

- Risco 1 - Incompatibilidades no *deploy*.

4.2.2 Riscos Verificados

Risco 2 - Avaria dos equipamentos

Embora a probabilidade inicialmente prevista seja de 5%, esta era respetiva à avaria de todos os equipamentos dos utilizadores teste.

Dado o baixo o número de utilizadores de teste é relevante assinalar algumas anomalias que ocorreram:

1. Equipamentos de dois *beta-testers* deixaram de recolher dados e atuar corretamente desde o início do projeto;
2. Os equipamentos em geral apresentaram falhas temporárias na recolha de dados;
3. Os equipamentos em geral apresentaram falhas na atuação remota devido a problemas das tomadas.

Na prática, cada um destes acontecimentos resultou respetivamente nos seguintes impactos:

1. Dado que se trataram de dois equipamentos em três disponíveis, o número de utilizadores teste diminui significativamente. Embora não tenha impacto significativo no sucesso do projeto, este problema faz com que os dados disponíveis para validação percam qualidade;
2. Diminuiu a quantidade de dados a serem usados nas estatísticas. Não teve impacto significativo para o projeto;
3. Provocou um aumento da percentagem de regras contrariadas pelo utilizador.

De forma contornar os impactos apenas do ponto 3 apenas foi necessário ter em conta o aumento da percentagem de regras contrariadas pelo utilizador na análise final bem como o aumento da eficácia do algoritmo (não houve desperdícios). Porém, dada a baixa frequência dos acontecimentos, estes não são relevantes para o sucesso do projeto.

Capítulo 5

Arquitetura

Em síntese, a nova solução consiste numa plataforma *on-line* que recolhe os dados de monitorização das tomadas (através das API destas) e os envia para um serviço externo, o *IronWorker*. Este último será responsável pela deteção dos padrões de consumo das *plugs* em uso, sendo um elemento vital, dado que permite escalar o pesado processo de aprendizagem usando um conjunto de instâncias disponíveis numa *pool* do serviço. Posteriormente os padrões de uso serão usados para prever os comportamentos dos equipamentos na semana seguinte, sendo traduzidos através de regras para os ligar e desligar. Esta aprendizagem é um processo contínuo pelo que tem de ser guardado o estado da aprendizagem dos padrões num serviço externo, a *Amazon S3*. No fim, a equipa poderá visualizar os indicadores de performance dos mecanismos em uso através do *browser* ou do *email* para cada utilizador e estes últimos poderão consultar a sua poupança real através dos gráficos e dados disponibilizados pela unplugg.

O unplugg, é um produto e serviço atualmente em funcionamento como versão *beta* pública. Este encontra-se ainda em fase de prova de conceito, pelo que as mudanças na sua estrutura e funcionalidades estão em constante evolução e alteração.

Um dos requisitos deste estágio é a integração transparente e limpa de uma nova plataforma que vá ao encontro dos requisitos já mencionados na secção 4.1.1, garantindo sempre que a plataforma atual da unplugg não seja afetada negativamente. Se possível, esta nova plataforma deve ser uma base estável e reusável, que se enquadre na visão da empresa para o futuro, ou seja, passar toda a carga da API atual para esta nova plataforma, libertando a experiência do utilizador no acesso *web - browser* - do peso computacional da mesma API.

5.1 unplugg

A plataforma da unplugg (figura 5.1) trata-se de um serviço *web* desenvolvido em *Ruby on Rails*¹. Atualmente esta está alojada numa plataforma IaaS, a DigitalOcean², que pode ser vista simplesmente como uma VPS.

Esta aplicação divide-se em várias instâncias, responsáveis por lidar com a interação dos utilizadores através do *browser* e por executar trabalhos mais pesados em *background*.

O serviço atual contempla uma base de dados NoSQL³ MongoDB⁴ alojada no próprio servidor, mas aberta para o exterior mediante autenticação. É nesta base de dados que estão armazenados todos os dados dos utilizadores, equipamentos e respetivos consumos.

Atendendo a que a unplugg é tendencialmente agnóstica para com o *hardware* e esta é a sua componente chave, não irá ser detalhada a sua implementação. Porém, tanto a extração de dados dos equipamentos (*smart meters*, *power meters*) como a integração destes é feita recorrendo à API dos fornecedores dos mesmos equipamentos.

5.2 Nova Plataforma

5.2.1 Drivers Arquiteturais

Requisitos Funcionais

MailGun Serviço *third party* certificado para o envio de e-mails de forma a evitar que sejam filtrados como *SPAM*;

Node.js Dada a necessidade de algum processamento para estatísticas e deteção de *standby* a linguagem deve ser focada também na sua performance;

S3 O estado de aprendizagem deve ser gravado. Dado que se trata de um ficheiro de configuração é necessário guardar o estado num serviço específico de armazenamento.

Requisitos Não-Funcionais

¹<http://rubyonrails.org/>

²<http://www.digitalocean.com>

³<http://nosql-database.org/>

⁴<http://www.mongodb.org/>

5.2.2 Módulos e Serviços

Na figura 5.2 é possível ter uma noção geral de todo o sistema desenvolvido. Este é composto 4 módulos principais internos desenvolvidos em Node.js com suporte da *framework express*⁵ e um conjunto de serviços externos que permitem tornar a solução totalmente integrada na *cloud*, cumprindo os requisitos.

Atualmente, a plataforma encontra-se alojada no *AppFog*⁶. Este trata-se de um *PaaS*, sendo uma solução temporária até efetuar uma migração para a VPS da unplugg. Contudo, para fins de desenvolvimento, este serviço apresentou boas especificações como a possibilidade de usar 2GB de memória RAM, mais do que uma instância e integrar vários *add-ons* (MongoLab, MailGun, IronWorker) sem qualquer custo.

⁵<http://expressjs.com/>

⁶<https://www.appfog.com/>

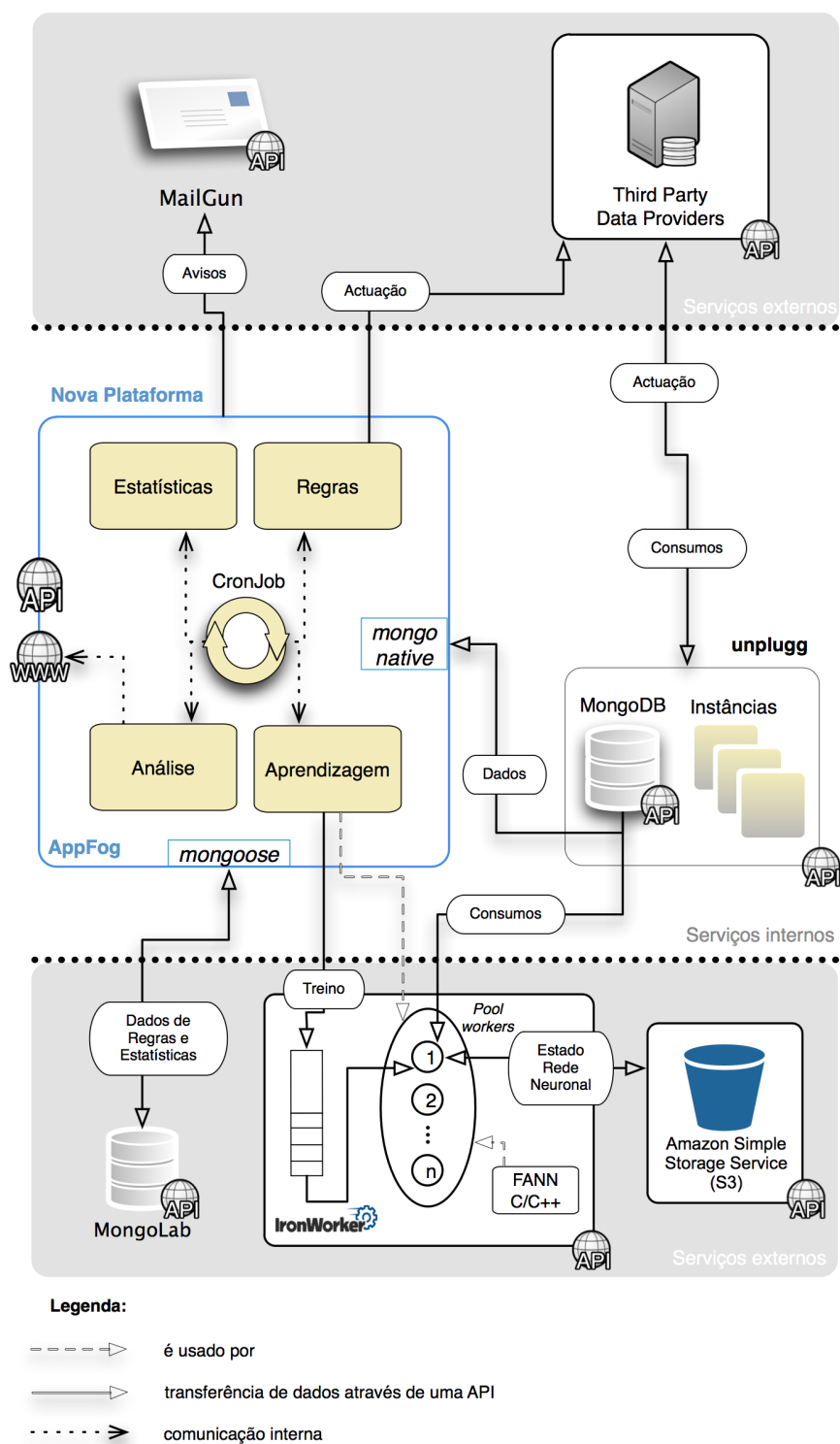


Figura 5.2: Arquitetura geral de todo o sistema

Módulos internos

Observando a imagem 5.3, é possível identificar os 4 módulos desenvolvidos e a sua ligação com um *cronjob*. Este trata-se de um mecanismo que desencadeia ações de acordo com um padrão temporal. Este componente é responsável por semanalmente dar início ao cálculo das estatísticas e à atualização das redes neuronais, de hora a hora verificar e executar as regras existentes e a cada 10 minutos verificar se existem trabalhos que não foram executados devido a erros que tenham surgido.

A ligação à base de dados é feita recorrendo a um *Object-Document Mapper* (*mongoose*⁷) que facilita a manipulação dos dados. Porém, para lidar com dados externos foi usado o *driver* nativo de *Mongo*⁸.

De seguida, será feita uma descrição de cada um dos módulos internos.

Estatísticas Responsável pelo cálculo das estatísticas com base nos consumos dos equipamentos. Existem três tipos de estatísticas possíveis de serem processadas: estatísticas de ganho que permitem ao utilizador analisar quanto poderia poupar mesmo sem ter o sistema de automação ligado; estatísticas reais que descrevem os ganhos para o utilizador por estar a usar o sistema; e estatísticas de teste para a realização de *benchmarks* pelos administradores/programadores.

Regras Responsável por toda a lógica das regras associadas aos equipamentos. Tem como papel executar as regras estabelecidas. Porém, sempre que surge uma regra para desligar um equipamento e este se encontra em uso, este módulo irá adiar a regra e avisar o utilizador.

Internamente as regras são apenas registos de transição do estado do equipamento, onde para um dado dia da semana a uma determinada hora o equipamento deverá transitar para o estado definido na regra (1 - ON, 0 - OFF).

No exemplo apresentado abaixo, estão duas transições onde o equipamento se liga às 20h de uma 4^afeira, voltando a desligar-se às 23h desse mesmo dia.

[... [[20,4],1], [[23,4],0] ...]

Análise Tem como objetivo juntar todos os dados estatísticas para fornecer aos administradores as KPI identificadas nos requisitos. Estas poderão ser consultadas através do *browser* ou por e-mail semanalmente.

⁷<http://mongoosejs.com/>

⁸<http://mongodb.github.io/node-mongodb-native/>

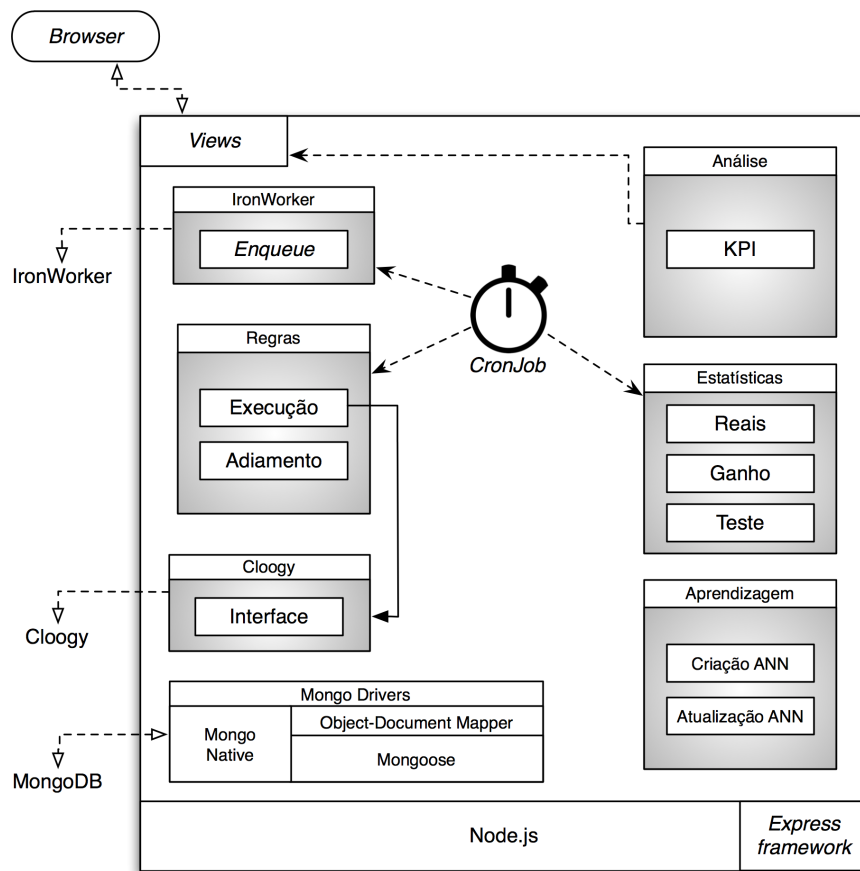


Figura 5.3: Arquitetura da nova plataforma.

Aprendizagem Contém todo o código usado pelas instâncias deste último para fazer a aprendizagem dos padrões de estado dos equipamentos através das redes neurais e conseqüentemente a previsão semanal através de regras. Este módulo é usado localmente para testes, porém encontra-se também nas instâncias do *IronWorker* para o ambiente de produção.

Existe ainda um pequeno módulo associado ao da aprendizagem, que é responsável por lançar todas as tarefas para o *IronWorker*.

Detalhes sobre a implementação deste módulo e do funcionamento do serviço *IronWorker* serão apresentados na seção 5.2.3.

Serviços externos

Para além destes módulos, o sistema interage com diversos serviços externos:

MailGun Serviço responsável pelo envio de *e-mails* do sistema através dos seus próprios servidores, que já foram validados e certificados pelos servidores de *e-mail* mais conhecidos, diminuindo desta forma a probabilidade de o email ser marcado como *spam* e consequentemente ignorado.

MongoLab A base de dados encontra-se alojada no MongoLab⁹, um serviço instalado na Amazon EC2, que tem integração com a *Appfog* onde se encontra a nova plataforma. A comunicação com este serviço é feita através de uma API REST usando os *drivers mongoose* e *mongo-native* para Node.js como *Object-Document Mappers*.

A equipa do MongoLab é responsável pela gestão da base dados (retirando essas tarefas tanto da empresa como do estagiário), uma vez que possuem conhecimentos especializados para a sua manutenção e otimização.

A escalabilidade da base dados é facilmente gerida com a existência de diferentes planos. Todavia, prevê-se que a médio prazo a base dados aqui usada seja migrada para a VPS da *unplugg* de forma a reduzir custos.

