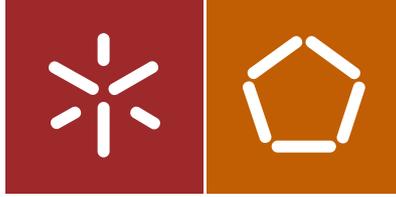




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Álvaro António Fontes Marques da Silva

Caraterização, modelação e previsão
do consumo de água a curto prazo



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Álvaro António Fontes Marques da Silva

Caraterização, modelação e previsão
do consumo de água a curto prazo

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Júlio F. Ferreira da Silva

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar os meus agradecimentos a todos que ajudaram de alguma forma a concluir este trabalho.

Em particular gostaria de agradecer ao Professor Júlio Ferreira da Silva, orientador da dissertação, pela sua paciência, compreensão e pelo seu conhecimento que me transmitiu ao longo do trabalho.

Aos meus familiares e amigos queria agradecer pelo apoio, o incentivo e a força ao longo desta jornada.

Em especial, gostaria de agradecer aos meus pais e principalmente à minha irmã, pelo seu incentivo, atenção e compreensão nos momentos mais difíceis durante o meu percurso académico.

RESUMO

A gestão dos recursos híbridos apresenta-se como um dos maiores desafios no futuro da humanidade. As entidades gestoras dos sistemas de abastecimento de água procuram soluções que tragam melhorias no serviço prestado à população recorrendo a técnicas de previsão do consumo que buscam ajudar na gestão dos sistemas.

Com este trabalho pretende realizar-se a caracterização, modelação e previsão do consumo de água num subsistema de distribuição da empresa Águas do Douro e Paiva S.A. A análise das sucessões cronológicas foi realizado em modelos estocásticos ARIMA através do *software* estatístico SPSS e um outro modelo que foi desenvolvido com recurso ao MSEXcel utilizando o solver para calcular os parâmetros.

Simula-se a aplicação dos modelos desenvolvidos para a previsão em tempo real de consumos de água a dois locais diferentes de estudo no concelho de Matosinhos, da freguesia de Freixieiro e da freguesia do Padrão da Légua, incluindo no modelo a variável temperatura.

Os resultados obtidos das experiencias realizadas permitem concluir que, neste caso concentro, os modelos desenvolvidos em Excel apresentaram um desempenho próximo dos modelos ARIMA.

Palavras-chaves: Previsão de água, Caracterização, Modelação, Sistema de abastecimento de água, Series temporais

ABSTRACT

The management of hybrid resources is presented as one of the greatest challenges in the future of humanity. Managing bodies of water supply systems seek solutions that bring improvements in the service provided to the population using consumption forecasting techniques that seek to help in the management of systems.

This work intends to carry out the characterization, modelling and prediction of water consumption in a company's distribution subsystem Águas do Douro e Paiva SA. The analysis of time series was held in stochastic ARIMA models using the statistical software SPSS and other model was developed with recourse to MSExcel using the solver to calculate the parameters.

Simulate the application of the models developed for real-time forecasting of water consumption to two different study sites in the municipality of Matosinhos, the parish Freixieiro and Standard Légua the parish, including the temperature variable model.

The results of the experiments conducted to conclude that, in this case focus, models developed in Excel submitted a performance close to the ARIMA models.

Keywords: Water demand prediction ; Characterization; Modelling, Water Supply System ; Time Series

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos	2
1.2	Motivação.....	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1	Consumo de água	5
2.2	Tipos de utilização da água.....	5
2.3	Fatores influenciam o consumo	7
2.4	Variações de consumo.....	8
2.5	Previsão do consumo	9
2.5.1	Modelos de previsão	13
2.6	Caraterização dos Consumos	15
2.7	Modelação e Projeção de consumos	16
2.8	Trabalhos Recentes	17
3	METODOLOGIA	21
3.1	Recolha e Filtragem dos Dados	22
3.2	Tratamento de Dados	24
3.3	Variáveis utilizadas	28
3.4	Aplicação dos Modelos de Previsão	29
3.5	Modelos ARIMA	30
3.6	Modelação e Previsão com Recurso a uma Ferramenta de Otimização	33
3.7	Critérios de avaliação do modelo.....	37
4	APLICAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	39
4.1	Aplicação e Análise dos Resultados Obtidos em SPSS	39
4.2	Aplicação e análise dos resultados obtidos em Solver do MSEXcel.....	47
5	CONCLUSÃO E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	57

5.1 Conclusão.....	57
5.2 Trabalhos futuros	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIAS.....	61
ANEXOS.....	63
Anexo A1 – exemplo de base de dados	63
Anexo A2 – resultados do processo de modelização em SPSS.....	66
Anexo A3 – resultados do processo de modelização com recurso a uma ferramenta de otimização (MSExcel)	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Técnicas utilizadas na previsão de consumo (Fonte: Trautwein (2004)).....	10
Figura 2 - Fluxograma dos tipos de técnicas utilizadas para previsão do consumo de água (Borges, 2003).....	13
Figura 3 - Mapa da localização das zonas do caso de estudo (maps.google.com).....	23
Figura 4 - Representação da leitura da ausência de leituras no dia 31 de Março.....	25
Figura 5 - Representação da anomalia detetada entre 22.06.2014 a 10.07.2014.....	26
Figura 6 – Representação do consumo do Padrão da légua do Domingo.....	27
Figura 7 – Metodologia de Box e Jenkins (Adaptado do Cortez).....	30
Figura 8 - Modelo 1 e 1A de previsão em SPSS, para o perfil “Dias de Trabalho”.....	40
Figura 9 - Modelo 1 de previsão, para o perfil “Dias de Trabalho”, dia de previsão.....	41
Figura 10 - Modelo 1-A de previsão em SPSS, para o perfil “Dias de Trabalho”, previsão hora a hora.....	42
Figura 11 - Comparação das diferenças do CR e CM, dos modelos 1 e 1-A, para o dia de previsão, hora.....	43
Figura 12 - Modelo 5, gráfico que relaciona CR com T.....	49
Figura 13 – Modelo 5, gráfico que relaciona CR; CM e dif2.....	50
Figura 14 -- Modelo 5, gráfico que relaciona CR; CM(SPSS) e dif2(SPSS).....	51
Figura 15 - Modelo 5, gráfico que relaciona CM; CM(SPSS).....	52
Figura 16 - Modelo 5, gráfico que relaciona CM; CM(SPSS) e CR.....	53
Figura 17 - Modelo 2 de previsão em SPSS, para o perfil de “Fim de semana”.....	67
Figura 18 -Modelo 2 de previsão em SPSS, para o perfil “Fim de semana”, previsão para 24 horas.....	68
Figura 19 -Modelo 3 de previsão em SPSS, para o perfil de “Sábados”.....	69
Figura 20 - Modelo 3 de previsão em SPSS, para o perfil “Sabado”, previsão para 24 horas.....	70
Figura 21 -Modelo 4 de previsão em SPSS, para o perfil “Domingo”.....	71
Figura 22 - -Modelo 5 de previsão em SPSS, para o perfil “Domingo”, previsão para 24 horas.....	72
Figura 23 -Modelo 5A, gráfico que relaciona CR com T.....	74
Figura 24 - Modelo 5A, gráfico que relaciona CR; CM e Dif2.....	75
Figura 25 - Modelo 5A, gráfico que relaciona CR; CM(SPSS) e dif2(SPSS).....	76

Figura 26 - Modelo 5A, gráfico que relaciona CM com CM(SPSS)	77
Figura 27 - Modelo 6, gráfico que relaciona CR , T	79
Figura 28 - Modelo 6, gráfico que relaciona CR , CM e Dif.....	80
Figura 29 - Modelo 6, gráfico que relaciona CR; CM(SPSS) e Dif.....	81
Figura 30 - Modelo 6, gráfico que relaciona CM; CM(SPSS) e CR.....	82

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores que influenciam o consumo	12
Tabela 2 - Ausência de leituras no dia 31 de Março	25
Tabela 3 – Exemplo da aplicação do incremento de temperatura para 17°C	34
Tabela 4 - exemplo do modelo criado e as diferenças entre consumos do modelo e consumos reais	36
Tabela 5 - Modelo 1 de previsão de hora a hora para o perfil Dias de trabalho.....	44
Tabela 6 - Modelo 1-A de previsão 24 horas para o perfil Dias de trabalho.....	44
Tabela 7 - Modelo 2 de previsão para o perfil Fim-de-semana.....	45
Tabela 8 - Modelo 3 de previsão para o perfil Domingo	45
Tabela 9 - Modelo 4 de previsão para o perfil de Sábado	45
Tabela 10 - Valores dos parâmetros otimizados para o modelo 5.....	48
Tabela 11 - Modelo 5, Solver do Excel, Freixieiro, Tabela de resumo.....	54
Tabela 12 - Modelo 5A, Domingo, Freixieiro, Tabela de resumo	54
Tabela 13 - Modelo 5A, Sábado dia 6 de Setembro, Freixieiro, Tabela de resumo.....	55
Tabela 14 – Modelo 6, Padrão da Légua, Tabela de resumo.....	56
Tabela 15 - exemplo tabela de dados.....	63
Tabela 16 - Valores dos parâmetros otimizados para o modelo 5, “Domingo”	78
Tabela 17 – Valores dos parâmetros otimizados para o modelo 5, “Sábado”	78
Tabela 18 – Valores dos parâmetros otimizados para o modelo 6, “Dias de Trabalho”	78

LISTA DAS ABREVIATURAS

ACF – *autocorrelation function* – função de auto-correlação.

AIC – *Akaike information criterion*.

AR – auto-regressivo.

ARIMA – *autoregressive integrated moving average* – processo auto-regressivo integrado de média móvel.

ARMA – *autoregressive moving average* – auto-regressivo de média móvel.

BIC - *Bayesian Information Criteria*

CM – consumo registado no modelo.

CR – consumo real registado.

CSV – *Comma-separated Values* – valores separados por vírgulas.

d – grau de diferenciação.

Dif – diferença entre consumo real registado e consumo registado no modelo.

ETA – estação de tratamento de águas..

GRG – gradiente reduzido generalizado.

MSExcel – Microsoft Office Excel.

p – ordem de auto-regressivo.

PACF – *partial autocorrelation function* – função de auto-correlação parcial.

q – ordem da média móvel

RNA – redes neurais artificiais

SA – algoritmo de simulação annealing.

SD – sistema dinâmico.

SPSS – *Statistical Package for the Social Sciences* - pacote estatístico para as ciências sociais.

t – tempo.