Atualmente existem duas base de dados. Uma de produção e outra dedicada à realização de testes.

unplugg A ativação de todo o sistema de automação terá início no serviço da unplugg. Este terá o papel de fornecer ao utilizador um interface, para que possa ativar e desativar o sistema de automação para o respetivo medidor. Sempre que é feita alguma alteração, é gravada na base dados essa informação, que será apenas lida quando a nova plataforma pretender executar uma regra. Todas as restantes funcionalidades são executadas sem necessitar desta informação, permitindo assim que o sistema se antecipe no processo de aprendizagem.

A nova plataforma terá também acesso direto à base de dados da unplugg, de forma a poder recolher todos os consumos necessários através do módulo de aprendizagem.

Third Party Data Providers Serviço que, através das suas API, permite recolher dados relativos aos consumos dos equipamentos e efetuar mudanças de estado nos mesmos (ON/OFF).

Na prática apenas foram usados os equipamentos Cloogy. Embora pouco madura, a API destes equipamentos permite que as necessidades da solução proposta nesta tese sejam cobertas. A API apresenta um interface *REST* e permite:

⁹<http://mongolab.com>

- Aceder aos dados em tempo real dos dispositivos;
- Aceder a dados até dois meses de antecedência por pedido;
- Controlar o estado das *plugs* Cloogy ON e OFF remotamente;
- Leituras a cada 15 minutos.

IronWorker Serviço pertencente ao *Iron.io*, que fornece uma *pool* de *workers* ou instâncias de tamanho variável, tornando possível escalar qualquer processo que tenha um peso computacional pesado excessivo para um servidor HTTP. Caso a *pool* atinja o seu limite máximo os trabalhos ficam em espera numa *queue* disponibilizada pelo próprio serviço.

Cada instância do *IronWorker* trata-se de uma máquina *UNIX* virtual podendo ser configurada à medida do programador tendo um limite máximo de computação de uma hora. No sistema em questão, as instâncias foram configuradas com a biblioteca *FANN C/C++*¹⁰ para suportarem as redes neurais artificiais e carregarem o módulo de aprendizagem desenvolvido na nova plataforma.

Cada um dos *workers* tem ligações diretas às bases dados para recolher consumos e gravar regras sem interferir com as instâncias da nova plataforma, bem como ligação à Amazon S3 para gravar o estado das redes neurais, através da sua API (figura 5.4).

Todo o processo de comunicação com este serviço é feito através da sua API fornecida.

¹⁰<http://leenissen.dk/fann/wp/>

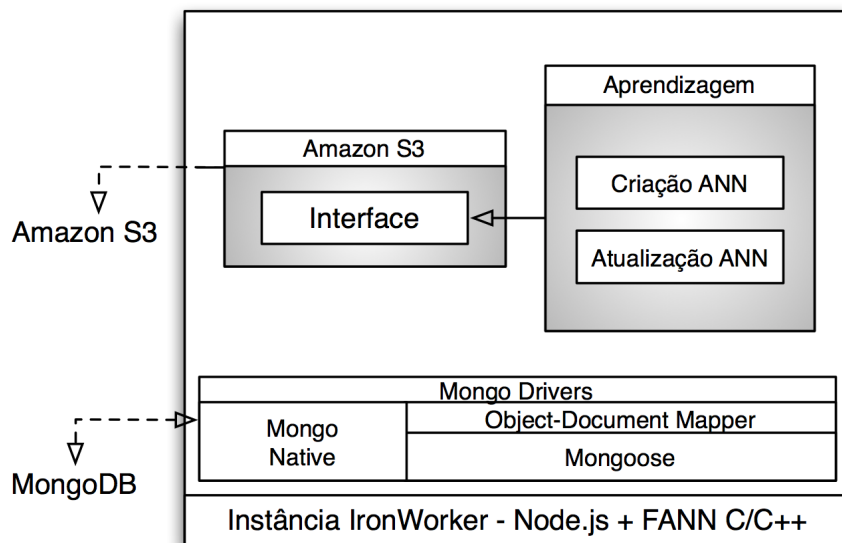


Figura 5.4: Arquitetura de uma instância do *IronWorker*

Amazon S3 A biblioteca usada para as redes neurais apenas permite guardar o estado de aprendizagem em ficheiro. Dado que as plataformas de alojamento (*PaaS*) não permitem a gravação de ficheiros em disco, os novos ficheiros de configuração produzidos tiveram de ser alojados num sistema externo, como a Amazon S3¹¹ (Amazon Simple Storage Service) que pertence aos AWS (*Amazon Web Services*). Mais concretamente, os ficheiros gerados são gravados em *buckets* criados explicitamente na Amazon S3.

Tal como nos serviços anteriores, a comunicação é feita usando a API disponibilizada.

5.2.3 Implementação

A maioria dos módulos/serviços implementados não necessitam de uma descrição detalhada da sua implementação para o contexto do presente relatório. Contudo, existem alguns como os de análise/estatísticas (responsáveis pelas KPI) e aprendizagem que necessitam de alguns esclarecimentos adicionais.

¹¹<http://aws.amazon.com/s3/> - Amazon S3 fornece um serviço *web* simples, altamente escalável, seguro e estável que pode ser usado para guardar e retirar dados em qualquer altura e em qualquer lugar

Plataforma

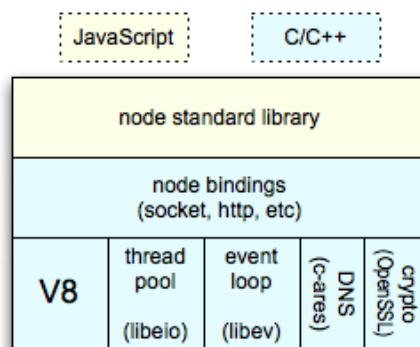


Figura 5.5: Arquitetura de Node.js

Desde início que o desenvolvimento da plataforma foi pensado tendo por base Node.js. Além das características que irão ser mencionadas, a natureza *web* desta plataforma, vai também ao encontro das necessidades de visualização de dados em tempo real (futuro da plataforma unplugg) e da interação com as API's dos fornecedores dos equipamentos via *REST*.

Node.js surgiu muito recentemente, e vem com a promessa de ser uma solução extremamente escalável, orientada a eventos, evitando bloqueios de I/O. Esta tecnologia trata-se de um ambiente *server-side* em *JavaScript* que está construída sobre o motor *Javascript* do browser Google Chrome¹², o V8 (figura 5.5). Porém, enquanto que este motor suporta principalmente *Javascript*, Node faz com sejam suportados processos de longa duração, evitando assim o uso de servidores como *nginx* ou *Apache*. *JavaScript* é uma excelente solução para Node.js, uma vez que a linguagem suporta *event callbacks* indo ao encontro do paradigma de orientado a eventos de Node.

Tanto o V8 como Node são maioritariamente construídos em C e C++ tendo um grande foco a nível de baixos consumos de memória e performance [48]. Este último ponto pode ser facilmente comprovado pela análise feita pelo website *The Computer Language Benchmark Game*¹³. Segundo os dados apresentados, para um servidor de 32bits, o motor V8 *JavaScript*¹⁴ distancia-se bastante de *ruby*, *php* e *perl* com melhor performance (em média 12 vezes mais rápido), chegando a aproximar-se de *go*¹⁵.

¹²<http://nodejs.org/>

¹³<http://benchmarksgame.alioth.debian.org>

¹⁴<http://benchmarksgame.alioth.debian.org/u32/benchmark.php>

¹⁵<http://golang.org>

Como já foi falado, Node.js apresenta excelentes resultados a lidar com cargas elevadas I/O conforme é possível confirmar pelos gráficos presentes no Apêndice D.

Para além de especificações mais técnicas, a comunidade de Node.js tem vindo a crescer a um ritmo bastante alto¹⁶, o que resulta num excelente suporte para o seu desenvolvimento.

KPI

Na secção 4.1.1 correspondente aos requisitos, foram definidas algumas KPI necessárias ao projeto cujas implementações ainda não foram detalhadas.

Eficiência

$$\text{Eficiência}_{\text{algoritmo}} = \frac{1}{N} \sum_i^N 1 - \frac{\text{desperdicioEnergia}}{\text{totalConsumido}} \quad (5.1)$$

Média da eficiência do algoritmo para cada equipamento onde *desperdicioEnergia* representa o *standby* não detetado pelo sistema de automação e *totalConsumido* o total consumido pelo equipamento.

Fricção do utilizador

$$\text{friccaoUtilizador} = \frac{100}{N} \sum_i^N \frac{\text{wastedOverrideOff}}{\text{totalConsumido}} \quad (5.2)$$

Média da percentagem do consumo desperdiçado por o utilizador ter contrariado a regra (*wastedOverrideOff*), onde *totalConsumido* é o total consumido pelo equipamento.

Média de poupança

$$\text{AM}_{\text{poupanca}} = \frac{1}{N} \sum_i^N \frac{\text{recuperado}}{\text{totalConsumido}} \quad (5.3)$$

$$\text{poupanca} = \text{AM}_{\text{poupanca}} \cdot 100 \quad (5.4)$$

Média da relação entre poupança por equipamento e o total consumido, onde *recuperado* significa todo o *standby* poupado com o sistema de automação e *totalConsumido* o total consumido pelo equipamento.

¹⁶<http://mashable.com/2011/03/09/node-js/>

Desvio padrão de poupança

$$\sigma_{\text{poupança}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i^N (\text{recuperado}_i - \text{AM}_{\text{poupança}})^2} \quad (5.5)$$

Desvio padrão da relação entre poupança por equipamento e o total consumido, onde *recuperado* significa todo o *standby* poupado com o sistema de automação, *totalConsumido* o total consumido pelo equipamento e $\text{AM}_{\text{poupança}}$ a média de poupança.

Aprendizagem e IronWorker

Preparação dos dados Os dados recolhidos das tomadas são compostos por um *timestamp* e pelo respetivo consumo. Dado que, segundo os requisitos enunciados, se pretende fazer uma previsão semanal, é retirado ao *timestamp* a hora do dia e o dia da semana. Estes dois dados vão ser as entradas da rede neuronal artificial que terá como saída o estado do equipamento (figura 5.6). Para a fase de treino o estado do equipamento corresponderá a ON(1) sempre que o seu consumo for superior à *baseline* detetada e a OFF(0) em caso contrário.

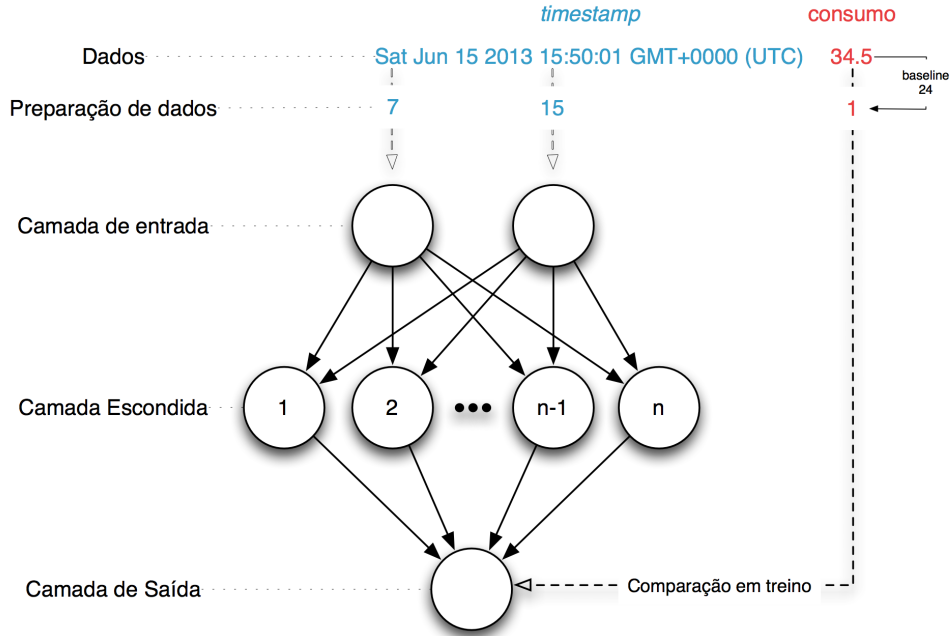


Figura 5.6: Preparação dos dados e introdução dos mesmos na rede neuronal.

Configuração Rede Neuronal Dada a abordagem *black-box* de uma rede neuronal, não existem regras ou procedimentos conhecidos que permitam configurar à partida uma rede neuronal para uma situação específica.

A solução abordada passou pela realização de diversos testes com várias combinações de parâmetros para perceber quais as configurações com melhores resultados. Inicialmente foram feitos testes com dados gerados sinteticamente para validar o algoritmo sendo posteriormente feitos com dados reais. Cada teste foi executado 30 vezes sendo construída posteriormente uma *confusion matrix* com a média dos testes. Para comparar configurações foi aplicado o algoritmo F_1score [49] a cada *confusion matrix* resultante, o que permitiu atribuir uma classificação da qualidade de cada teste e consequentemente ordená-los pelo valor mais alto (revelando as melhores configurações).

Configurações	
Número de camadas	1
Número de nós da camada escondida	10
Erro Máximo	0.01
Número Máximo de <i>epochs</i>	50000
<i>step epochs</i>	100

Tabela 5.1: Configurações da rede neuronal artificial obtidas depois da realização dos testes.

Na tabela 5.1 podem ser observadas as configurações obtidas após a realização de todos os testes que obtiveram melhores resultados. Todos os detalhes, definições dos parâmetros e valores de passos intermédios podem ser consultados no Apêndice E.1.

IronWorker O IronWorker trata-se de um serviço com várias instâncias. Estas foram configuradas com o módulo FANN C/C++ e serão responsáveis por executar o módulo de aprendizagem construído durante o estágio que irá recolher consumos, classificá-los como ON ou OFF, treinar a rede neuronal (ou criar uma nova caso ainda não exista), para no fim guardar o seu estado na Amazon S3 e criar as regras para os equipamentos. Todo este processo (figura 5.7) é repetido para cada tomada inteligente existente na unplugg.

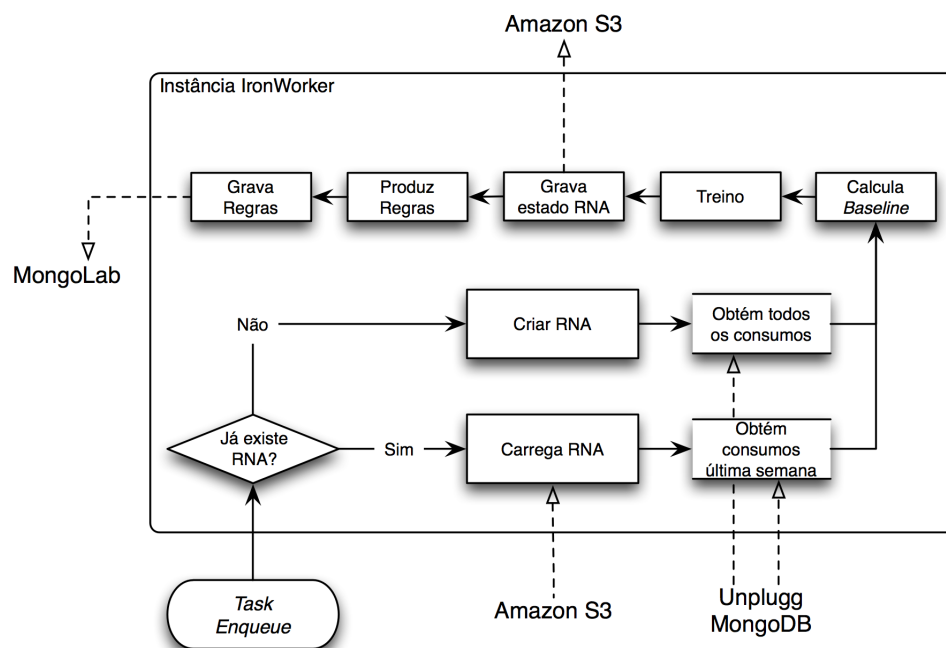


Figura 5.7: Lógica interna do módulo de aprendizagem e ligações com os serviços externos (RNA - Rede Neuronal Artificial).

Capítulo 6

Verificação

6.1 Aprendizagem

Nesta secção será feita uma verificação às capacidades de aprendizagem e adaptação do sistema aos padrões de estado dos equipamentos.