T – temperatura.

TC – incremento da temperatura

1 INTRODUÇÃO

A água é um bem público que deve ser preservado e tem uma grande importância na atividade humana, pois este recurso natural, embora seja limitado, é o mais abundante do planeta. Além de matar a sede a cerca de bilhões de pessoas que habitam no planeta, está presente em praticamente tudo. Mas, contrariamente, este recurso fundamental para a sobrevivência dos seres humanos, enfrenta uma crise de abastecimento.

Atualmente, estima-se que cerca de 40% da população global viva em áreas limitadas de água e, não se prevendo nenhuma melhoria, estima-se que a escassez aumente nos próximos 20 anos para 60%. Além de provocar problemas para o consumo humano, poderá prejudicar a agricultura e a produção industrial, visto que a água e o crescimento económico estão interligados.

A água disponível para consumo tem vindo a sofrer uma forte diminuição ao nível da quantidade e qualidade, associado ao crescimento e à qualidade de vida da população, o que obriga a tomar medidas de gestão nos sistemas de abastecimento com a finalidade de um maior controlo de água. A sua captação tem sido feita cada vez mais em fontes distantes das zonas urbanas, sendo que os mais afetados são as populações, uma vez que resulta num aumento do valor do preço da água.

Com o objetivo de melhorar o planeamento do uso da água, foi preciso criar medidas, necessárias para satisfazer as carências sentidas pelas populações no serviço de distribuição domiciliária, obrigando assim os responsáveis pelos sistemas de abastecimento a recorrer a ferramentas de previsão de consumo de forma a garantir um serviço contínuo e fiável.

A previsão e modelação recorre a dados históricos recentes de consumo, ajustados com series cronológicas de forma a antecipar as necessidades futuras e, esta divide-se em função do seu horizonte, podendo ser a longo prazo e a curto prazo.

Os modelos de previsão de consumo a curto prazo, tem como principal objetivo aperfeiçoar a operação do sistema de abastecimento de água, de forma a oferecer um serviço de qualidade a um menor custo. Outro tipo de utilização remete para a redução de perdas encontradas nos sistemas de distribuição de água, permitindo uma economia considerável de água.

A projeção a longo prazo nos sistemas de abastecimento quantifica as solicitações máximas que servem como elementos de decisão na construção, manutenção e operação do sistema.

1.1 Objetivos

Neste trabalho, pretende-se fazer uma previsão do consumo para duas freguesias do concelho de Matosinhos, com características diferentes de consumo, tendo como objetivo avaliar o desempenho de modelos de previsão para diferentes regiões.

O objetivo deste trabalho consiste em aplicar um modelo desenvolvido em MSExcel na previsão das utilizações horárias de água de forma a avaliar a possibilidade de implementar esses modelos na gestão dos sistemas urbanos de condução de água. Este modelo, deverá apresentar uma eficiência semelhante aos modelos Arima utilizados no *software* de análise estatística, neste caso o SPSS.

1.2 Motivação

Durante a investigação sobre a temática de previsão, pode verificar-se a existência de variadíssimas técnicas para prever o consumo, sendo que estas estão sujeitas a diversos fatores, o que torna cada vez mais complexo a sua compreensão. Representa um desafio para qualquer engenheiro na escolha do melhor modelo, que possa ser utilizada em sistemas de abastecimento. As primeiras técnicas de previsão foram adotadas com a finalidade de prever o consumo de eletricidade dos SAA. Hoje em dia, já se utiliza modelos de previsão na operação dos SAA, trazendo grandes melhorias aos sistemas e garantindo um serviço que cumpra com as exigências do consumidor final.

Atualmente, as técnicas mais estudadas são a inteligência artificial (redes neurais) por apresentar grande capacidade de aprendizagem, bem como reconhecer os padrões de consumo através de vários fatores, porém, são muito complexos e trazem custos computacionais. Segundo Cortez (2002), a escolha do melhor modelo de previsão para series temporais deve ter em conta determinados fatores como a sua complexidade, rapidez do cálculo e os custos computacionais.

Nesta tese, utilizou-se MSExcel, com a finalidade de criar modelos desenvolvidos em Excel para a operação dos sistemas de abastecimento, sendo que trata de uma ferramenta acessível a todos os utilizadores, a sua formulação e entendimento pelo usuário é relativamente fácil, exige pouco tempo computacional e, os modelos apresentam uma eficiência semelhante a ferramentas específicas, como o SPSS.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Consumo de água

Segundo Walski citado Fernandes (2011), a utilização de água tratada é compreendida por três princípios básicos: a água consumida pelos clientes, a água prevista no combate a incêndios e as perdas ocasionais nas condutas.

2.2 Tipos de utilização da água

Em Portugal, a utilização de água é destinada sobretudo ao sector agrícola, sucedendo-se a utilizações urbanas e industriais.

A água transportada pelos sistemas de abastecimento, que é distribuída pela rede pública, tem como destino (Fernandes, 2011) :

- Utilização Domestico
- Utilização Público
- Utilização Comercial
- Utilização Industriais
- Perdas

A utilização doméstica classifica-se como toda a água consumida dentro e fora das habitações. Sendo que, geralmente, as utilizações no interior destina-se ao consumo doméstico e são proporcionais ao número de ocupantes. Enquanto, a água usada no exterior, destina-se à lavagem de calçadas, regas de jardins e lavagens de carros, piscinas, etc. Os fatores que intervêm no consumo de uso doméstico são, o nível socioeconómico da população, sendo maior o consumo quanto mais elevado for este padrão, outros fatores estão relacionados com a estação do ano e o clima, a localização da região e tipologia de habitação, que se verifica grandes variações em termos percentuais da utilização de água.

A utilização comercial está ligada a diversas atividades comerciais, tais como bares, restaurantes, hotéis, postos de gasolina, entre outros. Mas o tipo de utilização é, muitas das vezes, idêntico à utilização doméstica, como no caso dos sectores de serviços ou terciários, com particular atenção aos escritórios e armazéns.

As utilizações públicas, estão relacionadas com o tipo de atividades municipais e as instituições públicas, sendo destinado à rega do jardim, lavagem de ruas, passeios, em instalações sanitárias, limpeza de instalações, balneários, preparação de alimentos, alimentação em bocas de incêndio, entre outros.

Um dos fatores que influencia a utilização de água de forma bastante variada, é a dimensão de cada unidade comercial ou pública. Tanto as utilizações comerciais como públicas, a nível nacional, não existe informação disponível de modo a que se possa apontar a estrutura de consumo, mesmo assim, afirma-se que neste tipo de instalações as perdas de água são elevadas.

Em Portugal, o uso de água com fins industriais é, na sua maioria, para as atividades do ramo da transformação, particularmente nos sectores dos têxteis e da produção de papel, apresentando consumos na ordem dos 75% sobre o consumo total. De seguida, aparecem as indústrias metalúrgicas de base, química e alimentar. O uso para fins industriais, onde se engloba usualmente as unidades de pequena e média dimensão, que são abastecidas pela rede pública de distribuição, abrange cerca de 40% do total de água utilizada. Nas unidades industriais, a utilização de água é, na sua maioria, para o processo de fabrico, sistemas de transformação de calor, lavagem de instalações e de equipamentos, instalações sanitárias, rega de espaços verdes, lavagens de veículos, entre outros (Pinto, 2004).

As perdas, a nível nacional, apresentam valores médios, cerca de 40%. Este valor diz respeito a água perdida em sistemas de adução e distribuição, isto é, a diferença entre o volume de água que entra no sistema e volume de água sujeito a cobrança. Assim, torna-se de extrema importância ter em atenção as perdas existentes, além das utilizações estabelecidas anteriormente, para se conseguir obter um uso otimizado.

As perdas podem ser divididas em duas categorias diferentes que são: perdas aparentes ou perdas físicas. As primeiras dizem respeito a utilizações de água não são contabilizadas devido aos equipamentos de medição das utilizações cobradas enquanto, que, nas *perdas físicas* corresponde a fugas no sistema de distribuição e adução.

2.3 Fatores influenciam o consumo

Segundo Falkenberg (2005), existem diversos fatores que influenciam o consumo de água, como o caso:

- Tipo de consumidor – o consumo varia consoante utilizações de água, como exemplo comercial, residencial, industrial, entre outros;
- Hábitos e nível de vida da população – quanto melhor for a qualidade de vida da população, maior será o seu consumo;
- Sazonais – o consumo é diferenciado nas quatro estações do ano;
- Diário – a variação do consumo diferenciado ao longo da semana;
- Clima – temperatura ambiente, humidade, precipitação;
- Tamanho da cidade;
- Localização geográfica da cidade;
- Estação do ano: consumo é diferenciado nas quatro estações do ano.

A escolha do melhor método de previsão, depende de inúmeros fatores e cada caso deve ser estudado com parcimónia, pois, nem sempre o melhor modelo de um caso pode ser generalizado. (Trautwein Jr., 2004).

Os fatores climáticos influenciam diretamente no consumo de água e são os mais utilizados na previsão do consumo, mas apresentam uma componente fortemente aleatória, o que dificulta a modelação e a sua utilização para a obtenção de previsões. Embora, conceptualmente seja interessante a associação das utilizações de água aos fatores climáticos, na prática a sua utilização como variáveis dos modelos de previsão, não tem produzido qualquer acréscimo de qualidade, relativamente às previsões realizadas com técnicas de análise de sucessões cronológicas. (Ferreira da Silva, 2008)

2.4 Variações de consumo

O consumo de água tem variações que estão relacionadas com o horizonte do consumo que pode variar entre (Santos, 2011):

- Anual: o consumo tende a crescer com o decorrer do tempo, devido ao aumento populacional;
- Mensal: as variações que ocorrem ao longo dos meses. Esse fator está intimamente ligado ao clima, ou seja, a sazonalidade;
- Diária: as variações de consumo que ocorrem no dia-a-dia horária: são as variações que ocorrem nas diversas horas do dia e,
- Instantânea: as variações que ocorrem devido a acidentes não previstos, tais como, incêndios, fugas, manutenção da rede, entre outras.

2.5 Previsão do consumo

A previsão consiste em estimar acontecimentos futuros, baseados em dados históricos. Os dados históricos sofrem uma combinação sistemática de forma a alcançar uma estimativa futura (Silva, 2002, citado Silva, 2003).

A previsão da procura é utilizado na determinação dos produtos ou serviços, que ajudam a definir na organização da empresa. Deste modo, a previsão consiste em combinar os dados históricos com o auxílio de modelos matemáticos para estimar eventos futuros, já na predição assenta-se em considerações subjetivas para estimar acontecimentos futuros, sem combinações predeterminadas. (Silva, 2003).

Os Métodos aplicados à previsão divide em duas classificações:

- Qualitativos (prognosticados) aplicam em métodos não analíticos baseados na opinião de especialistas.
- Quantitativos (esperados) utiliza modelos matemáticos para a estimação e podem ser usados como ferramenta de apoio à decisão.

Os métodos qualitativos podem ser classificados em dois grupos: métodos causais e métodos não causais. Os métodos causais procuram relacionar a variável que pretende fazer previsões com outros fatores, denominados como variáveis independentes. Os métodos não causais são baseados apenas na análise de series da dados históricos da variável a prever, que caracteriza a forma de evolução e projeta no futuro esses padrões de comportamento. A figura 1 apresenta os principais métodos utilizados na previsão do consumo.

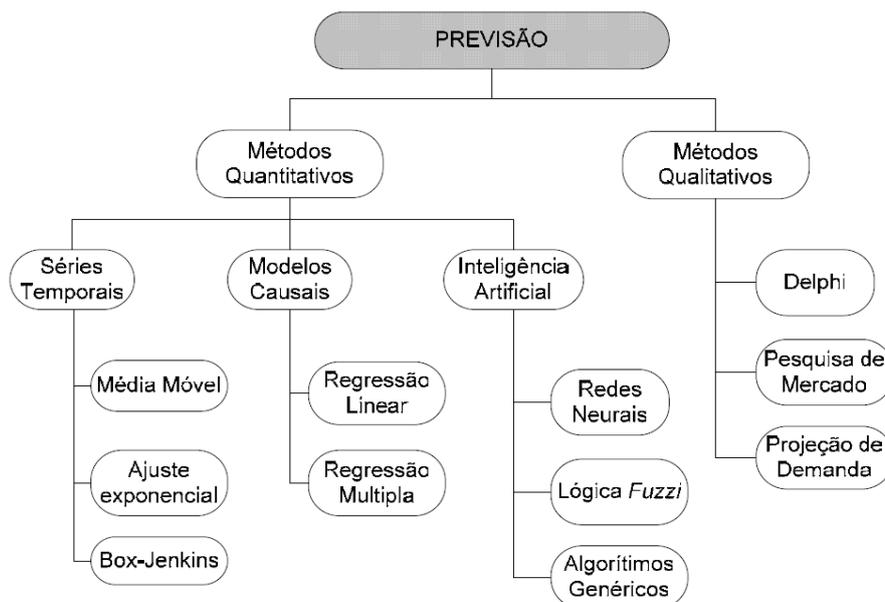


Figura 1 – Técnicas utilizadas na previsão de consumo (Fonte: Trautwein (2004))

A previsão divide-se em função do seu horizonte que classifica-se a longo prazo e a curto prazo.

A previsão a longo prazo prevê as solicitações máximas dos sistemas de distribuição, baseado na combinação de padrões de consumo com projeções demográficas tendo em conta o crescimento da população. Geralmente é utilizada como parâmetros para planeamento ou projetos destinados à ampliação de capacidade e traz benefício de medidas de conservação.

A previsão a curto prazo tem como objetivo prever o consumo diário (dias) ou horário (próximas horas), que fornece resposta instantânea aos sistemas produtores e de distribuição sobre as ocorrências de picos prolongados e flutuações acentuadas no consumo. É útil na tomada de decisão sobre manobras operacionais de distribuição, e avaliação do benefício resultante de medidas de conservação e uso racional da água voltado à redução dos picos de consumo. A previsão de curto prazo está associada aos estudos de efeitos de medidas de racionamento ou a operação em tempo real com base nos padrões de consumo.

Muitos artigos são aplicados às previsões que retratam da modelagem anual ou mensal do uso urbano da água, sendo que estudos para a utilização da água diário como a previsões a curto prazo existem poucos.

Para os estudos de concepção e projeto de construção de obras hidráulicas que procuram acautelar o abastecimento, será necessário ter em conta os consumos médios por zona, utilizando alguns parâmetros recomendados. Os parâmetros associados aos coeficientes de consumo são:

- Coeficiente do dia de maior consumo, isto é, a razão entre o consumo médio do dia de maior consumo em relação ao consumo médio de um longo período;
- Coeficiente da hora de maior consumo, isto é, a razão entre o maior consumo horário do dia em relação ao consumo médio horário do dia;
- Coeficiente da hora de menor consumo, isto é, a razão entre o menor consumo horário do dia em relação ao consumo médio horário do dia.

No que respeita a previsões de longo prazo, deve-se ter em atenção a definição dos coeficientes de consumo para a realização de estudos de planeamento e o projeto dos sistemas de abastecimento.

Segundo Falkenberg (2005), o conhecimento prévio do perfil de consumo de água ao longo do dia permite planear a operação do respetivo sistema de abastecimento possibilitando a otimização dos custos de produção e distribuição de água, mantendo-se a qualidade exigida para o consumo. As vantagens que podem ser obtidas com o auxílio de um modelo de previsão são:

- Identificação de possível perda física de água no sistema – um modelo de previsão confiável pode acusar, em tempo hábil, qualquer anormalidade tal como fugas, caso seja constatado um desvio muito grande entre a previsão e o consumo observado;
- Ganho na qualidade da água, através de armazenamentos adequados, limitando-se a transferir o volume necessário para os reservatórios, evita-se a perda de qualidade da água não consumida em tempo adequado, ou seja, a concentração de cloro residual é mantida a níveis adequados;
- Consumo de energia: conhecendo-se o consumo nos períodos de pico (ponta) de energia, pode-se planear a reserva de água para reduzir a procura desse período e desligar os equipamentos durante o mesmo, evitando-se maiores tarifas relativas ao horário de pico;

- Planeamento da operação diária da Estação de Tratamento de Água (ETA), de modo a conferir previsibilidade à operação, pois vários fatores são funções do consumo e conseqüentemente do caudal necessário a ser fornecido para o abastecimento. Entre os fatores pode-se citar a dosagem de produtos químicos, programação de manutenção;
- Estimativa das variáveis de ajuste de controlo de carga de pressão e caudal ótimas ao longo do dia, bem como níveis mínimos e máximos dos reservatórios;

Os modelos de previsão de consumo a curto prazo auxiliam na operação diária do sistema de abastecimento, dentro dos processos de produção e distribuição, porém, ainda é fortemente baseada na experiência dos técnicos de produção e distribuição envolvidos. Este modelo tem em conta uma variabilidade do consumo baseada em inúmeros fatores. Na tabela 1 apresenta os principais fatores que influenciam o consumo dependendo do seu horizonte (Trautwein Jr., 2004):

Tabela 1 - Fatores que influenciam o consumo

Horizonte de Previsão	Fatores que influenciam o consumo
Horaria	Período do dia
Horária e diária	Temperatura, umidade ou chuva, dia da semana
Semanal e mensal	Época do ano
Mensal e semestral	Variação no número de ligações por ampliações do sistema ou mudanças nos limites das áreas de abastecimento

2.5.1 Modelos de previsão

Os modelos desenvolvidos para previsão, dependem da finalidade e do seu horizonte de previsão do consumo, estes recorrem a técnicas estatísticas convencionais, tais como a regressão linear ou múltipla para a análise da série temporal e, também, a técnicas com base em sistemas inteligentes como Redes Neurais Artificiais, que se destacam devido à sua capacidade de modelar comportamentos não lineares, apresentando grande capacidade de aprendizado e generalização. A figura 2 representa todos as técnicas de previsão.

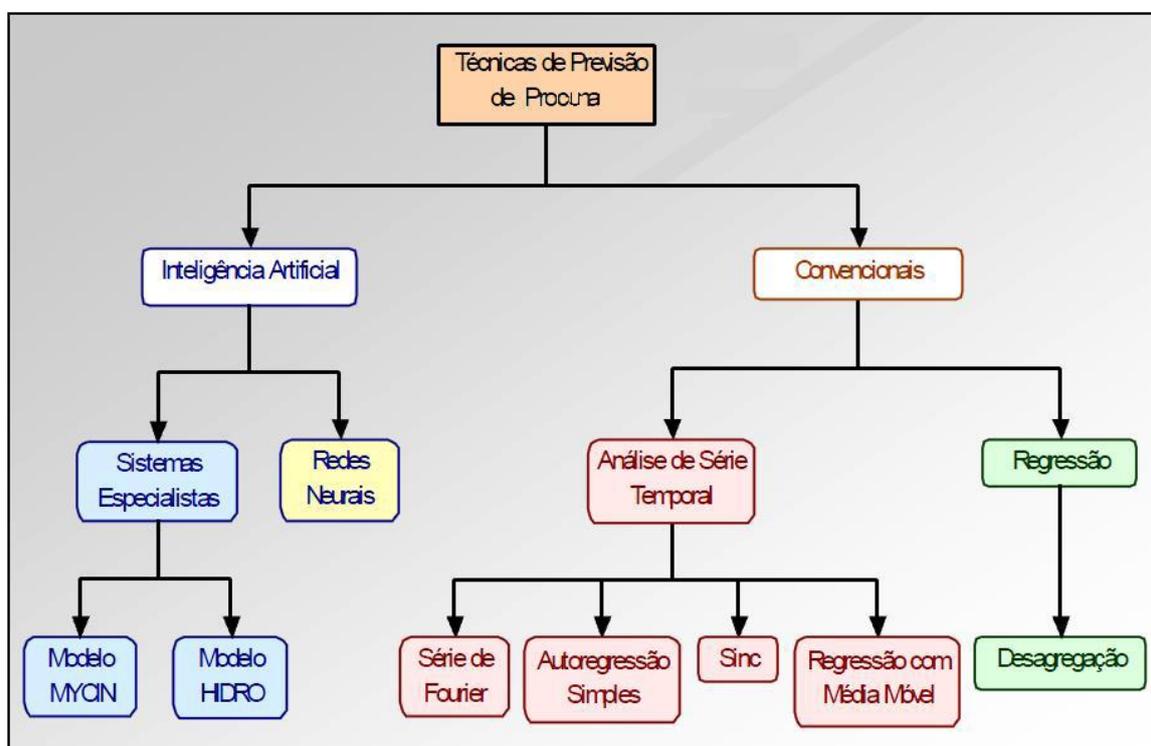


Figura 2 - Fluxograma dos tipos de técnicas utilizadas para previsão do consumo de água (Borges, 2003)

Os métodos de regressão são os mais usados para horizontes de planeamento de meses ou anos, mas, à medida que os horizontes de planeamento diminuem, os métodos de regressão começam a perder eficiência em relação a métodos autorregressivos e a métodos que utilizam técnicas de Inteligência Artificial.