Para segmentar a análise serão analisados três cenários que são ilustrativos das *user stories* US1 e US11 presentes no Apêndice A.2:

- O sistema deve aprender comportamentos para um dado conjunto de consumos (cenário 1);
- O sistema deve aprender mudanças de comportamento (cenário 2 e 3);
- O limite de tempo para a deteção de mudanças de comportamento não deve exceder 2 semanas.

Em cada cenário serão analisados três indicadores como falsos positivos, falsos negativos e poupança.

Poupança

Poupança energética final. Este valor é meramente ilustrador, dado que é fortemente dependente da diferença entre o valor de consumo em uso e *standby*. É importante também referir que a poupança inclui falsos negativos, que na verdade são consumos incorretamente eliminados.

Falsos positivos

Porcentagem de consumos em que o sistema considera que o equipamento deveria estar ligado mas que na realidade não está em uso, desperdiçando a energia do *standby*. Assim, falsos positivos podem também ser vistos como desperdícios do sistema.

Falsos negativos

Porcentagem de consumos incorretamente eliminados. Esta situação deriva de regras que obrigam o sistema a eliminar consumos acima do *standby*. Numa situação real o utilizador teria de fazer *override* à regra por forma a ligar o equipamento.

No Apêndice E.2 poderão ser consultados gráficos dos consumos durante a semana de teste com e sem a aplicação de regras para uma perceção mais visual da aprendizagem do sistema.

6.1.1 Cenário 1

Neste cenário, foi feito um treino de 3 semanas com dados reais de uma *plug* de um utilizador da unplugg, sendo posteriormente previsto o estado do equipamento para a semana seguinte. Foram escolhidas 3 de forma a que o sistema não se baseie numa única semana de dados, o que poderia levar à deteção de um padrão pontual e pouco real.

KPI	Média (%)	Desvio Padrão
Poupança	53.57	1.40
Falsos Positivos	16.43	1.40
Falsos Negativos	7.14	0.69

Tabela 6.1: Métricas relativas à deteção de padrões para os dados de uma *plug* real. Treino de 3 semanas, testado para a semana seguinte.

Como se observa na tabela 6.1 e na figura E.4, para este equipamento em específico, o sistema conseguiu realizar uma poupança de cerca de 53% para a semana em análise. Porém registam-se ainda alguns falsos negativos que a plataforma não foi capaz de detetar por fugirem ao padrão mais comum no histórico analisado.

6.1.2 Cenário 2

No presente cenário, partiu-se do Cenário 1 (6.1.1) e após a aprendizagem do sistema para as 3 semanas de treino, introduziu-se um pico de consumo durante 3 horas na semana seguinte de forma a testar a capacidade da plataforma detetar mudanças no padrão ao fim de uma semana.

Ao observar pela tabela 6.2 e pela figura E.5, a resposta do sistema ao cenário 2 foi positiva, uma vez que conseguiu detetar mudanças no comportamento em metade do tempo do exigido nos requisitos (de 2 semanas para

KPI	Média (%)	Desvio Padrão
Poupança	45	0.81
Falsos Positivos	20.71	1.25
Falsos Negativos	6	0

Tabela 6.2: Métricas relativas à adaptação do sistema (após o cenário da tabela 6.1) à adição de um pico de consumo simulado ao fim de uma semana.

apenas 1). Naturalmente que a poupança diminui pois foram detetados menos falsos negativos e existiu menos espaço para poupança com a introdução de novos consumos.

6.1.3 Cenário 3

Este cenário é em tudo idêntico ao cenário 2 (6.1.2), com a diferença do consumo semanal de 3 horas introduzido manualmente ter sido mantido durante as duas semanas seguintes (limite máximo permitido pelos requisitos).

KPI	Média (%)	Desvio Padrão
Poupança	36.43	3.10
Falsos Positivos	32.71	4.31
Falsos Negativos	2.43	1.90

Tabela 6.3: Métricas relativas à adaptação do sistema (após o cenário da tabela 6.1) à adição de um pico de consumo simulado ao fim de duas semanas.

Após a execução deste cenário 3, verifica-se pela tabela 6.3 e pela figura E.6 que mais uma vez a poupança voltou a diminuir e os falsos positivos aumentaram substancialmente. A explicação deste último assenta no facto dos consumos acima do *standby* por vezes estarem intervalados por espaços bastante pequenos mas com elevada frequência, dificultando a sua deteção. Consequentemente a percentagem de falsos positivos aumenta. Porém, e na prática, o utilizador terá uma melhor experiência visto que os falsos negativos também diminuíram fortemente, ou seja, sempre que necessitou de usar o equipamento este estava ativo. O facto da poupança ter diminuído deve-se às mesmas razões do cenário 2. Com o aumento de falsos positivos e a diminuição de falsos negativos, o equipamento permaneceu mais tempo ligado diminuindo a poupança.

6.2 Conectividade

Numa plataforma que se encontra distribuída por diversos serviços na *cloud* é importante garantir a conectividade entre os diferentes componentes, e em caso de falha assegurar que as ligações são restabelecidas minorando sempre a perda de informação.

6.2.1 MongoLab

A base de dados é das componentes mais importantes, dado que esta é responsável por armazenar todos os dados da plataforma elaborada durante este estágio. Como tal, foram implementados mecanismos para assegurar a persistência dos dados e a correta ligação à base de dados.

Replicas Set

Uma *replica set* em MongoDB, consiste num conjunto de instâncias mongo que se replicam entre si de forma a assegurarem um mecanismo de *fail-over* automático. Em mais detalhe, as escritas são direcionadas à instância primária, enquanto que as secundárias replicam a instância primária de forma assíncrona.

Esta técnica é considerada uma boa prática atendendo a que adiciona redundância aos dados existentes e aumenta a disponibilidade do sistema. Sempre que por exemplo o nó primário falha, é eleito um novo automaticamente pelos membros secundários.

Numa fase inicial deste projeto, de forma a garantir conectividade com uma única base de dados foi criado um mecanismo para a plataforma voltar a estabelecer uma ligação sempre que esta falhasse. Assim, a cada 10 minutos até um máximo de 6 tentativas a plataforma fazia uma nova tentativa. Porém esta solução não lidava com a perda de dados enquanto a ligação não estava estabelecida.

Posteriormente implementou-se uma *replica set* alojando as instâncias na *Amazon*. Contudo estas podem vir a sofrer modificações por forma a serem integradas com a base de dados da unplugg a curto prazo.

A configuração é bastante simples através dos *drivers* de Node.js usados (*mongodb-native* e *mongoose*), bastando identificar as instâncias aquando da abertura das ligações às bases de dados.

6.2.2 Third Party Servers

Os servidores *third party* dizem respeito às empresas que detém os equipamentos. Todas as ligações efetuadas aos medidores fazem uso das API disponibilizadas pelas empresas.

Porém, as API fornecidas nem sempre são estáveis podendo estar por vezes indisponíveis ou devolver erros inesperados. Na prática, esta situação afeta principalmente a execução de regras, onde é feito um pedido aos servidores para ligar ou desligar um equipamento. De forma a solucionar este tipo de eventos, foram criados *DelayedJobs* que são nada mais que entradas na base de dados com informações sobre as ações a executar (algoritmo 1). A cada 5 minutos é feita uma nova tentativa.

Algoritmo 1: Adiamento de conexão com *third party servers*

```
Recebe : Dados do equipamento e regra a executar
// Tenta executar a regra para os dados fornecidos do
    equipamento
sucesso  $\leftarrow$  executaRegra(dados, regra);
if !sucesso then
    | guardaDelayedJob(dados, regra)
end
```

6.2.3 Iron.Io

Da mesma forma que foram criados *DelayedJobs* na secção anterior (6.2.2) para a execução de regras, também foi utilizado este mecanismo para o serviço *IronWorker*.

Apesar da plataforma Iron.io apresentar uma grande disponibilidade no seu serviço, derivado da sua arquitetura *cloud*, podem existir falhas na comunicação, o plano em uso pela unplugg pode ter atingido o seu limite ou as configurações podem ter sido alteradas. Desta forma, sempre que existe algum erro após o lançamento de um serviço para o *IronWorker*, as tarefas são guardadas na base de dados através de um *DelayedJob* (algoritmo 2), sendo lançadas novamente ao fim de 10 minutos com um máximo de três tentativas. No fim destas é enviado um *e-mail* para a equipa a reportar o problema.

Algoritmo 2: Adiamiento do lançamento do trabalho para o *IronWorker*

```
Recebe : Dados da unidade de processamento IronWorker e ID's da
         plug e meter
// Tenta lançar o trabalho
sucesso  $\leftarrow$  lançaTarefa(unidadeProcessamento, plugID, meterID);
if !sucesso then
|   guardaDelayedJob(dados, regra)
end
```

6.3 Segurança

A reduzida, ou mesmo inexistente, interação com o utilizador leva a que grande parte das medidas de segurança relacionadas com sessões e introdução de dados sejam eliminadas.

Contudo, existem ainda questões que se prendem à imaturidade de Node.js e às conexões entre serviços que merecem algum destaque. É importante salientar que os problemas apresentados não inviabilizam o uso de Node, contudo e como qualquer tecnologia, deve ser feita uma verificação das suas falhas mais características.

6.3.1 Node.js

Handling de erros

Dado que o *main event loop* de Node.js apenas corre numa única *thread*, qualquer erro que quebre o ciclo torna o servidor frágil e vulnerável a desligar-se. Esta é uma das situações em que Node.js entrega toda a gestão de erros ao programador. Este tem de ser responsável em fazer o correto manuseamento dos erros que possam surgir. Contudo, dado a natureza assíncrona e modular, por vezes é bastante complicado observar a origem de erros que podem ter sido criados por módulos de terceiros.

No presente estágio todo o código foi revisto para evitar erros não manuseados. Contudo, para lidar com algumas exceções de terceiros foi criado o *event listener* que captura '*uncaughtExceptions*' e será instalado módulo *forever*¹ (aquando da migração para uma VPS) que mantém o servidor ativo automaticamente sempre que este se desliga.

¹<https://github.com/nodejitsu/forever/>

Server poisoning

Embora neste projeto não tenha sido usada explicitamente, existe uma função *eval* que permite executar código a partir de uma string. Naturalmente que se trata de um processo perigoso ao permitir que clientes executem código no servidor se este não for corretamente filtrado.

Contudo, bibliotecas com menos uso pela comunidade e mais antigas ainda fazem bastante uso desta funcionalidade *eval* sendo complexo avaliar ao certo quantas chamadas existem e quais delas são problemáticas. O seu uso incorreto, permite que o intruso seja capaz de avaliar métodos existentes no servidor através de operações como *toString()* em *JavaScript*. Consequentemente, e uma vez com controle do servidor, dado que apenas existe um *event loop*, o utilizador tem facilmente acesso a todos os pedidos subsequentes de outros clientes.

Atualmente existem algumas bibliotecas que permitem avaliar boas práticas ou que evitam a modificação do estado de alguns objetos. Neste projeto não foram aplicadas até ao momento dado que se trata de um problema bastante complexo que implicaria uma análise fora do âmbito do estágio.

Expressões regulares

Em 2009 Node.js passou a usar a sua própria biblioteca para tradução de expressões regulares. Porém, esta recorre à técnica de *backtracking* que é susceptível a *evil expressions* [50]. Embora existam mecanismos para evitar esta abordagem [51], estes são complexos de implementar em *JavaScript* dada a sua natureza, segundo os autores. Assim, o uso incorreto de expressões regulares pode provocar sérios casos de *Regular expression Denial of Service* (ReDoS) nos servidores, tirando partido do *event loop* ficar bloqueado a processar expressões exageradamente complexas.

Desta forma, embora seja um problema muito particular e não tenha sido usado diretamente no projeto, este é um dos pontos críticos de Node.js que deve permanecer em aberto, uma vez que existem bibliotecas usadas que podem ser alvo de ataques. Atualmente existem já algumas soluções recomendadas como as proferidas por *Sullivan* [52].

npm

A forma mais simples de instalar módulos em Node.js é através do *npm*². Na prática, cada um dos pacotes descarregados contém informação de quando determinados *scripts* devem ser executados. Isto

²Gestor de pacotes de Node.js. Mais informação em <https://npmjs.org/>

permite a que algum código possa ser executado durante o processo de instalação, usufruindo de possíveis privilégios *root* [53].

Recentemente, novas versões do *npm* tentam diminuir os privilégios de instalação, porém não é algo que seja incontornável, não sendo sempre possível de executar [53]. Neste momento, aquando da instalação de novos módulos, o programador deve-se certificar da veracidade do módulo e da sua origem.

Estabilidade

Por fim, Node.js encontra-se numa fase de forte crescimento com o lançamento de constantes novas versões. Isto leva a que o código produzido seja por vezes instável com bastantes problemas de retro-compatibilidade.

Toda esta situação leva a que a manutenção do servidor tenha de ser feita regularmente por forma a assegurar que tudo funciona corretamente, mantendo as versões de módulos e do próprio Node.js o mais atualizadas possíveis.

6.3.2 Conexões

Como já foi descrito no capítulo 5.2.2 relativo à arquitetura do sistema, este faz uso de diversos serviços externos. De forma a assegurar que as ligações são seguras, todos os serviços obrigam a algum tipo de autenticação.

Iron.io Necessita de um *token* de autenticação enviado em cada pedido, bem como um *token* relativo ao projeto em uso.

Amazon S3 Obriga à introdução de uma *Access Key ID* e respetiva *Secret Key* para aceder ao serviço. Este par de chaves é facilmente tornado inativo através do painel de administração da *Amazon*.

Além das chaves de autenticação é necessário um *token* para identificação e acesso ao *bucket* em uso no serviço *Amazon S3*.

MailGun Necessita apenas de um *token* de autenticação enviado em cada pedido, fornecido pelo painel de administração do serviço.

MongoDB Aquando da conexão, além de fornecer informação do nome da base dados e respetivo endereço, é necessária a introdução de um *username* e respetiva *password* válidos.

6.4 Viabilidade do Processo de Aprendizagem

O serviço *IronWorker* veio possibilitar a realização de tarefas computacionalmente pesadas sem penalizar e comprometer a performance de toda a plataforma construída. Assim, este será tomado como exemplo para avaliar a viabilidade económica do processo, onde será necessário avaliar se as vantagens computacionais e respetivos custos do IronWorker compensam as poupanças na fatura energética no final do mês.

Para avaliar esta situação foram assumidas algumas condições (tabela 6.4) pela empresa de forma a ser possível efetuar uma previsão dos custos em função do número de clientes e consequentemente do plano do IronWorker necessário (detalhes sobre os planos atuais podem ser consultados na tabela F.1).

Dados	~
Taxa de Crescimento por mês	8%
Clientes no mês zero	300
Poupança estimada p/ cliente p/ mês	€1
Tempo de processamento máximo p/ instância p/ <i>run</i>	60mins
Tempo de processamento médio de um <i>update</i> semanal	15mins

Tabela 6.4: Dados usados na previsão da escalabilidade do *IronWorker*

Através da tabela 6.5 relativa ao *break-even* em função do número de clientes, podemos observar que a partir dos 400 clientes, já compensa o uso de qualquer plano se assumirmos uma poupança média mensal para o utilizador de €1. Este valor foi obtido a partir de um dos casos reais (uma tomada) onde se verificou uma poupança de €1.63 em €3.03 durante um mês de teste. No entanto, uma vez que se trata apenas de um caso, optou-se por assumir um valor mais baixo do que o registado.

Com a escolha de planos mais adequados é possível aumentar a margem de lucro por parte da empresa. Pela análise do gráfico 6.1 verificam-se os limites de saturação de cada plano, ou seja, o número máximo de clientes que cada plano consegue suportar. Na prática, esse número traduz o momento onde deve ser feito o *upgrade* para o plano seguinte.

Para os cálculos apresentados nesta secção, foram excluídos custos relacionados com o armazenamento na Amazon S3 por estes serem considerados muito inferiores em relação aos do IronWorker. Em mais detalhe, até atingir 1TB de armazenamento, este tem um custo de 0.095\$ por GB, e as trans-

ferências são gratuitas em *standard storage*³. Dado que cada estado de uma rede neuronal ocupa cerca de 2KB, considera-se que o custo por utilizador é desprezável.

	clientes	Planos			
		p0	p1	p2	p3
Preço p/cliente (€)	50	0	0.75	2.24	7.48
	100	0	0.37	1.12	3.74
	150	0	0.25	0.75	2.49
	200	-	0.19	0.56	1.87
	250	-	0.15	0.45	1.50
	300	-	0.15	0.37	1.25
	350	-	0.11	0.32	1.07
	400	-	0.09	0.28	0.93

Tabela 6.5: Tabela do *break-even* do preço por cliente para cada plano, assumindo €1 como poupança média mensal de cada utilizador. A vermelho encontram-se os planos inviáveis economicamente para o número de clientes.

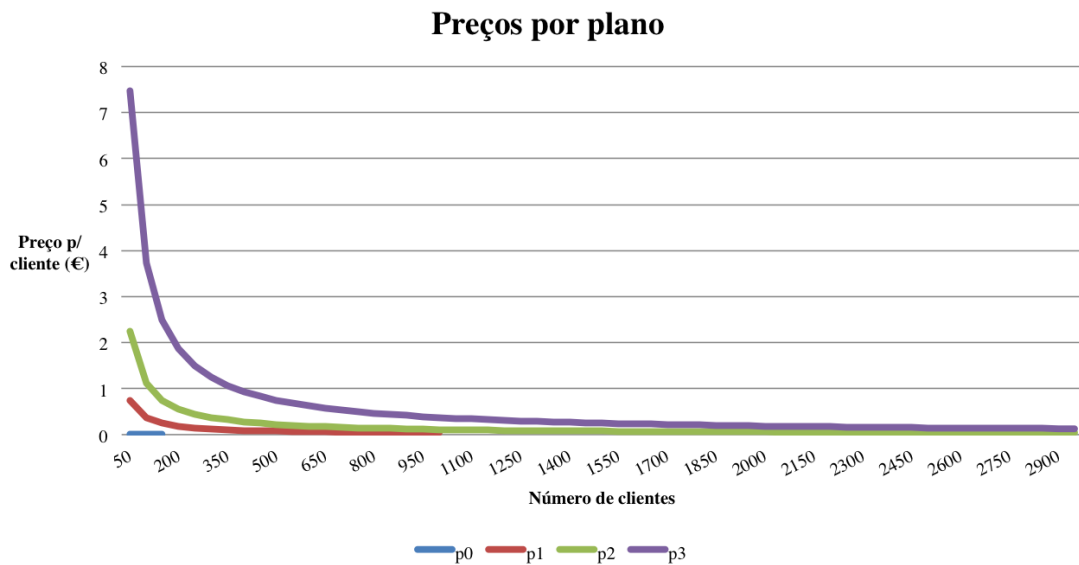


Figura 6.1: Planos do IronWorker. p0 trata-se do plano grátis e p3 o plano mais dispendioso

No Apêndice F.3, podem ser consultados os gráficos com o retorno para

³<http://aws.amazon.com/s3/#pricing>

a empresa em função de cada plano, assumindo uma cobrança de €0.5 pelo serviço de cada tomada inteligente.

6.5 KPI

Por forma a consultar as KPI essenciais deste projeto, que traduzem a qualidade do funcionamento do sistema para todos os utilizadores, foi construído um pequeno *dashboard* (figura 6.2) que contém a eficiência do mecanismo, fricção para o utilizador, média de poupança, respetivo desvio padrão e variância.

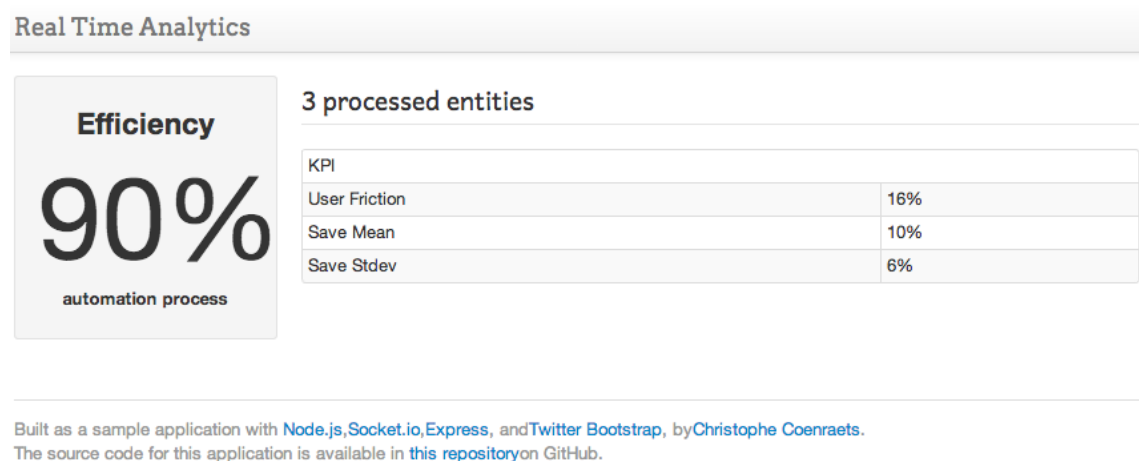


Figura 6.2: *Dashboard* com as KPI para os administradores

Dado que todo este projeto se trata de um MVP, uma vez provada a sua viabilidade, todo ele será incluído na plataforma unplugg. Atendendo a este facto, para a consulta do *dashboard* com as KPI não é necessário de momento qualquer mecanismo de autenticação enquanto este se encontrar alojado num serviço em separado da unplugg.

6.6 Testes

No Apêndice G.1 e G.2 podem ser consultados todos os testes realizados bem como o seu resultado e duração.

Atualmente existe uma cobertura de testes de 57%. Este valor foi obtido com recurso ao módulo *covershot* que através da instrumentação automática de código, permitiu avaliar a cobertura dos testes realizados por cada ficheiro.

É relevante referir que dada a natureza assíncrona de Node.js e consequentemente o seu complexo fluxo, por vezes não é trivial avaliar todas as condições, uma vez que é difícil recriá-las. No entanto, trata-se seguramente de trabalho futuro que não foi possível ser enquadrado no presente estágio de momento.

Todavia, os testes realizados asseguram todas as funcionalidades principais e conexões entre serviços:

Testes de aceitação

- Lógica de execução de regras;
- Lógica de adiamento de regras.

Testes unitários

- Construção de estatísticas do ganho potencial;
- Construção de estatísticas relativas aos consumos reais;
- Conexão com MongoLab para dados relativos às regras;
- Conexão com MongoLab para dados relativos às estatísticas;
- Conexão, autenticação e lançamento de tarefas para o *IronWorker*;
- Conexão com a unplugg através da listagem de *homes*, *meters* e *plugs*
- Gravação e carregamento de dados da *Amazon S3*
- Gravação e leitura de *DelayedJobs*

A curto prazo serão implementados mais testes unitários e de aceitação que permitirão avaliar componentes de forma mais precisa como o envio correto de *e-mails*, a execução da rede neuronal (complexo devido à componente aleatória e abordagem *black-box*) e o módulo relativo à deteção de *standby*.

Com o evoluir do projeto prevê-se também a elaboração de testes de integração contínua para assegurar correto funcionamento do projeto com a introdução de novos membros na equipa.

Capítulo 7

Validação

7.1 Utilizador

7.1.1 Inquéritos

A validação, segundo a perspetiva do utilizador, foi feita através da realização de pequenos inquéritos com questões orientadas à utilização do sistema e à sua capacidade de aprendizagem. Nestes inquéritos foram também incluídas secções para o utilizador fornecer sugestões, bem como motivos para a não utilização do sistema (caso se tenha verificado).

7.1.2 Problemas

Dado que os utilizadores não tiveram a possibilidade de usar o sistema devidamente devido a falhas dos equipamentos, algumas das questões dos inquéritos não se aplicavam e não foram respondidas, pelo que os resultados destes trouxeram um valor abaixo do esperado e necessário. Esta situação foi ainda potenciada pelo baixo número de utilizadores teste que utilizaram o sistema (três) e que responderam ao questionário (dois).

7.1.3 Resultados

Apesar dos problemas mencionados foi possível tirar algumas conclusões pela análise todos utilizadores inquiridos. Os inquéritos e respetivos resultados podem ser consultados na íntegra no Apêndice H.

1. **Como classifica o sistema na aprendizagem das suas rotinas semanais?**

Numa escala de 1-5 em que 1 corresponde a "nunca aprendeu" e 5

a "aprendeu todas as rotinas", todos os utilizadores responderam 4. Esta questão permitiu concluir que o sistema conseguiu realizar boas previsões dos comportamentos dos utilizadores apesar de ainda existir espaço para melhorias.

2. Como classifica a experiência com o sistema?

Um dos objetivos deste projeto passar por minimiza a interação com o utilizador. Numa escala de 1-5 em que 1 corresponde a "complexo" e 5 a "intuitivo", os utilizadores responderam em média 3,5 valores. Desta forma foi possível concluir que o sistema necessita ainda clarificar a sua interação com o utilizador através da forma como este é apresentado e ativado.

3. Com que frequência contrariou o sistema (por semana)?

A plataforma aqui desenvolvida deveria minimizar toda a fricção com o utilizador, evitando que este tivesse de contrariar as regras aplicadas pelo sistema. Um dos utilizadores afirmou nunca ter contrariado o sistema, porém a respetiva resposta perde o seu valor, uma vez que o equipamento deixou de funcionar corretamente aquando do início do projeto. O outro utilizador afirmou que contrariou o sistema 1 a 2 vezes por semana sendo portanto um valor considerado ótimo, dado que o sistema apenas funcionou incorretamente 2 vezes por semana e o utilizador corrigiu-o para melhorar na próxima iteração.

4. Se não fosse um utilizador beta-tester teria desligado o sistema de automação?

Para esta questão, apenas o utilizador cujo equipamento deixou de funcionar respondeu "sim". Porém, dadas as condicionantes dos equipamentos, é uma resposta esperada, reforçando a necessidade de mais equipamentos suportados e mais estáveis. É importante referir que esta falha não se deveu ao funcionamento da plataforma desenvolvida.

5. Se respondeu afirmativo na questão anterior(4), quais as razões?

Para o utilizador mencionado na questão 4, as suas razões basearam-se no facto do sistema não ter aprendido os padrões semanais. Esta resposta pode parecer contraditória com a da questão número 1, porém, numa fase inicial do projeto os equipamentos funcionaram corretamente aprendendo os padrões. Isto permitiu que o utilizador validasse esta aprendizagem positivamente, embora no final de toda a fase teste não conseguisse aprender os padrões semanais regularmente (devido às falhas) e consequentemente eliminar o *standby*.

6. Que sugestões tem a fazer ao sistema?

Não foram registadas sugestões. Esta resposta revela que é necessário aumentar a experiência do utilizador para com o sistema, motivando-o a participar na sua construção e evolução.

7.2 Serviço

Como já foi mencionado na secção anterior e no capítulo da Análise de Riscos, no decorrer deste projeto, algumas das tomadas inteligentes pertencentes aos utilizadores de teste apresentaram diversas falhas. Este facto provocou não só uma alteração na quantidade de dados disponíveis para análise como também uma alteração nos valores das KPI.

Concretamente, a incapacidade dos medidores conseguirem alterar os seus estados (devido a avarias), fez com que os dados recolhidos quando o equipamento estava ligado e a regra indicava que o estado deveria ser desligado, fossem considerados consumos provocados pelo utilizador contrariar as regras, aumentando desta forma a fricção com o sistema.

Outro aspeto a referir, é que a KPI relativa à eficiência do sistema exclui desperdícios provocados por regras contrariadas. Dado o aumento referido no parágrafo anterior, o valor do desperdício energético provocado pelo mau cálculo de regras diminui, fazendo com que a eficiência aumentasse bastante.

Atualmente, as KPI podem ser consultadas diretamente num *dashboard* ou semanalmente e com mais detalhe através do *e-mail*, individualizando por utilizador (figura 7.1). O valor destes indicadores de performance pode ser consultado na tabela 7.1.

KPI	Média (%)	Desvio Padrão
Eficiência	89.9	6.5
Poupança	10	3.10
Fricção Utilizador	15.6	4.7

Tabela 7.1: KPI resultantes para os 3 *beta-testers* da plataforma.

Dado que dos três utilizadores teste apenas um apresentou um equipamento a funcionar corretamente até ao fim do projeto (tendo ainda algumas falhas na mudança de estado), foram analisados valores de poupança apenas para esse utilizador, possibilitando ter um noção mais realista do comportamento do sistema. Assim, desde o mês de Abril (início do funcionamento do sistema), a plataforma conseguiu efetuar uma poupança de cerca de 38% apenas para o utilizador analisado em específico.

No fim deste estágio, e ao olhar para as KPI obtidas, valida-se que o sistema é viável e que pode constituir uma componente importante do produto unplugg. Admite-se, no entanto, que existe ainda bastante trabalho pela frente para contornar estas falhas externas ao sistema, bem como assumindo que são necessários mais equipamentos e utilizadores teste para validar os valores obtidos através das KPI do sistema de automação desenvolvido.

 noreply@uplatformjbarbosa333.mailgun.org através de unplu.gg
para team ▼

Global KPI

	Processed	Efficiency	User Friction	Save Mean	Save Stdev
Before	2	0.93	0.13	0.06	0.00
After	3	0.90	0.16	0.10	0.06
Diff	1	-0.03	0.02	0.04	0.05

This Week Automation Statistics by Each Home

User's home	Efficiency	Wasted	Percentage Saved
User 1	0.83	0.12	0.18
User 2	0.89	0.22	0.05
User 3	0.98	0.13	0.06

Previous Week Automation Statistics by Each Home

User's home	Efficiency	Wasted	Percentage Saved
User 1	0.98	0.07	0.06
User 2	0.88	0.19	0.05

Figura 7.1: Exemplo de *e-mail* recebido semanalmente pela equipa, com as KPI globais e individualizadas por utilizador.

Capítulo 8

Conclusão

O trabalho apresentado nesta tese de Mestrado, consistiu no estudo e implementação de um sistema que fosse capaz de eliminar o *standby* de equipamentos elétricos. Para tal, foi desenvolvida uma plataforma totalmente integrada na *cloud* capaz de recolher consumos energéticos dos servidores da unplugg, para posteriormente estes sejam processados, realizando uma previsão semanal que é convertida em regras de ON/OFF. Estas últimas serão executadas remotamente através da API dos equipamentos disponibilizados.

Durante a primeira fase foi feito um estudo sobre as várias soluções de *Home Energy Management* existentes atualmente no mercado, por forma a enquadrar e contextualizar a solução implementada neste estágio. Foi feito também um levantamento de requisitos e uma análise à metodologia e respetivas ferramentas em uso, de modo a perceber como o projeto iria decorrer. Dado que toda a plataforma está inserida na *cloud* foi necessário ainda construir um pequeno protótipo para provar a viabilidade de uma solução com esta estrutura.

Na segunda fase deu-se início à implementação da metodologia proposta. Finalizaram-se os requisitos devidamente, refinou-se a arquitetura do sistema, e deu-se início ao desenvolvimento de código para terminar com a verificação do sistema e respetiva validação.

Apesar da instabilidade dos equipamentos ter dificultado o processo de validação pela falta de utilizadores e alteração dos valores das KPI, foi possível registar uma poupança de 10% segundo as KPI globais, e de 38% olhando apenas para o utilizador de teste cujo equipamento não apresentou avarias significativas. Para além destes indicadores de poupança, o algoritmo revelou uma eficiência que rondou os 90%, ou seja, conseguiu eliminar 90% do *standby* consumido, com uma fricção por utilizador de 16%.

Os principais contributos deste projeto passam pela redução dos consumos de *standby*, que representam atualmente cerca de 9% dos consumos

elétricos de uma casa residencial. Apesar do estudo se ter aplicado essencialmente a um medidor, a poupança deste pode ser replicada a outros sensores permitindo atingir uma percentagem considerável de poupança em toda a casa.