Assim sendo, os modelos são classificados conforme o seu horizonte da previsão (curto, médio, longo ou curtíssimo prazo) os modelos de previsão tendem a ser classificados em:

- modelos de regressão para médio prazo e longo prazo (meses e anos),
- modelos auto-regressivos de séries temporais para curto prazo e médio prazo (dias, semanas, e meses)
- modelos baseados em Inteligência Artificial para previsões de curtíssimo prazo (horas e intervalos de horas) tem tido uma pesquisa crescente nos últimos anos e apresentado resultados melhores ou, ao menos, similares a modelos estatísticos tradicionais.

As series temporais são divididas em quatro componentes:

- Sazonal - comportamento que se repete a cada ano, associado a mudanças climáticas;
- Tendência – componente em que a serie de dados apresenta movimentos manifestados suavemente e consistentemente durante períodos longos;
- Cíclica - variação com certo grau de regularidade, mas diferente de um ano;
- Aleatória - é a componente que resta ao remover a sazonalidade, a tendência e a componente cíclica.

2.6 Caracterização dos Consumos

Uma gestão eficiente dos recursos hídricos passa por uma correta caracterização, modelação e previsão das utilizações de água, de modo a garantir um serviço que cumpra com exigências do consumidor. A caracterização do consumo tem como objetivo descrever a evolução das utilizações de água ao longo do tempo e, a definir os fatores de ponta utilizados como parâmetros base utilizados na conceção e dimensionamento de sistemas de abastecimento.

As técnicas tradicionais de análise de series temporais recorrem ao processo de decomposição de forma a identificar os fatores que influenciam numa série temporal, como a tendência, a sazonalidade e os valores extremos que podem surgir. A tendência consiste numa medida do crescimento ou declínio de uma serie de dados, já que na sazonalidade são flutuações regulares que se repetem em períodos quase sempre coincidentes com dias da semana e meses do ano.

Uma das técnicas mais utilizadas para descrever o padrão do consumo é o método ARIMA do Box e Jenkins, que apresenta uma metodologia de análise estatística de fácil compreensão para os processos.

Para a identificação de anomalias numa rede será fundamental analisar o cronograma dos consumos para a caracterização da evolução padrão, bem como determinar comportamentos anómalos. A localização de uma rutura é realizada pela visualização de registos de água relativos a períodos, que identifica valores que são diferentes do normal, sendo mais elevados que os usuais. De referir, nos sistemas de distribuição de água é habitual perder em fugas, cerca de 20 a 30% da água captada e tratada.(Ferreira da Silva, 1994)

2.7 Modelação e Projeção de consumos

Os consumos são influenciados por determinados fatores que são: o nível sócio económico dos consumidores, o tipo de utilização, os tipos de habitações a servir, o tipo de usos do solo, o preço da água e as condições climáticas, especialmente a temperatura, entre outros.

Segundo Boland (1985) poder-se-á classificar os métodos de previsão a longo prazo para a projeção de consumos como:

- **Métodos de extrapolação temporal**

Explicam as variações do consumo em função do tempo. Trata-se de um processo muito útil para previsões, mas pouco eficaz para horizontes de diversos anos.

- **Métodos de coeficientes únicos**

Como exemplo é o tradicional consumo per capita ou consumo per ligação.

- **Métodos de coeficientes múltiplos**

Definem o consumo em função das variáveis mais importantes.

- **Métodos probabilísticos**

Incluem a incerteza da projeção e indicam cenários possíveis para o futuro.

Os modelos, que designamos genericamente por métodos analíticos, tem vindo a sofrer diversos desenvolvimentos, tendo como objetivo melhorar a quantificação e caracterização da evolução da sucessão, através da correlação dos valores registados ao longo do tempo, sendo sujeitas a fatores que condicionam os consumos

2.8 Trabalhos Recentes

Os trabalhos desenvolvidos aplicados nesta área de estudo tem vindo a evoluir satisfatoriamente, sendo que, cada vez mais, correspondem a uma ferramenta de apoio na decisão fundamental, com resultados satisfatórios. Os métodos de previsão que têm vindo a ser utilizados com mais frequência são modelos com redes neurais, que englobam modelos multiobjectivos com uma tendência para abordagem não-linear de variáveis adjacentes aos modelos. Assim apresenta-se alguns dos trabalhos recentes, aplicados à previsão do consumo.

Silva (2003) aplica RNAs para previsão de consumo horário utilizando um algoritmo de treinamento do gradiente conjugado. O RNA escolhido é um RNA-MLP de três camadas, sendo que os dados são divididos de acordo com as quatro estações do ano. A previsão de consumo de curto prazo com RNAs mostra vantagens sobre métodos estatísticos tradicionais por necessitar um número menor de dados históricos.

Trautwein Jr. (2004) compara técnicas de redes neurais artificiais com os três modelos diferentes de ajustamento exponencial, o que verificou que os modelos de ajuste são semelhantes para previsão a curto prazo utilizando dados históricos da cidade de Curitiba. O método de ajuste exponencial é uma técnica promissora para solucionar estes tipos de problemas, pois não exige uma grande quantidade de dados históricos, os modelos são bastante precisos, a formulação e entendimento pelo usuário é relativamente fácil, e exige pouco tempo computacional.

Falkenberg (2005) compara diversas técnicas como redes neurais artificiais, regressão linear múltipla e modelos do tipo Box e Jenkins para previsão de consumo de água em três áreas com perfis de consumo distintos da cidade de Ponta Grossa, Paraná. Com a aplicação de diversas técnicas de previsão para regiões com características de consumo distintas constatou que nem sempre uma técnica ou um modelo único é uma boa solução para todos os casos. Conclui-o que, com a aplicação dos dados, é possível se obter uma previsão a curto prazo com resultados satisfatórios a ponto de serem aproveitados na otimização dos sistemas de abastecimento de água.

Rodríguez (2010), comparou modelos de ARIMA com modelos de Redes Neurais e, verificou que os resultados são muito diferentes, sendo que nos modelos de redes neurais destacaram-se pela facilidade em obter um modelo de previsão por não assumir pressupostos de linearidade. Nos modelos ARIMA, não foram capazes de reproduzir eventos irregulares de variabilidade sistemática, ou seja, eventos que estão diretamente relacionados com o calendário de festividades da cidade. Propôs a utilização de redes neurais para estudar o consumo de uma cidade do sul do sudeste dos Estados Unidos principalmente porque apresenta padrões de consumo bastante diferente do que ocorrem nas cidades espanholas e mediterrâneas, onde a componente climática influencia no consumo. Essas cidades foram urbanizadas e são densamente povoadas, onde utilizam os jardins, parques públicos, entre outros, sendo necessário a utilização de sistemas de irrigação concluindo que a componente meteorológica não tinha grande relevância.

Fernandes (2011), compara os modelos estocásticos ARIMA, através do software SPSS, com modelos desenvolvidos em MSEXcel para a região de Arouca, aplicado à previsão a curto prazo sendo que os resultados obtidos pelo Excel foram melhores que os modelos ARIMA.

Santos (2011) aplica RNAs do tipo *multicamadas* para previsão de consumo horário aplicado às condições climáticas. O modelo RNA foi aplicado a vários sistemas de abastecimento, verificando que para períodos a curto prazo é mais fácil obter resultados melhores num sistema menor do que maior e devia aplicar a períodos mais longos. Estes resultados podem ajudar na operação do sistema utilizado, conjuntamente com modelos de previsão meteorológica.

Zhai et al (2012) estima as necessidades futuras de água, em Pequim, para os próximos anos usando o método de previsão baseado em series temporais. Os dados de consumo de água foram de 1980-2009 concluindo que houve uma mudança de consumo, sendo que na agricultura e na indústria diminuíram, enquanto, no consumo doméstico aumentou. A água utilizada na agricultura e na indústria, tem vindo a diminuir devido à aplicação de medidas que reduzem o consumo, mas, no uso doméstico tem sofrido um aumento no consumo provocado pela melhoria de qualidade de vida da população.

Bakker et al (2013), apresenta um modelo de previsão que é utilizado no software de controlo avançado para sistemas de abastecimento de água chamados OPIR(*Optimal Production by Intelligent contRol*) que é utilizado em vários países. O modelo criado

consistia em prever o consumo nas próximas 48 horas, com intervalos de tempo de 15 minutos. Os dados históricos utilizados são unicamente os registos de consumo.

Com base nestas informações, o modelo consegue adaptar-se bem e identifica os padrões de consumo diário para os sete dias da semana. Apesar de, não ser usado dados meteorológicos, o modelo é capaz de identificar o consumo de água extra à noite, durante períodos de tempo bom. O modelo foi testado para seis áreas diferentes na parte central e sul da Holanda para um conjunto de dados de seis anos. As áreas têm todas as mesmas condições climáticas moderadas, e variam de grandes dimensões (950 mil habitantes) para pequenas (2400 habitantes). O erro médio absoluto percentual (MAPE) para as 24 h as previsões variaram entre 1,44 e 5,12%, e para os 15 min a previsões variaram entre 3,35 e 10,44%. O modelo é fácil de implementar, inteiramente adaptável e preciso, o que pode ser aplicado no controlo em tempo real.

Mamo et al (2013), aplica processos estocástico ARMA na previsão de consumo a curto prazo e demonstrou que o modelo apresenta bons resultados, fazendo uma previsão confiável para previsões diárias e horária, verificando padrões sazonais e tendências, o que verificou ser próximo do consumo real.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo pretende-se identificar as diferentes etapas necessárias para a criação de um modelo de previsão de consumo de água.

Para a obtenção de modelos de previsão de séries temporais deve-se ter em conta, pelo menos, os seguintes passos:

1. Seleção dos dados e suas transformações de dados;
2. Como operar os dados históricos quando apresentam leituras inválidas ou fora de ordem. Deve-se definir um procedimento de como estas ocorrências podem ser detetadas e reajustadas ou eliminadas do banco de dados;
3. Definição das variáveis a incluir no modelo;
4. Selecionar as técnicas mais apropriadas para determinação dos modelos de previsão;
5. Definição dos principais critérios na avaliação do modelo;
6. Manipulação de previsões ambíguas: deve-se testar o resultado das previsões de forma a garantir que a previsão se encontre dentro de uma faixa esperada factível.

3.1 Recolha e Filtragem dos Dados

A construção de um bom modelo de previsão do consumo de água passa por obter uma boa base de dados que seja “completa e fiável” de forma a permitir uma identificação das curvas do consumo.

Para a recolha dos dados de consumo a escolha recaiu na empresa de “Águas do Douro e Paiva” por disponibilizar os dados de consumo na página pública da internet ao público e os dados disponíveis correspondem ao consumo em tempo real de cada concelho do Porto. A escolha do local é influenciado pela variável temperatura que foi disponibilizada pela página da internet *free.meteo.com.pt*, fornecendo uma base de dados horária em tempo real. Os locais de estudo estão situados na freguesia de Freixieiro e Padrão da Légua, no concelho de Matosinhos e o período a estudar será entre 22 de Fevereiro de 2014 até 7 de Setembro de 2014. Os dados de temperatura são registados na estação Pedras Rubras do Porto.

Os locais seleccionados foram tidos em conta a sua aproximação geográfica para que possam estar relacionados entre si.

A figura 3 representa a localização das estações no mapa, sendo que a verde é onde fica a estação meteorológica e a vermelho os locais de estudo aonde Freixieiro fica mais perto da estação meteorológica do que Padrão da Légua.

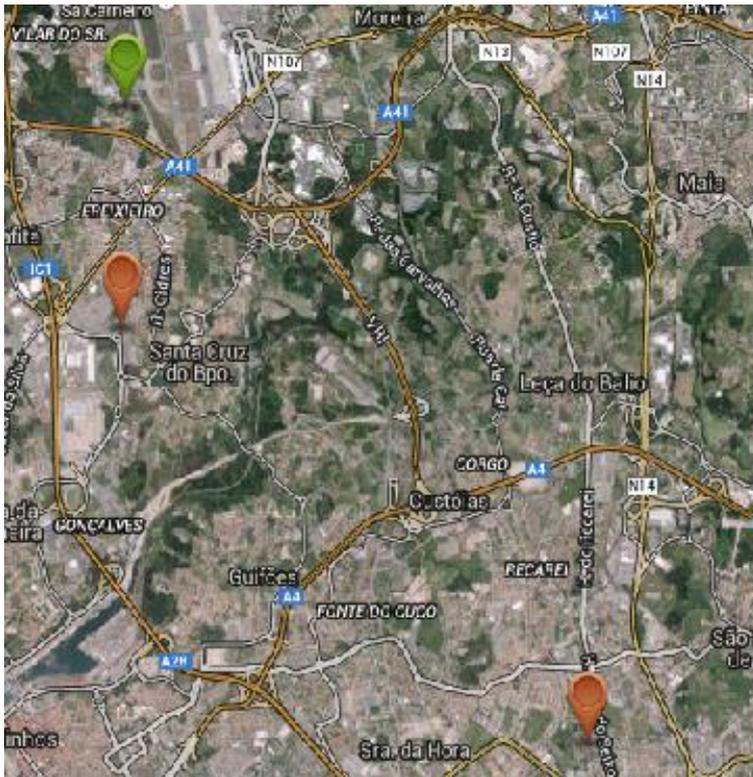


Figura 3 - Mapa da localização das zonas do caso de estudo (maps.google.com)

Os dados de consumo disponibilizados pela empresa “Águas do Douro e PAIVA” vem em formato CSV. Os ficheiros contêm informação da data e os registos de consumo de 30 a 30 minutos em m^3 ao longo do dia.

O trabalho visa fazer uma previsão do consumo para duas freguesias do concelho de Matosinhos, sendo que o Freixieiro caracteriza-se por ser uma zona industrializada aonde se situa um maior número de armazéns enquanto, no caso do Padrão da Légua é uma zona residencial.

3.2 Tratamento de Dados

Os dados recolhidos correspondem a todo o concelho de Matosinhos, sendo necessário uma filtração dos dados para as duas freguesias em estudo. Após a filtragem dos dados, foi necessária a utilização do Excel para a elaboração do gráfico de forma a detetar mais facilmente as leituras anómalas encontradas nos dados.

O procedimento utilizado para tratar os comportamentos anómalos do consumo é a eliminação ou a regularização do dia de estudo. As principais anomalias encontradas nos dados dizem respeito a problemas de fugas ou à manutenção dos sistemas de abastecimento.

As leituras anómalas correspondentes à manutenção do sistema estão associadas a ausências de dados numa hora e, numa outra hora, um brusco aumento do valor do consumo que corresponde à soma dos consumos, um exemplo claro deste tipo de problema é o dia 31 de Março, na freguesia Freixieiro, que é representado na figura 4. Como a serie do dia 31, apareceram várias outras encontradas durante o tratamento do dados e, foi necessário definir um tipo de tratamento adequado que passa-se pela regularização do dia de estudo, uma vez que se trata de um acumular de valores de caudais foi necessário proceder à divisão do valor acumulado pela hora ou horas que se verificava a ausência de dados. Agora para casos em que as leituras anómalas correspondentes a fugas no Freixieiro tivemos um caso de fuga desde o dia 22.06.2014 a 10.07.2014, que está representada na figura 5, apresentava consumos muito diferentes aos valores característicos, apresentando um brusco aumento do consumo que pode ser devido a caudais desperdiçados numa rutura, sendo que o procedimento adotado foi a eliminação dos dados.

Depois de detetada a fuga, verificamos que os consumos posteriores, apresentavam um comportamento muito diferente aos consumos anteriores do dia 22.06.2014, que pode ter sido causado por construções ou manutenções na rede dos sistemas de distribuição de água.

Para o caso do Padrão da légua apresentou anomalias associadas a acumulação de leituras como no Freixieiro, mas não houve alterações significativas no decorrer do trabalho sendo que o consumo foi constante ao longo do tempo. Na figura 6 está representado a curva do consumo para a freguesia do Padrão da Légua no domingo.

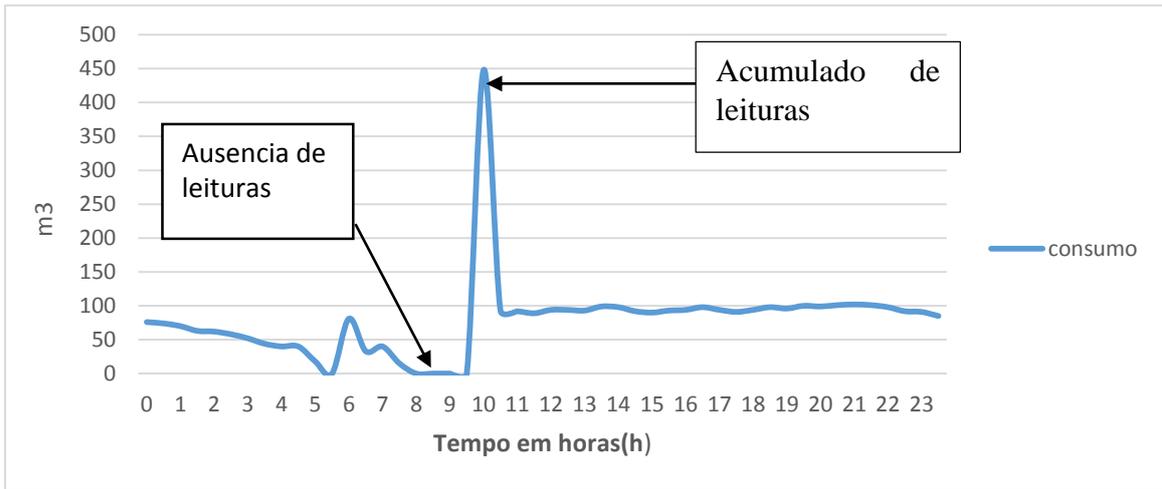


Figura 4 - Representação da leitura da ausência de leituras no dia 31 de Março

Tabela 2 - Ausência de leituras no dia 31 de Março

Dia da semana	data	hora	Consumo(m3/h)
		03:00:00	52
		03:30:00	44
		04:00:00	40
		04:30:00	40
		05:00:00	18
		05:30:00	0
		06:00:00	81
		06:30:00	33
		07:00:00	40
		07:30:00	15
		08:00:00	0
		08:30:00	0
		09:00:00	0
		09:30:00	0
		10:00:00	448
		10:30:00	93
		11:00:00	92
		11:30:00	89
		12:00:00	94