Este projeto trouxe ainda uma nova perspetiva ao conceito de eliminação automática de *standby* que até ao momento era maioritariamente feito ao nível do *hardware*. Este mostrou que é viável e rentável uma vertente baseada em *software*, totalmente integrada na *cloud* para que o sistema seja tendencialmente agnóstico para com o *hardware* e portanto facilmente adaptável a qualquer equipamento com controlo remoto.

Todas as funcionalidades que figuravam nos requisitos do projeto foram implementadas, abrindo agora o caminho para uma melhoria contínua nos resultados aqui apresentados e para a integração do serviço com a unplugg.

8.1 Trabalho Futuro

A análise de resultados finais deste projeto, revela que ainda existem muitas vertentes a melhorar. Em primeiro, como é possível observar pelos valores obtidos nas KPI, estas necessitam de novas abordagens para serem calculadas. No caso de regras incorretamente criadas por falta de dados, ou mudanças de estados que não se concretizam na prática, estas causam variações incorretas de KPI como o aumento da fricção do utilizador (os equipamentos não se desligaram) e eficiência do algoritmo (não contempla fricção do utilizador, diminuindo o valor do desperdício energético).

Relativamente ao sistema de aprendizagem, este pode ser completado com mais informações relativas tanto ao utilizador como a condições ambientais (e.g. sensores de luz, som, temperatura) e com uma melhor deteção da *baseline* dos consumos. Todas estas informações irão potencialmente melhorar a capacidade de previsão dos comportamentos dos utilizadores e consequente dos equipamentos em monitorização. Ainda relacionado com a aprendizagem, é possível aumentar a granularidade da aprendizagem, por forma a permitir que o sistema detete variações nos comportamentos ao nível dos minutos e não das horas como se encontra atualmente.

Como foi referido, esta plataforma trata-se de um MVP que cumpriu os seus objetivos. Porém, o sistema necessita de ser mais estável e estar preparado para lidar com situações imprevistas provocadas por falhas inesperadas. Para tal, será necessário melhorar a comunicação de avisos de erros à administração, criar mais testes unitários para assegurar o correto funcionamento de todos os componentes, e criar testes de integração contínua para validar alterações realizadas por novos membros da equipa.

Embora o sistema se encontre num serviço *PaaS* dedicado, será interessante avaliar a sua integração no futuro com a VPS da unplugg. Isto permitirá a poupança de alguns recursos computacionais (e.g. base de dados) e a integração das KPI de cada utilizador no respetivo *dashboard* na unplugg.

Por fim, o sistema necessita de ser validado de forma mais rigorosa com a introdução de um número elevado de novos utilizadores e novos equipamentos. Esta validação permitirá que a empresa tenha uma noção mais realista das opiniões dos utilizadores relativas ao sistema, permitindo saber o grau de satisfação, o que necessita de ser melhorado e se a nova plataforma elimina efetivamente o *standby* sem interação do utilizador. A vinda de novos equipamentos permitirá eliminar certificar o impacto do mal funcionamento dos atuais equipamentos em uso.

Bibliografia

- [1] Y. Lurie, J. Segall e C. King, “The Engaged Customer: How data standardization leads to empowered customers and successful Smart Grid deployments”, *eMeter & Simple Energy*, 2012.
- [2] E. E. Agency, “Energy efficiency and energy consumption in the household sector (ENER 022)”, European Environment Agency homepage, rel. téc., 2010. endereço: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/energy-efficiency-and-energy-consumption-5/assessment/>.
- [3] EU Commission, “Citizens ’ summary Analysis of options for reducing the EU ’ s greenhouse gas emissions by 30 % by 2020”, 2012.
- [4] E. Comission, *What is the EU doing about climate change?*, Climate Action, 2012. endereço: http://ec.europa.eu/clima/policies/brief/eu/index_en.htm.
- [5] Comissão Europeia, “Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões”, 2010.
- [6] *Energy Efficient Indicators in Europe*, Odysee, 2012. endereço: <http://www.odyssee-indicators.org/online-indicators/>.
- [7] E. Commission, “Final Report Appendix I : Detailed policy methodology and results chapters”, rel. téc. December, 2009, p. 161.
- [8] *Trends in energy efficiency, ownership, and overall electricity consumption of selected household appliances, EU-15*, European Environment Agency, 2012. endereço: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/trends-in-energy-efficiency-ownership-and-overall-electricity-consumption-of-selected-household-appliances-eu-15>.

- [9] *Trends in energy efficiency, ownership, and overall electricity consumption of selected household appliances, EU-15*, European Environment Agency, 2012. endereço: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/overall-changes-in-final-energy-and-electricity-consumption-by-sector-between-1990-2003-eu-25>.
- [10] *Trends in energy efficiency, ownership, and overall electricity consumption of selected household appliances, EU-15*, European Environment Agency, 2012. endereço: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/share-of-electricity-consumption-in-final-energy-consumption-by-region-in-2004-and-projections-for-2030>.
- [11] *Trends in energy efficiency, ownership, and overall electricity consumption of selected household appliances, EU-15*, European Environment Agency, 2012. endereço: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/households-energy-consumption-by-end-uses-4>.
- [12] J. Abreu, I. Azevedo, M. Center e F. Pereira, “A contribution to better understand the demand for electricity in the residential sector”, *European Council for Energy Efficient Economies, Summer Study 2011*, nº 2, pp. 1–14, 2011. endereço: <http://www.andrew.cmu.edu/user/sgradeck/DOCS/UnderstandElecRes.pdf>.
- [13] “Utility-scale smart meter deployments, plans, & proposals”, Institute for Electric Efficiency, rel. téc., 2012.
- [14] E. O. O. T. P. O. O. Science e D. Technology Policy Council On Environmental Quality Washington, *New Industry Commitments to Give 15 Million Households Tools to Shrink Their Energy Bills*. 2012. endereço: <http://www.whitehouse.gov/administration/eop/ostp/pressroom/03222012>.
- [15] *Smart Meters find growing support in Europe, Emerging Markets*, 2009. endereço: <http://greengrowthinvestment.com/smart-meters-find-growing-support-in-europe-emerging-markets/>.
- [16] The Edison Foundation, “State electric efficiency regulatory frameworks”, *IEE Report*, 2012.
- [17] M. Purvis, “Cloud Home Energy Service Revenues to Increase 30 Times in Five Years”, On World, rel. téc., mar. de 2012.

- [18] S. S. van Dam, C. a. Bakker e J. D. M. van Hal, “Home energy monitors: impact over the medium-term”, *Building Research & Information*, vol. 38, n^o 5, pp. 458–469, out. de 2010, ISSN: 0961-3218. DOI: 10.1080/09613218.2010.494832. endereço: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09613218.2010.494832>.
- [19] H. Michaels e K. Donnelly, “Architecting the Smart Grid for Energy Efficiency Information-Driven Efficiency and Demand Response Mechanisms”, *Massachusetts Institue of Technology*, pp. 163–173, 2010.
- [20] K. Hamilton, “Smart grids – a smart idea?”, *Renewable Energy Focus*, vol. 10, n^o 5, pp. 62–67, set. de 2009, ISSN: 17550084. DOI: 10.1016/S1755-0084(09)70193-0. endereço: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1755008409701930>.
- [21] G. Research e Eflorida.com, “Smart Grid Trends, Market Forecast and Techonology Innovations 2011”, 2011.
- [22] J. a. Lopes, A. Messias e R. Gonçalves, “Redes de energia inteligentes como contributo da engenharia portuguesa para o desenvolvimento sustentável”, *Caso de Estudo*, 2009.
- [23] C. R. A. A. P. P. Ltd, “Peak Demand on the ETSA Utilities System”, rel. téc., 2004.
- [24] T. L. G. of the National Action Plan for Energy Efficiency, *Coordination of Energy Efficiency and Demand Response*, U.S. Department of Energy, 2010.
- [25] C. Mandil, “The Power To Choose”, *IEA Publications*, pp. 45, 144, 2003.
- [26] K. Smith, “Energy Efficiency and Demand Response: working together in an integrated approach”, Johson Controls, rel. téc. February, 2012.
- [27] H. Michaels e K. Donnelly, “Architecting the Smart Grid for Energy Efficiency”, *Massachusetts Institue of Technology*, pp. 163–173, 2010.
- [28] M. Energy, *Smart Metering Systems (AMR - AMI - AMM)*.
- [29] “Information Display Pilot - California Statewide Pricing Pilot”, Nexus Energy Software, rel. téc., 2005.
- [30] “The Global Market for Embedded Connectivity in the Utilities Sector 2010-20”, rel. téc., 2011.
- [31] H. Allcott e S. Mullainathan, “Behavior and Energy Policy”, *Science*, 2010.

- [32] A.-G. Paetz, E. Dütschke e W. Fichtner, “Smart Homes as a Means to Sustainable Energy Consumption: A Study of Consumer Perceptions”, *Journal of Consumer Policy*, vol. 35, n^o 1, pp. 23–41, out. de 2011, ISSN: 0168-7034. DOI: 10.1007/s10603-011-9177-2. endereço: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s10603-011-9177-2>.
- [33] C. Armel e A. Gupta, “Disaggregation: The Holy Grail Of Energy Efficiency”, *Precourt Energy Efficiency Center, Stanford University*, 2012.
- [34] G. W. Hart, “Nonintrusive Appliance Load Monitoring”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, vol. 80, p. 1871, 1992.
- [35] S. Fitzpatrick, “Home Energy Monitor Report”, *International immunology*, vol. 24, n^o 12, NP, dez. de 2011, ISSN: 1460-2377. DOI: 10.1093/intimm/dxs017. endereço: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23193092>.
- [36] J. Berst, “Why Tendril may (finally) be positioned for growth”, rel. téc., 2012. endereço: <http://gigaom.com/2012/08/23/why-tendril-may-finally-be-positioned-for-growth/>.
- [37] P. Mell e T. Grance, “The NIST Definition of Cloud Computing: Recommendations of the National Institute of Standards and Technology”, *National Institute of Standards and Technology US ...*, 2011. endereço: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:The+NIST+Definition+of+Cloud+Computing+Recommendations+of+the+National+Institute+of+Standards+and+Technology\#5>.
- [38] J. Lamarche, K. Cheney, S. Christian e K. Roth, “Home Energy Management Products & Trends”, *Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems*, 2011.
- [39] J. Snook e E. Boomgard, “Leveraging Behavioral Economics to Minimize Household Energy Consumption”, *Nicholas School of the Environment, Duke University*, 2011.
- [40] A. Bunk, *The Internet of Things*, 2013. endereço: <http://blog.bosch-si.com/the-internet-of-things-new-infographics/> (acedido em 01/07/2013).
- [41] R. Singh, S Keshav e T. Brecht, “HITS: A Cloud-Based Flexible Architecture for Home Energy Management”, *University of Waterloo*, endereço: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:HITS+:+A+Cloud-Based+Flexible+Architecture+for+Home+Energy+Management\#0>.

- [42] F. Nikayin e M. D. Reuver, “Governance of smart living service platforms : state-of- the-art and the need for collective action”, *Third International Engineering Systems Symposium*, pp. 18–20, 2012.
- [43] F. T. Romero, “Neural Networks”, vol. 9, nº 7, pp. 1066–1072, 2011.
- [44] M. Trejo-Pera e G. Herrera-Ruiz, “Greenhouse energy consumption prediction using neural networks models”, *Biotronics Laboratory, University of Querétaro*, pp. 1–6, 2009. endereço: http://www.amgs.or.kr/Eng/property/board/sub\4_7/ANNforElectricPowerConsum.pdf.
- [45] a. Azadeh, S. Ghaderi, S. Tarverdian e M. Saberi, “Integration of artificial neural networks and genetic algorithm to predict electrical energy consumption”, *Applied Mathematics and Computation*, vol. 186, nº 2, pp. 1731–1741, mar. de 2007, ISSN: 00963003. DOI: 10.1016/j.amc.2006.08.093. endereço: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0096300306011088>.
- [46] J. a. Catalão, S. Mariano, V. Mendes e L. Ferreira, “An artificial neural network approach for day-ahead electricity prices forecasting.”, pp. 1–4, 2005. endereço: <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2005lisbon/papers/496-JCQ2.pdf>.
- [47] R. Aamodt, “Using Artificial Neural Networks To Forecast Financial Time Series”, tese de doutoramento, Norwegian University of Science e Technology, 2010. endereço: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:353048><http://ntnu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:353048>.
- [48] S. Tilkov e S Vinoski, “Node.js: Using JavaScript to build high-performance network programs”, *Internet Computing, IEEE*, 2010. endereço: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5617064.
- [49] M. Sokolova, N. Japkowicz e S. Szpakowicz, “Beyond accuracy, F-score and ROC: a family of discriminant measures for performance evaluation”, *AI 2006: Advances in Artificial ...*, pp. 1015–1021, 2006. endereço: http://link.springer.com/chapter/10.1007/11941439_114.
- [50] A. W. Jim Manico, *Regular expression Denial of Service - ReDoS*, OWASP, 2009. endereço: https://www.owasp.org/index.php/Regular_expression_Denial_of_Service_-_ReDoS.
- [51] R. Cox, *Regular expression matching can be simple and fast*. 2007. endereço: <http://swtch.com/~rsc/regexp/regexp1.html>.

- [52] B. Sullivan, “Regular expression denial of service attacks and defenses”, *MSDN*, vol. 25, n^o 5, pp. 82–85, 2010. endereço: <http://msdn.microsoft.com/en-us/magazine/ff646973.aspx>.
- [53] A. Ojamaa e K Duuna, “Assessing the security of Node.js platform”, *International Conference for Internet Technology And Secured Transactions*, pp. 348–355, 2012. endereço: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs/_all.jsp?arnumber=6470829.

Apêndice A

User Stories

No presente apêndice são apresentados os motivos para a utilização de *user stories* bem como uma descrição e listagem das mesmas.

A.1 Administrador

US 1 - Previsão

Como administrador, quero que o sistema consiga prever automaticamente o estado dos equipamentos para a semana seguinte.

US 2 - Performance

Como administrador, quero o sistema recolha dados de *performance* sobre eficiência do algoritmo, a sua fricção da com os hábitos do utilizador, e dados relativos à poupança efetuada.

US 3 - Relatórios

Como administrador, quero o sistema envie relatórios semanais à equipa para averiguar a diferença de resultados de performance do sistema entre a semana anterior e a atual, o número de equipamentos que foram processados.

US 4 - Falhas

Como administrador, quero o sistema lide com o mau funcionamento dos equipamentos externos, de forma a que continue em pleno funcionamento.

US 5 - Compatibilidade

Como administrador, quero o novo sistema seja compatível com a plataforma já existente da unplugg.

US 6 - *Deployment*

Como administrador, quero o novo sistema seja totalmente alojado na *cloud* de forma a estar acessível em qualquer lugar.

US 7 - Suporte API

Como administrador, quero que a nova plataforma tenha suporte futuro para a migração da API da unplugg.

A.2 Utilizador

US 8 - Controlo Automático

Como utilizador, quero que o sistema controle o estado dos equipamentos em função da previsão do seu estado.

US 9 - Fricção com o Utilizador

Como utilizador, quero que os equipamentos não sejam desligados pelo sistema quando este se encontra em uso.

US 10 - Adiamento

Como utilizador, quero o sistema adie a execução da previsão se os equipamentos estiverem em uso.

US 11 - Adaptação

Como utilizador, quero o sistema aprenda mudanças nos comportamentos, no máximo dentro de 2 semanas.

US 12 - Controlo Manual

Como utilizador, quero ter a possibilidade de controlar o estado dos equipamentos manualmente.

US 13 - Opção

Como utilizador, quero ter a possibilidade de desligar o sistema de automação.