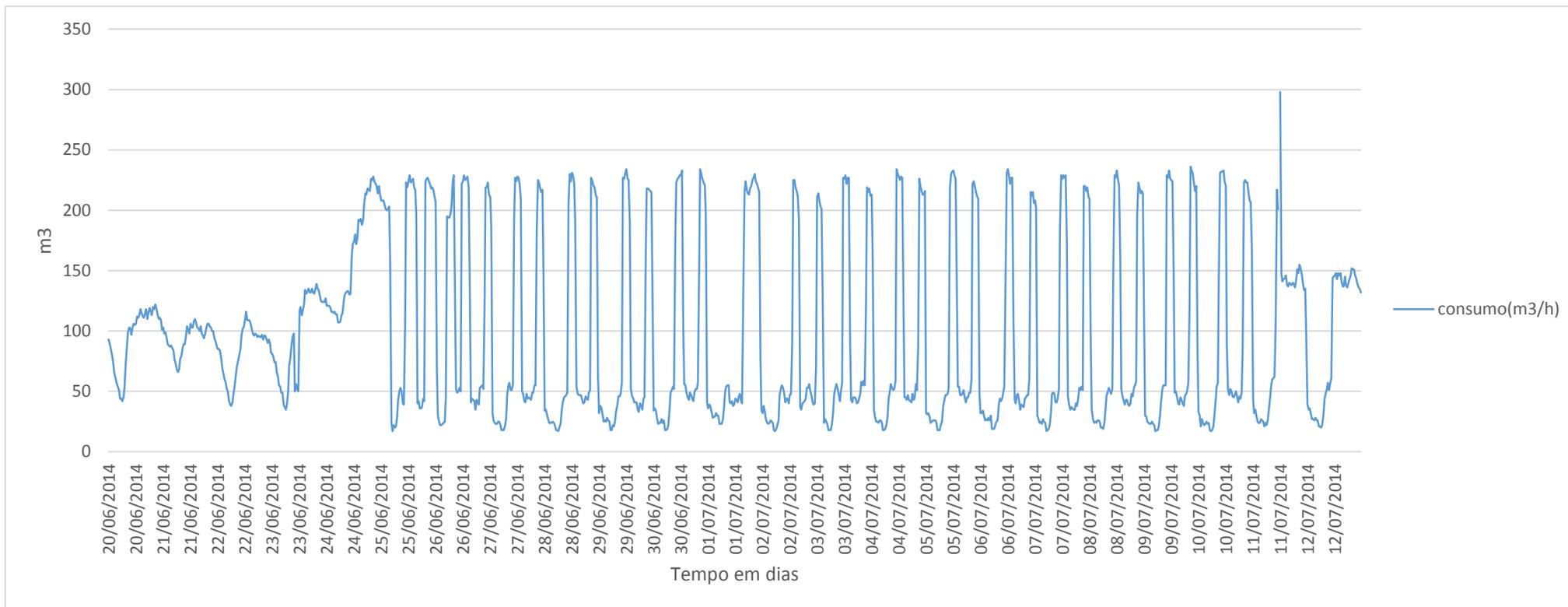


Figura 5 - Representação da anomalia detetada entre 22.06.2014 a 10.07.2014

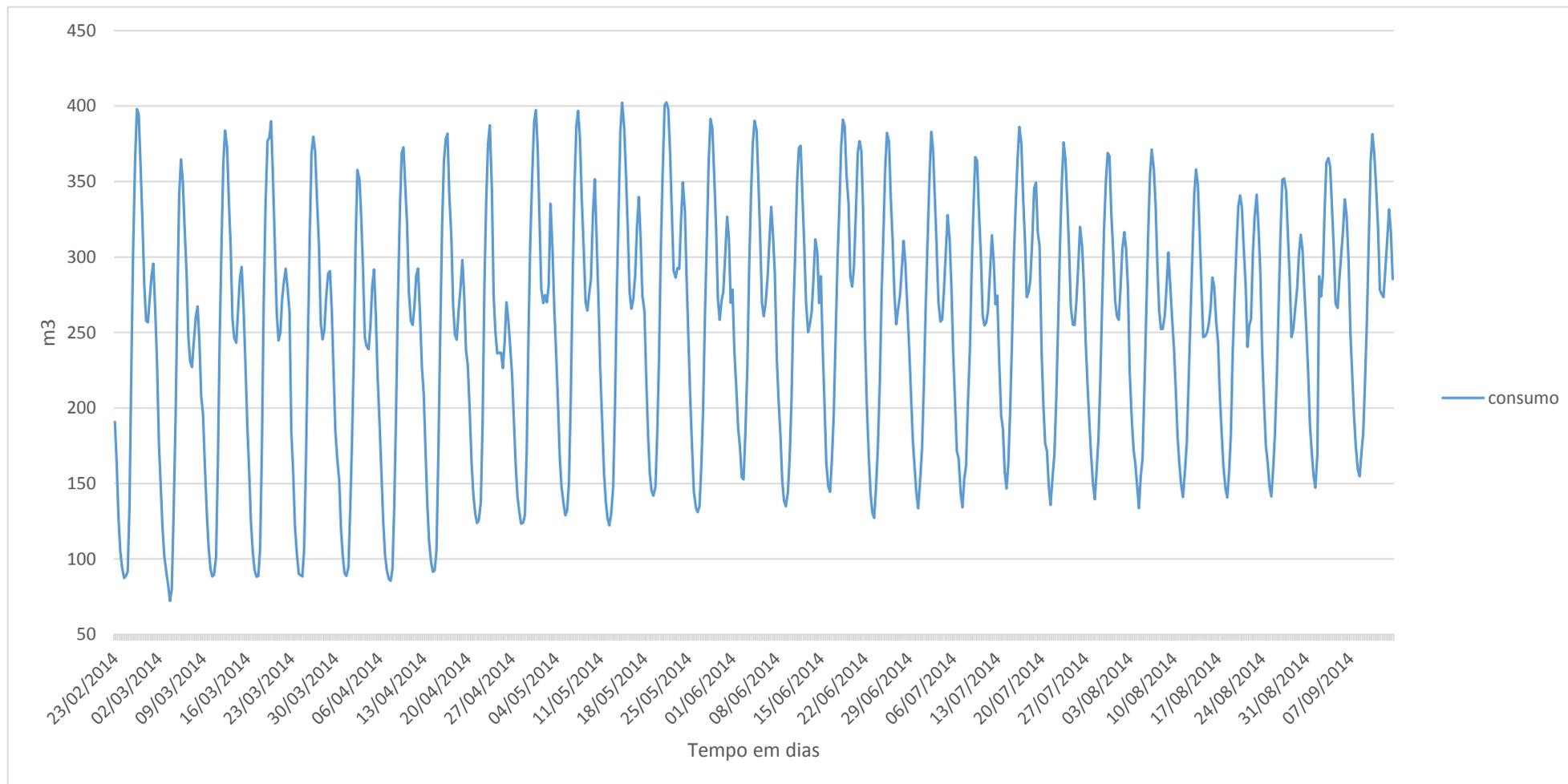


Figura 6 – Representação do consumo do Padrão da légua do Domingo

Depois de regularizar os dados recolhidos, foi preciso converter os dados de consumos de 30 a 30 minutos para consumos horários, então, foi necessário fazer o somatório dos consumos entre as duas meias horas, com por exemplo o consumo referente às 00:00 é o somatório dos consumos entre as 00:00 e as 00:30 que apresenta na tabela 2.

Tabela 2- Conversão de consumos de 30 a 30 min em valor horário

Tempo	Consumo 30 minutos	Consumo hora
00:00:00	77	151
00:30:00	74	

Como o consumo apresenta comportamentos diferentes ao longo da semana, foi realizado uma diferenciação dos consumos correspondentes aos dias da semana. Assim, efetua-se uma nova filtragem para dividir os perfis de consumo em dias de trabalho, sábado, domingo, fins-de-semana.

3.3 Variáveis utilizadas

As variáveis a utilizar para a criação dos modelos de previsão devem ser a data, a hora dos registos de consumo e temperatura. Embora, tenhamos constatado anteriormente a existência de diversas variáveis que influenciavam no consumo, estas não se podem utilizar na criação dos modelos pela dificuldade de acesso que apresentam.

3.4 Aplicação dos Modelos de Previsão

Depois de realizado o tratamento, surge a modelação. O objetivo desta etapa consiste em apurar a técnica de modelação mais adequada à previsão de consumo.

A modelação irá ser feita por dois tipos de ferramentas informáticas: *software* de estatística SPSS, que consiste em utilizar modelos ARIMA para elaborar modelos de previsão de consumo, o outro modelo utiliza a ferramenta MSEXcel para otimizar os parâmetros definidos através de uma folha de cálculo.

O procedimento de modelização com recurso ao SPSS gera modelos baseados no padrão de consumo e só pode ser utilizado para series longas. Os modelos em MSEXcel, apresentam modelos mais simples e pode utilizar series mais curtas.

A previsão de consumo será feita para os diferentes perfis dos dias da semana e comparar posteriormente com os valores reais registados para os dias da semana. O segundo objetivo tratou de relacionar a temperatura com o consumo horário registado.

Os modelos desenvolvidos em Excel têm como objetivo utilizar uma ferramenta de baixo custo que está acessível à maioria dos utilizadores e comparar com outras técnicas de previsão mais sofisticadas.

3.5 Modelos ARIMA

A previsão de uma serie temporal consiste em determinar a sua evolução em períodos não observados através de uma serie de observações medidas em intervalos de tempo regulares de uma ou varias variáveis. As variáveis utilizadas na previsão do consumo de água são, a variável de consumo horário diário e a de temperatura horaria. Com a definição das variáveis a utilizar no modelo será necessário obter um melhor modelo ARIMA que ajuste à curva dos consumos reais.

Os modelos ARIMA são muito flexíveis e podem ser usados numa vasta gama alargada de series temporais. Os parâmetros dos modelos ARIMA (p,d,q) engloba três tipos de processo diferentes: auto-regressivos (AR), diferenciados (d) e médias moveis (MA).

O recurso a um modelo estocástico do tipo ARIMA para a previsão do consumo será necessário utilizar a metodologia de Box e Jenkins que utiliza um processo iterativo para a síntese de padrões a partir de dados históricos. O método é composto por três etapas como a identificação do modelo ARIMA, estimação dos parâmetros do modelo e a avaliação do modelo com a sua posterior validação. Na figura 7 apresenta a metodologia de Box e Jenkins.

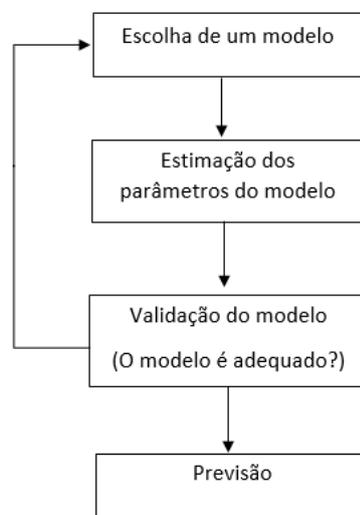


Figura 7 – Metodologia de Box e Jenkins (Adaptado do Cortez)

A primeira etapa tem como objetivo a identificação do modelo que mais adequa à serie observada, através da determinação dos valores dos parâmetros do ARIMA(p,d,q).

Numa observação preliminar será necessário, ou não, tornar a serie estacionaria. A conversão da serie consiste aplicar transformações sucessivas para se estabilizar a variância, neutralizar a tendência e eliminar os movimentos estritamente periódicos.

Para a serie estacionária agora precisamos de determinar as ordens p e q para o processo auto-regressivo e média móvel. A metodologia utilizada na obtenção dos parâmetros (p, q) é feita pela análise das funções de auto-correlação e auto-correlação parcial, sendo efetuada do seguinte modo:

- os modelos $AR(p)$ tem valores da ACF que vão diminuindo exponencialmente para zero, que pode alternar em sinais negativos e positivos, e são observados picos nos primeiros p valores da PACF;
- os modelos $MA(q)$ apresentam picos nos primeiros q valores da função ACF, e os valores vão diminuindo exponencialmente para zero da PACF;
- os modelos $ARMA(p,q)$ apresenta uma diminuição exponencial para zero nas duas funções ACF e PACF, o que torna identificação da serie mais complicada;
- a diferenciação é realizada quando o ACF diminui lentamente;

Após a identificação do modelo ARIMA e das ordens p e q , pode por exemplo aplicar o SPSS para estimar os parâmetros do modelo ARIMA (p,d,q).