Apêndice B

Diagramas de Gantt

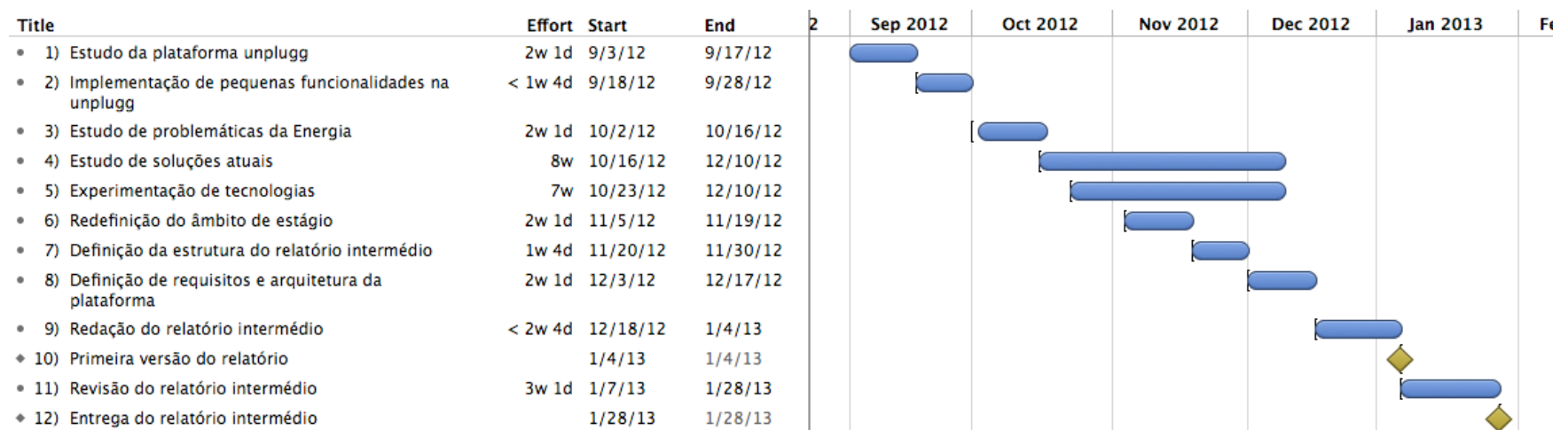


Figura B.1: Plano de trabalho para o primeiro semestre.

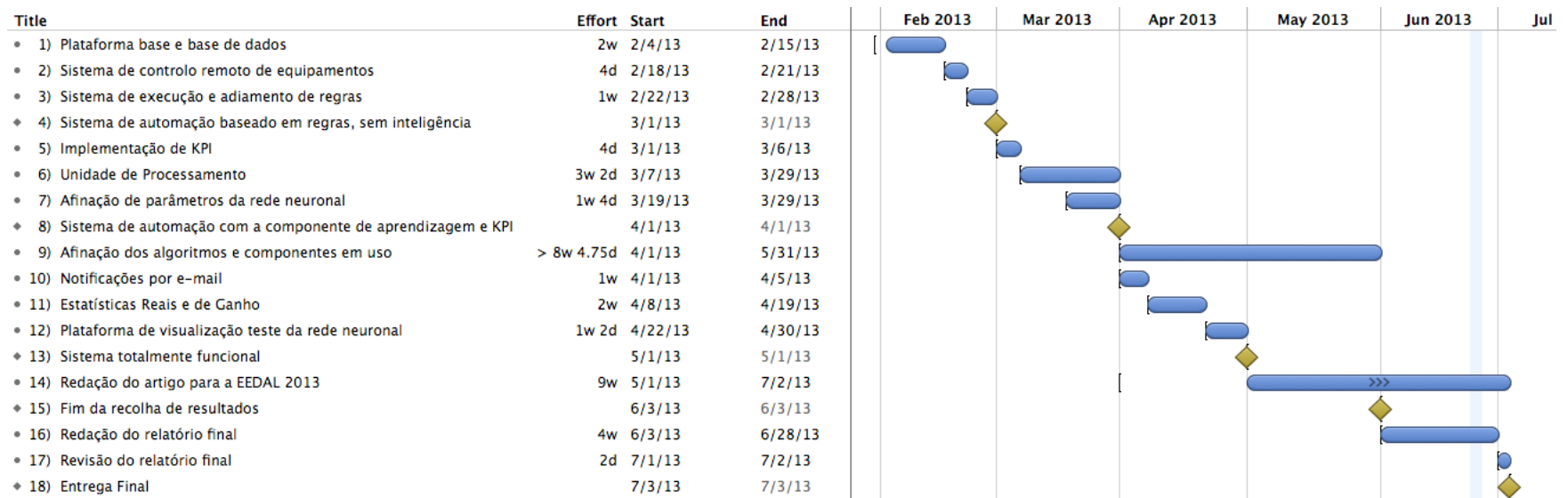


Figura B.2: Plano de trabalho para o segundo semestre.

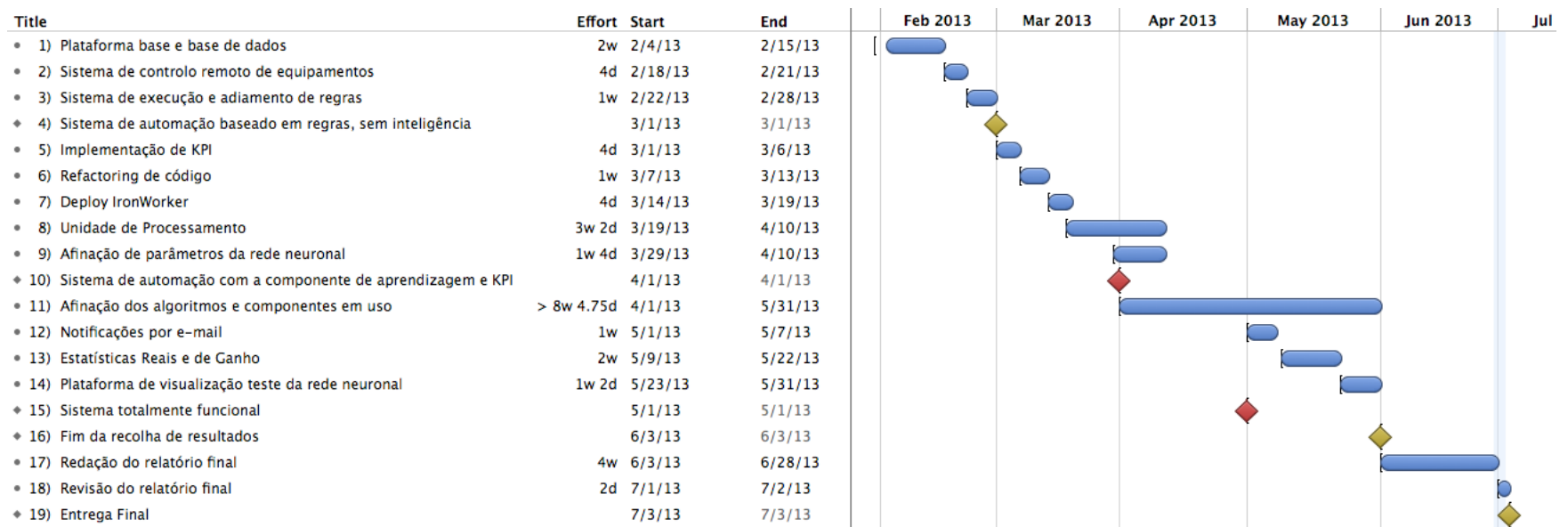


Figura B.3: Execução do plano de trabalho para o segundo semestre. As *milestones* a vermelho representam o seu incumprimento.

Apêndice C

Análise de riscos

A falta de controlo sobre os equipamentos externos envolvidos era um ponto com grande potencial de originar problemas fulcrais ao desenvolvimento deste projeto.

Desta forma, para cada situação que tivesse uma probabilidade forte de ocorrer, foram apresentados planos e soluções alternativas.

Neste apêndice é apresentada a análise de riscos feita no início deste projeto.

C.1 Equipamentos

Todo este estágio tem como base a recolha de dados, o seu tratamento e posterior atualização do estados dos equipamentos de forma a automatizar o seu estado. Desta forma, caso os equipamentos deixassem de cumprir as funções de recolha e mudança de estado, tiveram de ser consideradas alternativas.

Risco 1

- Problema: Mudança da API;
- Descrição: Todos os dados recolhidos e ações tomadas pelos *power meters* são controlados através da API. Concretamente, no caso dos dispositivos Cloogy, a API pode sofrer alterações sem que a unplugg tenha conhecimento prévio;
- Impacto: Inviabiliza o controlo dos equipamentos (e consequentemente automação) e a recolha de consumos no caso de uma mudança de versão da API. Atrasa o desenvolvimento se apenas forem feitas algumas modificações;

- Probabilidade: 60%;
- Estratégia: Contingência;
- Planos:
 1. Tentativa de Negociação com a ISA para disponibilizarem a documentação;
 2. Aquisição de novos equipamentos abertos;
 3. Procura de dados reais noutros sistemas;
 4. Simulação de dados e do estado dos equipamentos, fornecendo também sugestões.

Risco 2

- Problema: Avaria dos equipamentos
- Descrição: As ações de mudança de estados dos equipamentos e recolha de dados, embora sejam geridas por *software* do lado do servidor, necessitam obrigatoriamente dos dispositivos no final de todo o processo para realizar fisicamente as mudanças de estado e para recolherem diretamente os valores dos consumos.
- Impacto: Inviabiliza o controlo dos equipamentos (e consequentemente automação) e a recolha de consumos para o utilizador em estudo;
- Probabilidade: 5%
- Estratégia: Contingência
- Planos:
 1. Aquisição de novos equipamentos idênticos;
 2. Aquisição de equipamentos abertos;
 3. Procura de dados reais noutros sistemas;
 4. Simulação de dados e do estado dos equipamentos, fornecendo também sugestões.

C.2 Utilizadores de teste

De forma a ser possível validar os processos de automação, são necessários um conjunto de utilizadores que tenham equipamentos Cloogy e estejam predispostos a utilizar o sistema de automação desenvolvido neste projeto.

Risco 1

- Problema: Desinteresse dos utilizadores;
- Descrição: Os utilizadores poderão tender a reduzir o seu interesse ou a evitar o uso dos mecanismos de automação se estes não obtiverem os resultados desejados (por ainda ser uma plataforma *beta*) ou incomodarem o utilizador;
- Impacto: Inviabiliza a validação correta do sistema aquando da recolha de KPI, sem que por vezes o programador saiba que os utilizadores deixaram de usar o sistema de automação.
- Probabilidade: 5%;
- Estratégia: Mitigar;
- Planos:
 1. Seleção cuidada de utilizadores de teste;
 2. Comunicação constante com os utilizadores para perceber atempadamente eventuais problemas.

Risco 2

- Problema: Inexistência de utilizadores para teste;
- Descrição: Além do utilizador ter de demonstrar interesse nos sistemas de automação para poupar energia na sua residência, estes necessitam de um *kit* de equipamentos Cloogy com pelo menos uma *smart plug*;
- Impacto: Inviabiliza a validação correta do sistema;
- Probabilidade: 20%;
- Estratégia: Evitar;
- Planos:

1. Seleção cuidada de utilizadores teste em número superior ao necessário (caso de desistência outros problemas) preferencialmente com equipamentos Cloogy;
2. Aquisição de novos equipamentos Cloogy pela unplugg;

C.3 Deploy

A nova plataforma terá de ser alojada na *cloud*, existindo para tal várias opções gratuitas ou de baixo custo.

Risco 1

- Problema: Incompatibilidades no *deploy*;
- Descrição: Muitos dos sistemas de alojamento atuais como AppFog ou Heroku impõem restrições em termos de espaço usado e gestão de ficheiros. Quando a solução implementada é muito específica, o sistema de alojamento geralmente não suporta as o uso de determinadas bibliotecas pouco utilizadas;
- Impacto: Atrasos no planeamento para procurar alternativas com os responsáveis dos sistemas de alojamento. Impossibilidade de colocar a plataforma num sistema de alojamento externo.
- Probabilidade: 50%;
- Estratégia: Contingência;
- Planos:
 1. Procura de plataformas disponíveis que lidem com os requisitos da solução desenvolvida (*Heroku*, *AppFog*,...);
 2. Procura de um servidor Unix virtual (*Linode Cloud*, *Amazon*).

Apêndice D

Node.js Performance

As tabelas D.1, D.2 e D.3 foram construídas a partir da plataforma de testes da *Techempower*¹ que permite escolher um conjunto de configurações para posteriormente realizar os testes de *performance*. Os dados aqui apresentados são relativos apenas a testes que tenham usado *MongoDB* como base de dados e que não tenham apresentado erros, sendo que todos os restantes foram descartados.

O objetivo destes testes é apenas fornecer uma perspetiva comparativa entre algumas tecnologias adequadas ao projeto desenvolvido durante o estágio, por forma a perceber se Node.js é uma opção válida.

<i>Framework</i>	<i>Performance</i>	<i>Percentagem comparativa</i>
php	584	100%
go	552	94.5%
node	528	90.4%
aspnet-mvc	204	34.9%
rails	111	19.0%

Tabela D.1: Respostas por segundo a 20 *queries* por pedido a partir da Amazon EC2.

¹Mais informação em: <http://www.techempower.com>

<i>Framework</i>	Performance	Percentagem comparativa
php	206	100%
aspnet-mv	183	88.8%
go	182	88.3%
node.js	132	64.1%
rails	26	12.6%

Tabela D.2: Respostas por segundo a 20 *updates* por pedido a partir da Amazon EC2.

<i>Framework</i>	Performance	Percentagem comparativa
go	8479	100%
node	4399	51.9%
aspnet-mvc	380	4.5%

Tabela D.3: Pico de respostas ao acesso à base de dados por segundo, a partir da Amazon EC2 numa única *query*.

Apêndice E

Aprendizagem

E.1 Testes Configuração da Rede Neuronal Artificial

Numa fase inicial, a realização de testes com dados reais iria dificultar a análise dos resultados da rede neuronal, uma vez que se tratam de dados com bastante ruído. Assim, foram feitos testes com dados sintéticos para obter as melhores configurações, sendo estas usadas como ponto de partida para os testes com dados reais.

A análise feita neste estágio para obter as configurações da rede neuronal tem como objetivo a obtenção rápida de informações fundamentadas que possibilitem a execução da rede neuronal com bons resultados. Desta forma, assume-se que a metodologia seguida não é a mais correta e que as conclusões obtidas não são as ideais, mas sim, meramente um ponto de partida. Num cenário ideal deveria ter sido seguido um processo mais detalhado e completo o que por sua vez iria requerer um esforço excessivo e fora do âmbito do estágio.

E.1.1 Parâmetros testados

Número de camadas

Consiste no número de camadas entre a camada de entrada e saída. Estas são geralmente definidas como camadas escondidas, dado que é impossível modificar os seus dados, sendo a principal razão da denominação de *black-box* às redes neurais artificiais. De acordo com estudos, uma camada escondida é suficiente para a cobertura da grande maioria dos casos de estudo. Consoante o aumento do número destas a complexidade e tempo de execução do algoritmo tende a aumentar

abruptamente pelo que apenas foram testadas 1 e 2 camadas.

Número de neurónios das camadas escondidas

Com o aumento do número de neurónios, embora a complexidade e tempo de execução do algoritmo aumentem, este tende a ser capaz de detetar mais variações nos padrões. Porém, sempre que o número de neurónios é demasiado alto os resultados a qualidade da deteção de padrões voltam a diminuir.

Para os testes com duas camadas foram utilizados 2, 4, 10 e 20 neurónios em cada uma. Já para testes com apenas uma camada foram testados de 5 a 80 nós em intervalos de 5.

Erro máximo

Valor máximo que o algoritmo aceita para parar a aprendizagem. Sempre que o erro de aprendizagem for igual ou menor ao testado o algoritmo termina a sua execução.

Foram testados 0.1, 0.025 e 0.01.

Número máximo de *epochs*

Este valor pode ser visto como o número máximo de iterações do algoritmo, ou seja, o número de vezes que um *set* de treino atravessa toda a rede. Ao fim do valor estabelecido o algoritmo pára.

Para os testes foram utilizados valores 1000, 5000, 10000, 50000, 100000 e 200000.

epoch step

A cada intervalo de *epochs* o algoritmo efetua um processo de teste e verificação, por forma a avaliar se atualiza os pesos das ligações e nós da rede.