Na última etapa, avaliação do modelo, verifica-se a adequação do modelo identificado e estimado através de duas subetapas: a qualidade estatístico do modelo e a qualidade do ajuste do modelo. Se o modelo for válido pode ser utilizado para a previsão do consumo.

Um das desvantagens da utilização dos modelos ARIMA, está na identificação do melhor modelo, que necessita de recorrer a um especialista com muita experiência.

Como a metodologia de Box e Jenkins trata-se de uma técnica de previsão sofisticada, foi necessário recorrer a um software estatístico, neste caso o SPSS, que permite a obtenção de modelos adequados à serie temporal observada de forma quase imediata. Após a introdução dos dados no programa SPSS e iniciar um procedimento exposto abaixo foi possível obter o melhor modelo ARIMA possível para a serie introduzida.

O procedimento utilizado para a construção de um modelo utilizando o *software* SPSS deve seguir os principais passos:

1º Passo: Exportação dos dados tratados do Excel e posteriormente colar no SPSS.

2º Passo: definir a data da serie temporal, para isso deve ir ao menu “dados” escolher a funcionalidade “*definir datas*” e selecionar o período para “*dias, horas*”.

3º Passo: para a realização do modelo deve ir ao menu “*Analisar*” e selecionar a funcionalidade “*Previsão*” e escolher “*criar modelos*”. Nesta fase pode escolher o tipo de modelo (ARIMA) a utilizar e definir todos os parâmetros envolvidos.

4º Passo: obtenção do modelo de previsão da serie temporal

5º Passo: exportação os valores do modelo obtido para Excel e realização dos gráficos para analisar os dados obtidos do modelo.

3.6 Modelação e Previsão com Recurso a uma Ferramenta de Otimização

A modelação da previsão do consumo com recurso a uma ferramenta de otimização consiste na criação de modelos através de uma folha de cálculo programada para estimar os parâmetros. Os modelos obtidos por esta ferramenta são bem mais simples quando comparado com outro tipo de ferramentas específicas para este fim. A análise da serie de dados utilizada deve ser menor quanto comparada a métodos ARIMA do SPSS.

O modelo desenvolvido teve em conta as variáveis de consumo e temperatura, sendo que no modelo foi adaptado uma temperatura patamar, devido ao registo de temperaturas elevadas, ao longo do dia, provocar um aumento exponencial no consumo de água, portanto, quando a temperatura for superior à temperatura patamar deve ser majorada de forma a contribuir significativamente no consumo, caso contrário, a temperatura não se altera. A metodologia utilizada na folha de cálculo para a obtenção da temperatura e dos parâmetros passa por considerar uma temperatura base e nos parâmetros valores unitários, que vão se alterando após várias iterações com o objetivo de minimizar a função objetivo.

A função objetiva definida como critério de otimização é:

$$F(x) = \text{Min} \left(\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n} \right) \quad (1)$$

Onde “n” corresponde ao número de previsões

Para a construção de um modelo em Excel será necessário apresentar as principais variáveis envolvidas no procedimento de modelização:

- Parâmetros a considerar
- Consumo real – CR
- Consumo do modelo – CM
- Temperatura – T
- Incremento de temperatura – TC
- Erro de previsão - ε
- Diferença de consumo previsto com o consumo real - Dif
- Temperatura patamar – δ – será ajustada pelo solver, depois de definida uma temperatura base

Fernandes (2011) definiu que para determinar a temperatura patamar, deve-se definir uma temperatura base de forma a aplicar um incremento à temperatura, sendo verificado um comportamento diferente nos consumos com o aumento de temperatura, que tem como objetivo de aproximar com os consumos reais. O incremento será aplicado ao valor da temperatura registada para o dia e hora em análise da serie de dados. A tabela 2 é um exemplo da aplicação da variável temperatura.

Incremento de temperatura (TC):

- *Se $T < \delta$ então $TC = T$ (o valor de temperatura mantém – se igual)* (2)
- *Se $T \geq \delta$ então $TC = T + (T - \delta)^\varphi$*

Tabela 3 – Exemplo da aplicação do incremento de temperatura para 17°C

Hora	Temperatura (°C)	Incremento de temperatura (°C)
17/ago	17	17,0000
2	16	16,0000
3	19	21,0000
4	15	15,0000
5	19	21,0000
6	20	23,0000
7	21	25,0000
8	22	27,0000
9	23	29,0000
10	25	33,0000

O procedimento de modelização em Excel passou por elaborar um algoritmo para determinar modelos de consumos que permitam realizar previsões fidedignas. O algoritmo que será utilizado na modelação do consumo será baseado no Fernandes (2011) com algumas alterações por ter apresentado melhorias significativas na previsão do consumo.

Assim sendo, o algoritmo que traduz o “consumo do modelo” será representado pela seguinte equação:

$$CM_i = a \times CR_{i-24}^\beta + (b \times CR_{i-1}^r + c \times Dif3_{i-1}^\alpha) * \left[\frac{CR_{i-1}}{CR_{i-25}} \right] + d \times TC_{i-1}^\theta \quad (3)$$

Onde “i” representa da hora que estamos a analisar

Para a avaliar o desempenho global do modelo será necessário de verificar as diferenças entre o “consumo real” e o “consumo do modelo”, que estão relacionados com a adequação do modelo à situação registada, de forma a avaliar a diferença entre o consumo registado do previsto, sendo:

$$\text{Erro de previsão } (\varepsilon): \varepsilon_i = CR_i - CM_i \quad (4)$$

$$\text{Média do Quadrado dos Erros: } Dif1_i = \varepsilon_i^2 = (CR_i - CM_i)^2 \quad (5)$$

$$\text{Raiz da Média do Quadrado dos Erros: } Dif2_i = \sqrt{\varepsilon_i^2} = \sqrt{Dif1_i} = |CR_i - CM_i| \quad (6)$$

$$\text{Erro de previsão medio: } Dif3_i = \frac{\varepsilon_i + \varepsilon_{i-1}}{2} = \frac{Dif2_i + Dif2_{i-1}}{2} \quad (7)$$

Onde “i” representa a hora que estamos a analisar

Tabela 4 - exemplo do modelo criado e as diferenças entre consumos do modelo e consumos reais

horas	Consumo do modelo(CM)	Dif1	Dif2	Dif3
24/ago				
1	67,86105295	124,0761	11,13895	5,569474
2	62,05382833	9,325867	3,053828	7,096388
3	57,04819842	0,002323	0,048198	1,551013
4	51,67160071	5,421443	2,328399	1,188299
5	47,51065846	2,282089	1,510658	1,919529

Para a obtenção do melhor modelo em Excel será necessário identificar os principais parâmetros (a ; b ; c ; d ; β ; τ ; α ; θ ; δ) que influenciam o algoritmo de modelização e o incremento de temperatura, para isso deve-se calibrar os parâmetros.

A calibração dos parâmetros a ; b ; c ; d ; β ; τ ; α ; θ ; δ passa por obter o menor valor para a função objetiva, ou seja, aplica-se o solver para encontrar os melhores valores dos parâmetros através do método da GRG não linear. O procedimento de modelização começa por definir valores para os parâmetros, que depois deve correr o solver varias vezes até obter a melhor solução para os parâmetros.

GRG não linear é o método utilizado no solver com nome Método Gradiente Reduzido Generalizado tendo como base um algoritmo que resolve problemas de programação não-lineares com restrições procurando a solução da função objetivo.

3.7 Critérios de avaliação do modelo

Após a seleção das técnicas, será necessário definir os principais critérios a utilizar para avaliar o seu desempenho.

Para a avaliação do desempenho dos modelos obtidos dos SPSS, recorre-se aos valores de “Raio ao Quadrado”, “BIC normalizado”, média do módulo da diferença entre o consumo real e consumo do modelo, bem como a correlação entre estas duas variáveis. Quando temos a variável temperatura será também apresentado a correlação entre esta e a sua correção quando existir.

A avaliação dos modelos desenvolvidos em Excel passa por avaliar o valor de correlação do consumo real com o consumo do modelo, bem como pela média do módulo da diferença entre o consumo real e o consumo do modelo. Quando temos a variável temperatura será também apresentado a correlação entre esta e a sua correção quando existir.

O coeficiente de correlação (R^2) é uma medida estatística que indica a qualidade do ajustamento dos valores estimados do modelo ao valor atual da serie temporal, sendo que um r-quadrado de 1 (100%) corresponde a um ajuste perfeito.

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{x}_t - \bar{x}_t)^2}{\sum(x_t - \bar{x}_t)^2} \quad (8)$$

Sendo,

x_t o valor atual da serie temporal

\hat{x}_t o valor estimado da serie temporal

\bar{x}_t o valor medio da serie temporal

BIC normalizado trata-se de um critério de seleção dos modelos entre um conjunto finito de modelos.

4 APLICAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresentam-se os resultados de forma organizada e resumem-se os resultados obtidos pelas duas diferentes ferramentas de informática, através da análise de gráficos e tabelas.

4.1 Aplicação e Análise dos Resultados Obtidos em SPSS

Numa fase inicial, começou-se por desenvolver modelos para Freixieiro em diferentes períodos de previsão baseada na variável de consumo, ou seja, foi construído um modelo de previsão horário e outro modelo de previsão diária. Como tal, os primeiros modelos desenvolvidos serão feitos para o perfil de consumo relativo aos dias de trabalho para as diferentes previsões usando as variáveis de consumo e temperatura.

Modelo 1 – Perfil do consumo dos dias de trabalho com previsão hora a hora

Modelo 1A – Perfil do consumo dos dias de trabalho com previsão 24 hora

Na figura 8 está representado no gráfico toda a serie de dados analisados no SPSS, enquanto na figura 9 é referente ao gráfico da previsão dos consumos para o modelo 1, já na figura 10 diz respeito ao gráfico da previsão do modelo 1-A. Na figura 11 está representada a comparação entre ambos os modelos.

As tabelas 5 e 6 apresentam os resultados dos parâmetros de análise dos modelos.