Foram testados 100, 1000 e 100000. Naturalmente que sempre que este valor ultrapassa o número máximo de *epochs* o teste não é realizado

E.1.2 Metodologia de testes

A dependência entre parâmetros de testes não é conhecida. Este facto levou a que fossem testadas todas as combinações dos parâmetros selecionados.

Por forma a garantir valor estatístico aos testes realizados, cada teste foi executado 30 vezes sendo construída posteriormente uma *confusion matrix* com a média dos valores recolhidos - falsos e verdadeiros positivos, falsos e verdadeiros negativos.

Para realizar uma comparação entre testes foi aplicado o algoritmo f_1Score a cada *confusion matrix* recolhida, o que permitiu avaliar a qualidade de cada teste e consequentemente facilitar a análise das melhores configurações a usar.

Dado que a quantidade de testes não permite uma visualização a olho nu de cada parâmetro, os resultados provenientes do algoritmo f_1Score foram organizados numa tabela pivô¹, permitindo sumarizar estes em função de cada parâmetro variado.

E.1.3 Testes com dados sintéticos

A geração de dados sintéticos teve por base um modelo probabilístico construído pelo estagiário, baseado em padrões reais. Durante os dias de semana existia uma probabilidade de consumo ativo de 80% das 20h às 23h inclusivé. Ao fim de semana o padrão é mais complexo conforme é visível na figura E.1. Como valor de *standby* foram assumidos 24W.h à semelhança de casos reais existentes na plataforma unplugg.

F_1Score			
Erro Máx.	Máximo	Média	StdDev
0.01	0.762	0.649	0.050
0.025	0.743	0.646	0.052
0.1	0.077	0.029	0.026

Tabela E.1: Resultados do F_1Score para dados sintéticos, variando o erro máximo.

F_1Score			
Máx. <i>epochs</i>	Máximo	Média	StdDev
1000	0.720	0.608	0.187
5000	0.740	0.670	0.041
10000	0.742	0.584	0.208
50000	0.762	0.598	0.165
100000	0.736	0.599	0.165
200000	0.738	0.565	0.174

Tabela E.2: Resultados do F_1Score para dados sintéticos, variando o número máximo de *epochs*.

¹http://en.wikipedia.org/wiki/Pivot_table

Intervalo <i>epochs</i>	<i>F₁Score</i>		
	Máximo	Média	StdDev
100	0.762	0.615	0.163
1000	0.743	0.597	0.170
10000	0.759	0.597	0.173

Tabela E.3: Resultados do F_1Score para dados sintéticos, variando o intervalo de *epochs*.

Neurónios	<i>F₁Score</i>		
	Máximo	Média	StdDev
[10]	0.762	0.485	0.281
[2, 2]	0.660	0.626	0.027
[2]	0.678	0.654	0.014
[4,4]	0.714	0.615	0.060
[4]	0.759	0.677	0.118

Tabela E.4: Resultados do F_1Score para dados sintéticos, variando o o número de camadas escondidas e neurónios.

Após a execução dos testes foi possível concluir que a melhor configuração seria um erro máximo de 0.01 (tabela E.1), 50000 como número máximo de *epochs* (tabela E.2) e 100 como intervalo (tabela E.3). Posteriormente realizaram-se mais alguns testes onde se concluiu que a melhor configuração da rede consiste numa única camada escondida (tabela E.4) com 15 neurónios (figura E.2). A escolha deve-se ao facto dos testes com mais do que uma camada terem revelado piores resultados, levando a que fosse aumentado o número de hipóteses de teste para o número de neurónios com uma única camada escondida. Embora 15 não seja a melhor configuração, o tempo de execução tende a aumentar exponencialmente com o aumento do número de neurónios (figura E.3). Assim, dada a proximidade de valores escolheu-se a configuração com menos neurónios.

E.1.4 Testes com dados reais

À semelhança dos testes para os dados sintéticos, foram variados os mesmos parâmetros mas partindo desta vez da configuração base já obtida com os dados sintéticos. É importante referir que o parâmetro do erro não foi incluído nesta nova análise, uma vez que qualquer uma das variáveis testadas nunca foi atingida, sendo desta forma irrelevante a sua análise, e considerado 0.01 como erro máximo à semelhança dos testes anteriores.

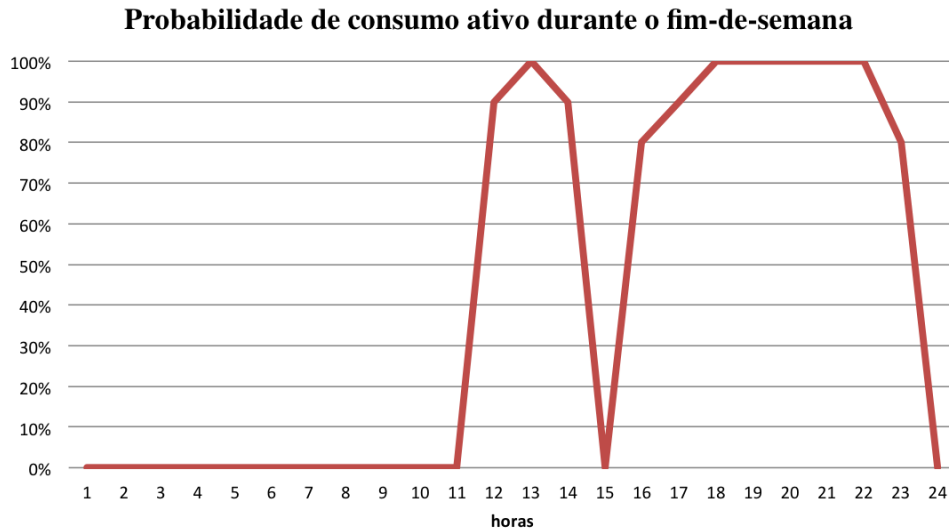


Figura E.1: Probabilidade de consumo ao longo do dia acima do *standby* (ativo) durante o fim-de-semana.

Os dados reais em teste referem-se a consumos desde dia 15 de Outubro de 2012 a dia 15 de Novembro do mesmo ano. A escolha de conjunto de dados deve-se ao fato deste apresentar padrões bem definidos em que os equipamentos não apresentaram qualquer falha na recolha de dados.

A realização dos testes com dados reais resultou numa configuração muito semelhante à da deduzida com dados sintéticos. A única diferença residiu no número de neurónios da camada escondida que passou de 15 para 10. Assim, a configuração final, e atualmente usada em produção resultou num erro máximo de 0.01 (tabela E.1), 50000 como número máximo de *epochs* (tabela E.6), 100 como intervalo (tabela E.7) e 10 neurónios na camada escondida (tabela E.5).

E.2 Aplicação das regras

Nesta secção são apresentados os gráficos para cada um dos cenários analisados na secção 6.1 relativa à verificação da aprendizagem.

Os presentes gráficos permitem uma visualização mais clara e direta dos consumos dos equipamentos com e sem a aplicação de regras. Estes foram retirados de uma plataforma de teste criada pelo estagiário para a realização de *benchmarks* para o módulo de aprendizagem.

Uma vez que os valores presentes nas tabelas 6.1, 6.2 e 6.3 dizem respeito

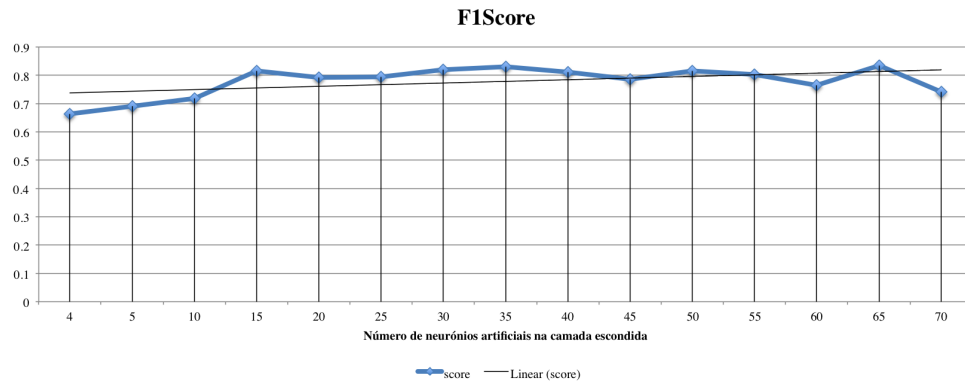


Figura E.2: Valor resultante da aplicação do f_1Score à *confusion matrix* de cada teste onde foi variado o número de neurónios da camada escondida.

Neurónios	F_1Score		
	Máximo	Média	StdDev
[2]	0.194	0.181	0.014525143
[2,2]	0.166	0.152	0.010754287
[4]	0.318	0.277	0.032083656
[4,4]	0.182	0.147	0.030593168
[10]	0.337	0.332	0.004
[10,10]	0.270	0.198	0.053
[15]	0.330	0.320	0.0127
[15,15]	0.290	0.256	0.021

Tabela E.5: Resultados do F_1Score para dados reais, variando o número de camadas escondidas e neurónios

a vários testes corridos, os gráficos de cada um dos cenários dizem respeito apenas ao primeiro teste de cada um.

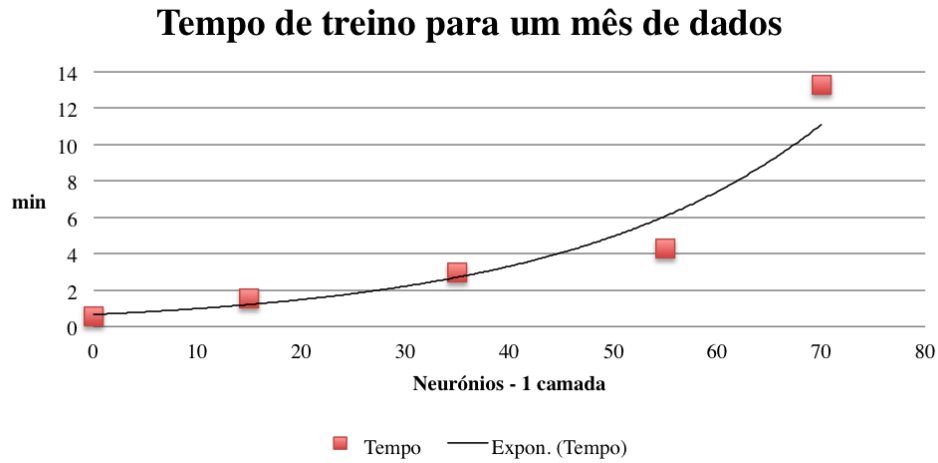


Figura E.3: Tempo de execução de cada teste variando o número de neurónios da camada escondida.

Máx. <i>epochs</i>	<i>F₁Score</i>		
	Máximo	Média	StdDev
50000	0.337	0.240	0.072
100000	0.333	0.226	0.077

Tabela E.6: Resultados do F_1Score para dados reais, variando o número máximo de *epochs*

Intervalo <i>epochs</i>	<i>F₁Score</i>		
	Máximo	Média	StdDev
100	0.337	0.240	0.071
1000	0.329	0.226	0.078

Tabela E.7: Resultados do F_1Score para dados reais, variando o intervalo de *epochs*

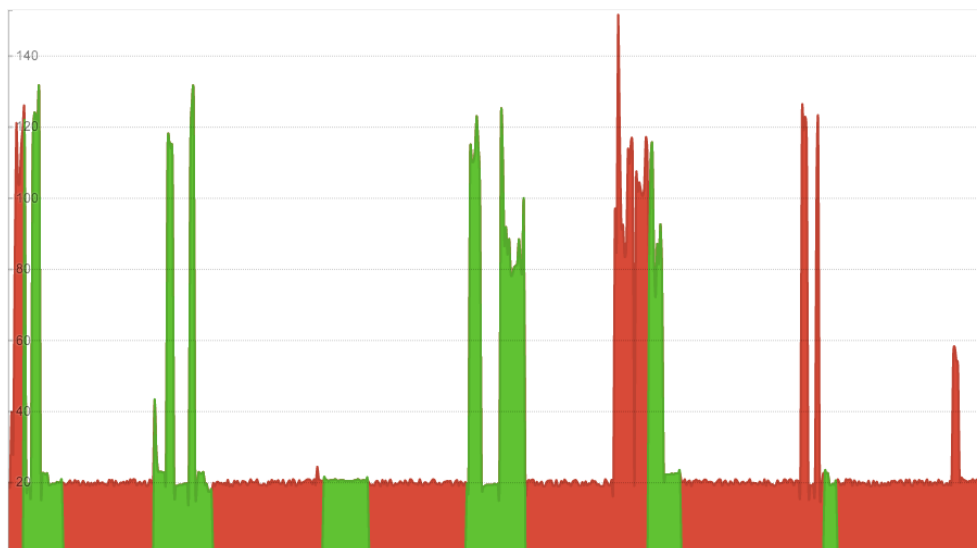


Figura E.4: Aplicação das regras no cenário 1 (6.1.1). A verde encontram-se os consumos reais, e a vermelho os consumos eliminados pelas regras. O eixo dos yy encontra-se em W.h.

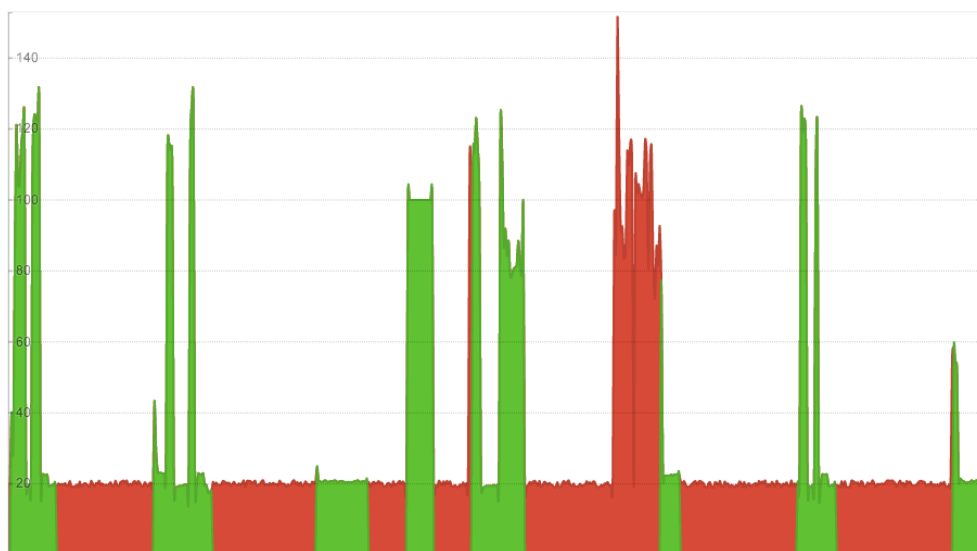


Figura E.5: Aplicação das regras no cenário 2 (6.1.2). A verde encontram-se os consumos reais, e a vermelho os consumos eliminados pelas regras. O eixo dos yy encontra-se em W.h.

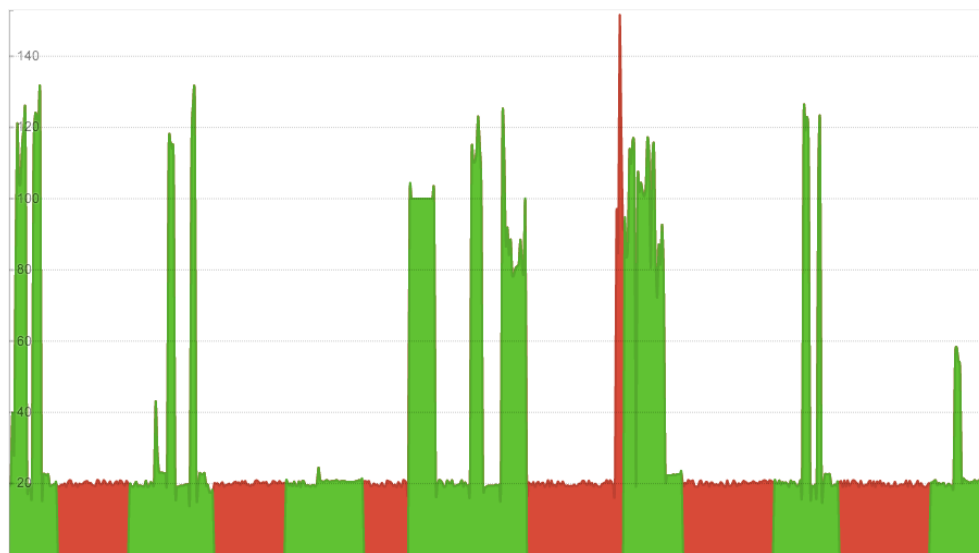


Figura E.6: Aplicação das regras no cenário 3 (6.1.3). A verde encontram-se os consumos reais, e a vermelho os consumos eliminados pelas regras. O eixo dos yy encontra-se em W.h.

Apêndice F

Iron.Io

F.1 Planos Existentes

Até à data atual, o serviço Iron.io oferece os seguintes planos para o uso do IronWorker:

	Planos			
	p0	p1	p2	p3
Nome	<i>free</i>	<i>small</i>	<i>medium</i>	<i>large</i>
Máx. Instâncias Concorrentes	50	200	400	1000
Horas de computação p/ mês	200	1000	3000	10000
Preço p/mês (\$)	0	49	149	499

Tabela F.1: Planos atualmente existentes para o serviço IronWorker

F.2 Configuração IronWorker

O ficheiro de configuração deverá estar colocado na pasta raiz do projeto.

Listing F.1: Ficheiro de configuração do IronWorker

```
deb 'http://ftp.de.debian.org/debian/pool/main/libf/libfann
/libfann2_2.1.0~beta~dfsg-8_amd64.deb'
deb 'http://ftp.de.debian.org/debian/pool/main/libf/libfann
/libfann-dev_2.1.0~beta~dfsg-8_amd64.deb'

full_remote_build true

runtime 'node'
```

```
exec 'FannWorker.js'

dir './models'
dir './databases'
dir './config'
dir './modules'
dir './node_modules'
dir './tmp'
dir './routes'

file './enqueue_fann.js'
file './statistics.js'

name 'ProcessingUnit'

file "./package.json"
```

F.3 Retorno

As figuras F.1, F.2 e F.3 apresentam o retorno obtido pela empresa, assumindo um custo de €0.5 pelo serviço de automação por cada tomada inteligente.

Dada a existência de vários planos, cada figura apresenta os momentos em que o respetivo plano é mais rentável e viável (dentro do seu limite máximo de carga), por forma a garantir cobertura do serviço até aos 10000 clientes.

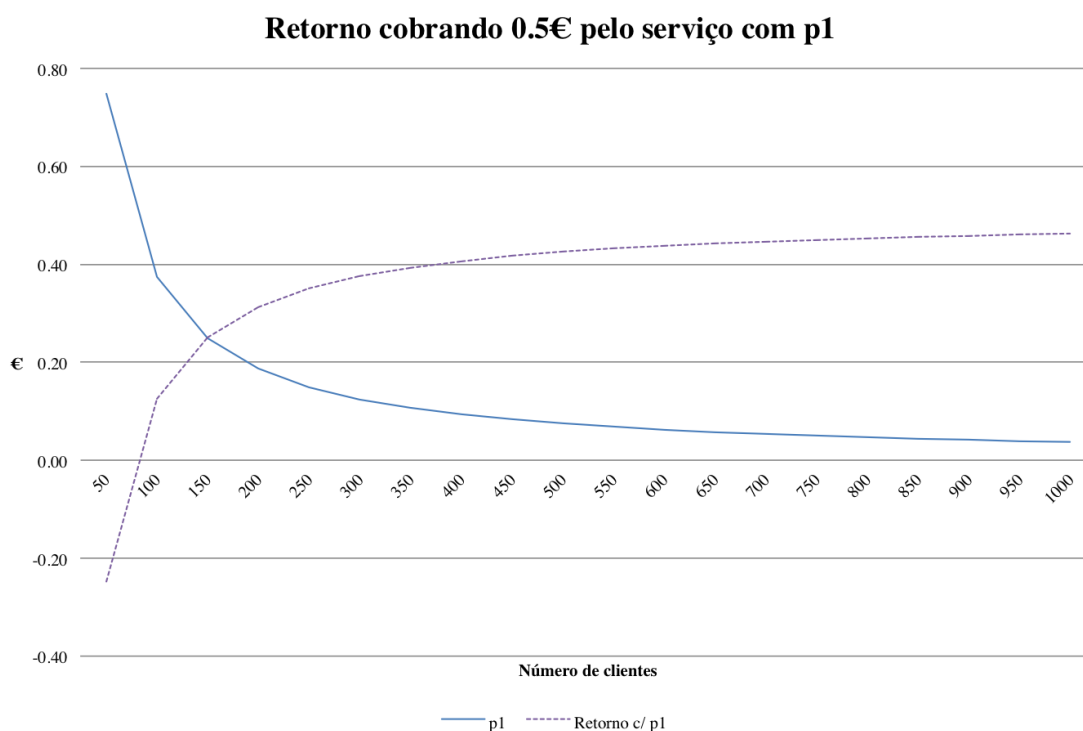


Figura F.1: Retorno financeiro para a empresa, utilizando o plano p1 e assumindo um custo de €0.50 pelo serviço para o cliente. Aos 1000 clientes o plano atinge a sua carga máxima.

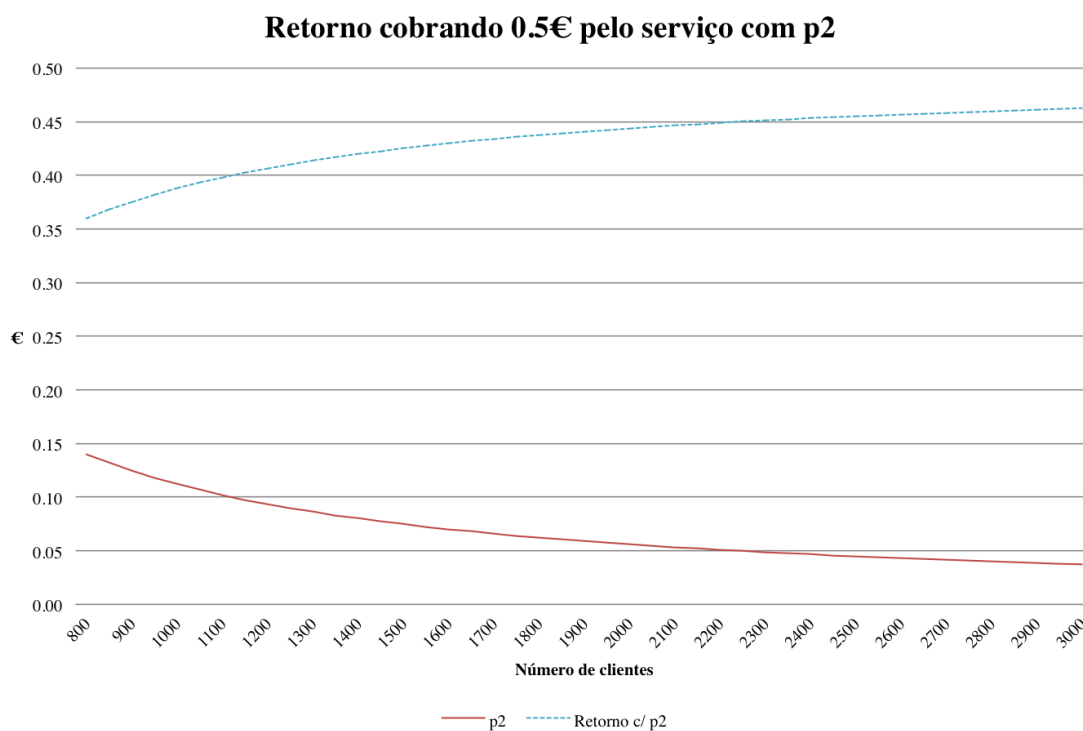


Figura F.2: Retorno financeiro para a empresa, utilizando o plano p2 e assumindo um custo de €0.50 pelo serviço para o cliente. Este plano é mais rentável dos 1000 aos 3000 clientes (ponto em que atinge a sua carga máxima).

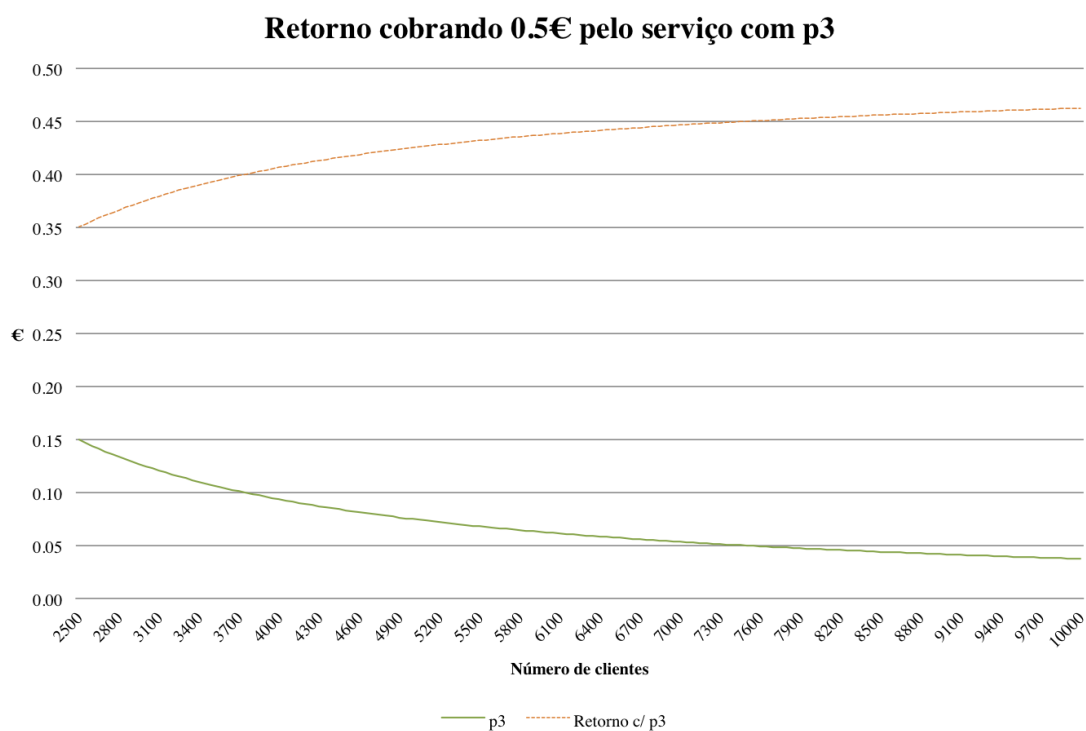


Figura F.3: Retorno financeiro para a empresa, utilizando o plano p3 e assumindo um custo de €0.50 pelo serviço para o cliente. Este plano é mais rentável dos 3000 aos 10000 clientes (ponto em que atinge a sua carga máxima).

Apêndice G

Testes

G.1 Listagem do *spec* dos testes unitários

\$ NODE_ENV=mocha mocha tests/unit --reporter spec

Delayed Workers

#saveAndLoad

- ✓ should save and return no err (1906ms)
- ✓ should load, return no err and an array with length one (173ms)

Statistics

#Gain

#FirstRun

- ✓ should return no ERR during the process (522ms)
- ✓ should exist a valid UsergainStatistic (81ms)
- ✓ should exist a valid PlugGainReport (79ms)

#SecondRun

- ✓ should return no ERR during the process (389ms)
- ✓ should exist a valid UserGainStatistic (82ms)
- ✓ should exist a new valid PlugGainReport (82ms)

Iron

#queue_task

- ✓ should return 200 ok (770ms)
- ✓ should return 301 (599ms)
- ✓ should return 401 - Invalid project/token combination (542ms)
- ✓ should return 401 - Invalid project/token combination - no Unit name given (539ms)

Statistics

#real_statistics

#FirstOne

- ✓ should return no ERR (389ms)
- ✓ should exist a valid UserStatistic (80ms)
- ✓ should exist a valid PlugReport (80ms)
- ✓ should exist a valid PastUserStatistic (80ms)

#Second One

- ✓ should return no ERR (445ms)
- ✓ should exist a valid UserStatistic (81ms)
- ✓ should exist a new valid PlugReport (156ms)
- ✓ should exist a valid PastUserStatistic (159ms)

S3

#save

- ✓ should not return statusCode and not ERR (899ms)

#load

- ✓ should return 200 ok (813ms)

Unplugg data

Homes

#getById

- ✓ should return a non 24 hex string error
- ✓ should return a valid home within an array with length one and no err (712ms)
- ✓ should return an empty array and no err (616ms)

#list

- ✓ Should return more than one home (1110ms)

- ✓ Should return more than one home (1045ms)

Meters

#getById

- ✓ should return a non 24 hex string error
- ✓ should return a valid meter within an array with length one and no err (585ms)
- ✓ should return an empty array and no err (612ms)

#list

- ✓ Should return more than one meter (779ms)
- ✓ Should return more than one meter (803ms)

Plugs

#getById

- ✓ should return a non 24 hex string error
- ✓ should return a valid plug within an array with length one and no err (591ms)
- ✓ should return an empty array and no err (1035ms)

#list

- ✓ Should return more than one plug (1473ms)
- ✓ Should return more than one plug (1116ms)

37 tests complete (27 seconds)

G.2 Listagem do *spec* dos *acceptance tests*

```
$ NODE_ENV=mocha mocha tests/system --reporter spec
```

Flows

#hasNoRule

✓ it should not return ERR (220ms)

#executeNormalRule

✓ it should not return ERR (159ms)

#postPoneRule

✓ it should not return ERR (242ms)

#executePostPonedRule

✓ it should not return ERR (658ms)

#postPone_PostPonedRule

✓ it should not exist err and data should be an array with length 1 (1453ms)

#doNotExecutePostPonedRule

✓ it should not exist err and data should be an array with length 0 (815ms)

6 tests complete (4 seconds)

Apêndice H

Inquéritos

H.1 Inquérito

Na imagem H.1 encontra-se o inquérito colocado aos utilizadores teste, através do serviço *Google Drive*.

H.2 Respostas

Na imagem H.2 encontram-se as respostas inquérito colocado aos utilizadores teste, através do serviço *Google Drive*.

Timestamp	Como classifica o sistema na aprendizagem das suas rotinas semanais?	Como classifica a experiência com o sistema?	Com que frequência contrariou o sistema?	Se não fosse um utilizador beta-tester teria desligado o sistema de automação?	Se respondeu afirmativo na questão anterior, quais as razões?	Que sugestões tem a fazer ao sistema?
6/30/2013 22:03:39	4	3	Nunca contrariei o sistema	Sim	Não aprendeu os meus padrões semanais	
7/1/2013 13:36:17	4	4	Contrariei 1 a 2 vezes	Não		

Figura H.2: Respostas do inquérito apresentado aos utilizadores de teste.

Plataforma de Automação

Este pequeno inquérito tem como objectivo fornecer uma perspectiva do utilizador face ao sistema utilizado.

Como classifica o sistema na aprendizagem das suas rotinas semanais?

1 2 3 4 5

Nunca aprendeu ☒ ☐ ☐ ☐ ☐ Aprendeu todas as rotinas

Como classifica a experiência com o sistema?

1 2 3 4 5

Complexa ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Intuitiva

Com que frequência contrariou o sistema?
(por semana)

Se não fosse um utilizador beta-tester teria desligado o sistema de automação?

☐ Sim
☐ Não

Se respondeu afirmativo na questão anterior, quais as razões?
Podem ser seleccionadas várias opções ou apenas uma.

☐ Os equipamentos não funcionam corretamente
☐ Não aprendeu os meus padrões semanais
☐ Não poupo o suficiente
☐ Other:

Que sugestões tem a fazer ao sistema?

Never submit passwords through Google Forms.

Powered by  This content is neither created nor endorsed by Google.
[Report Abuse](#) - [Terms of Service](#) - [Additional Terms](#)

Figura H.1: Inquérito apresentado aos utilizadores de teste.