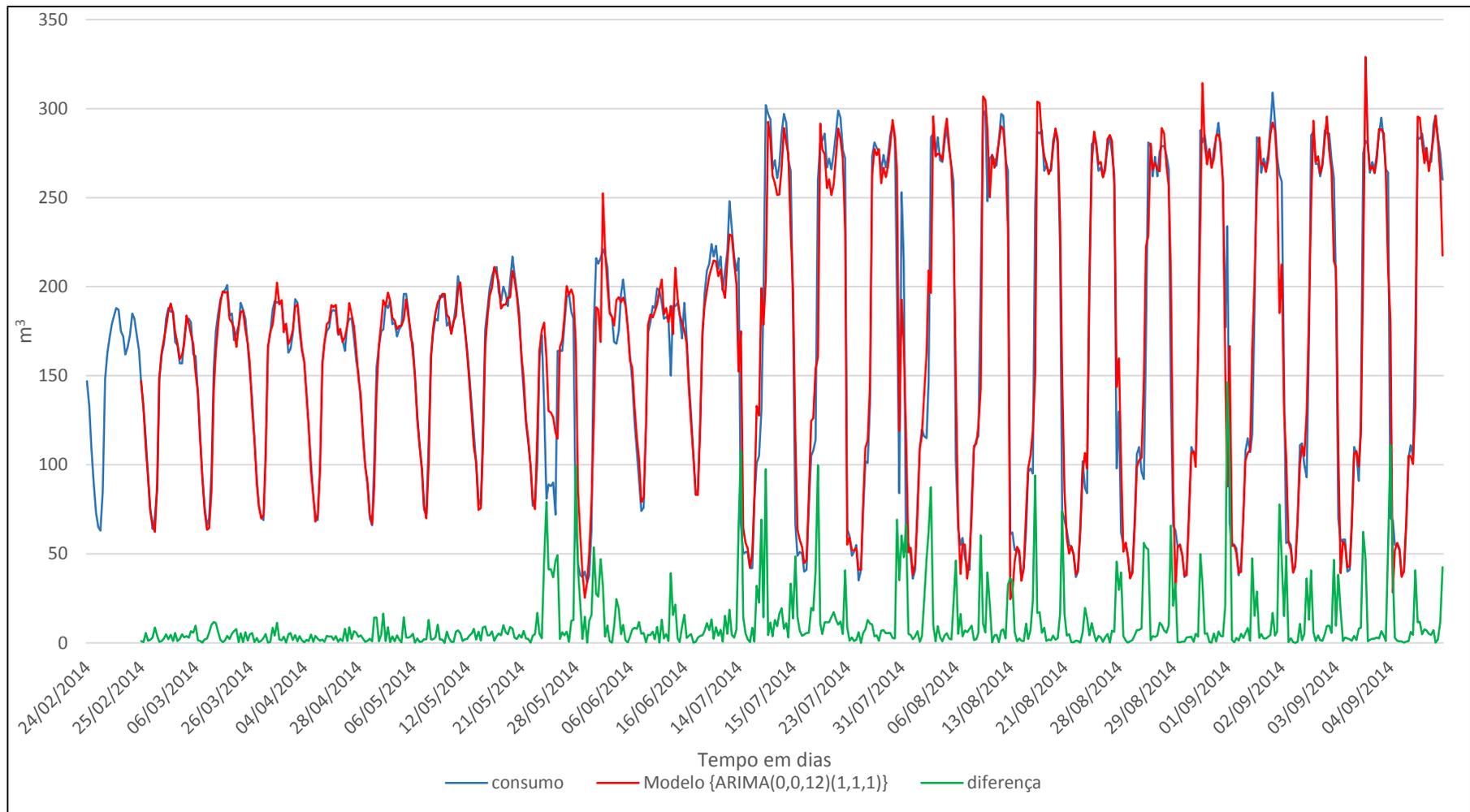


Figura 8 - Modelo 1 e 1A de previsão em SPSS, para o perfil “Dias de Trabalho”

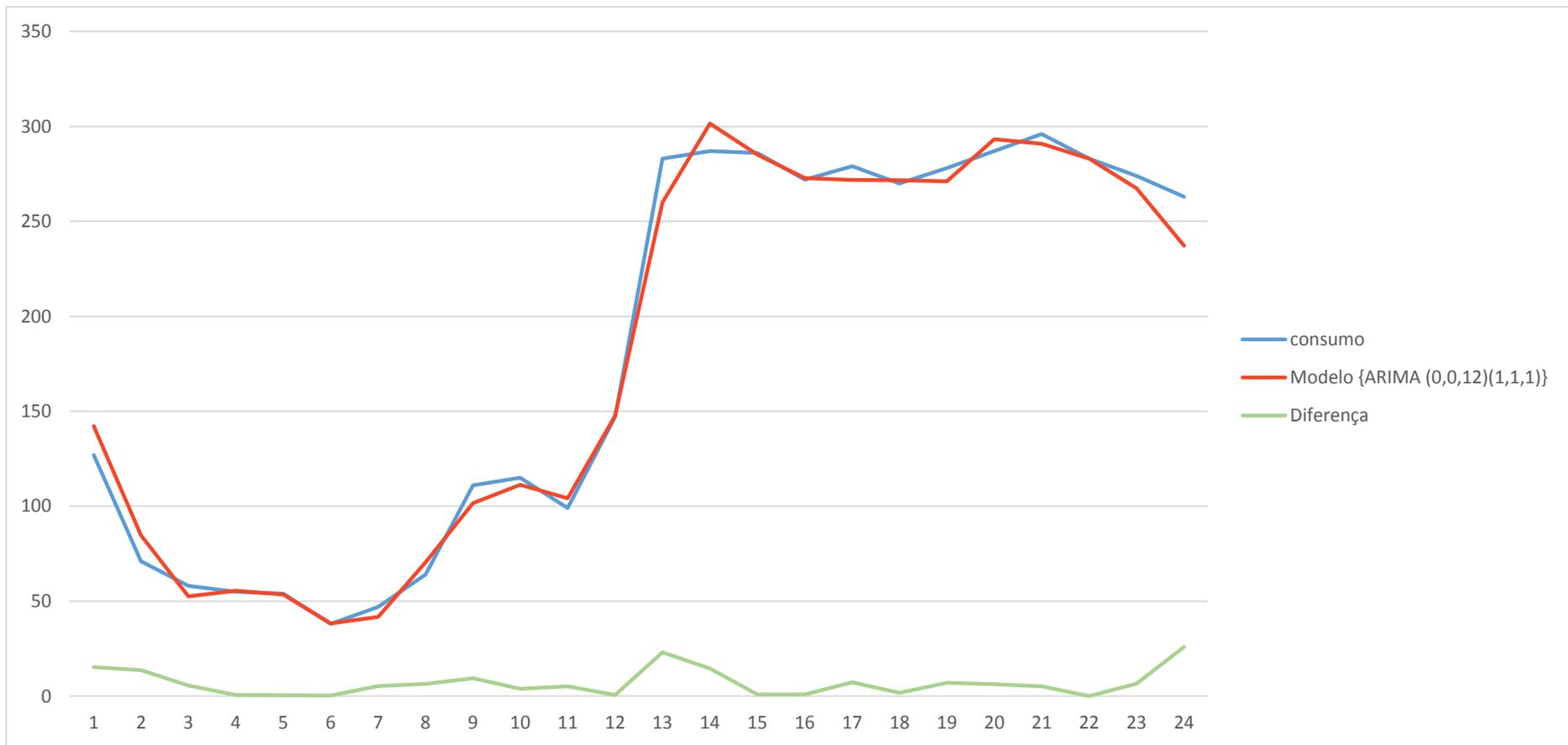


Figura 9 - Modelo 1 de previsão, para o perfil “Dias de Trabalho”, dia de previsão

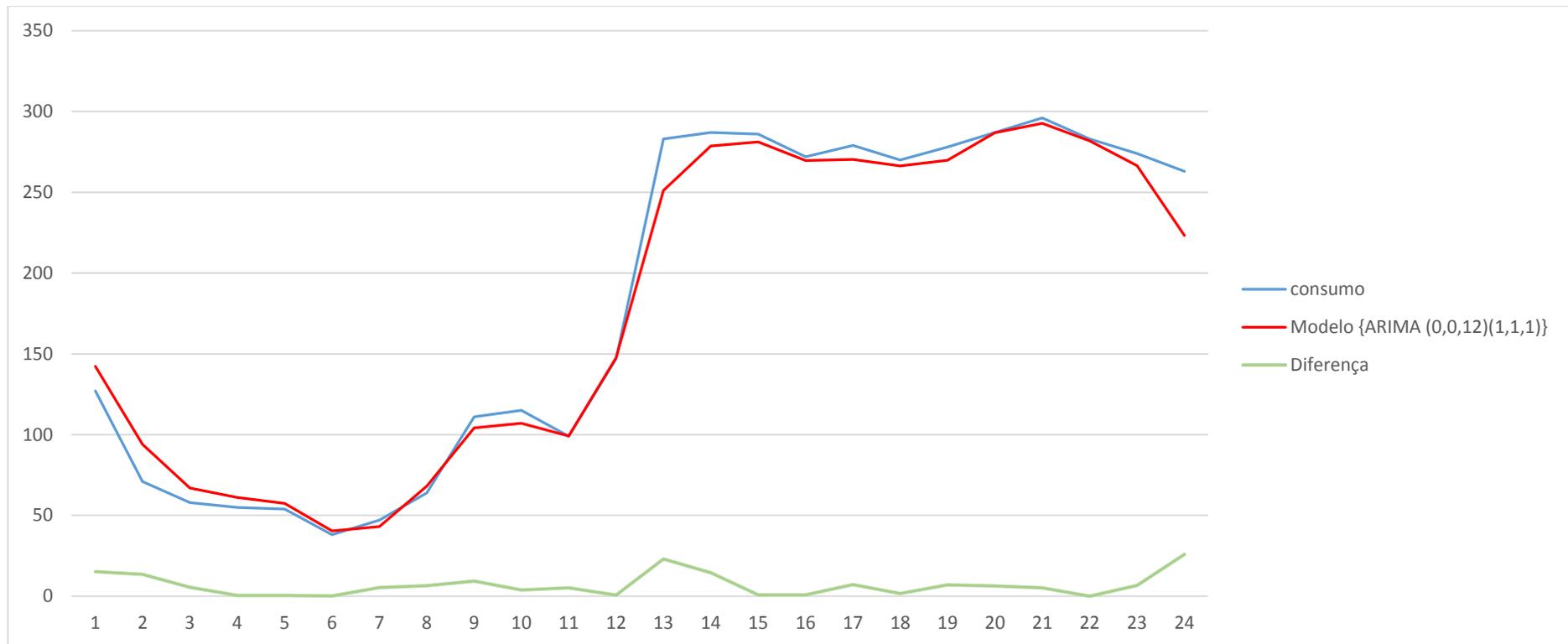


Figura 10 - Modelo 1-A de previsão em SPSS, para o perfil “Dias de Trabalho”, previsão hora a hora

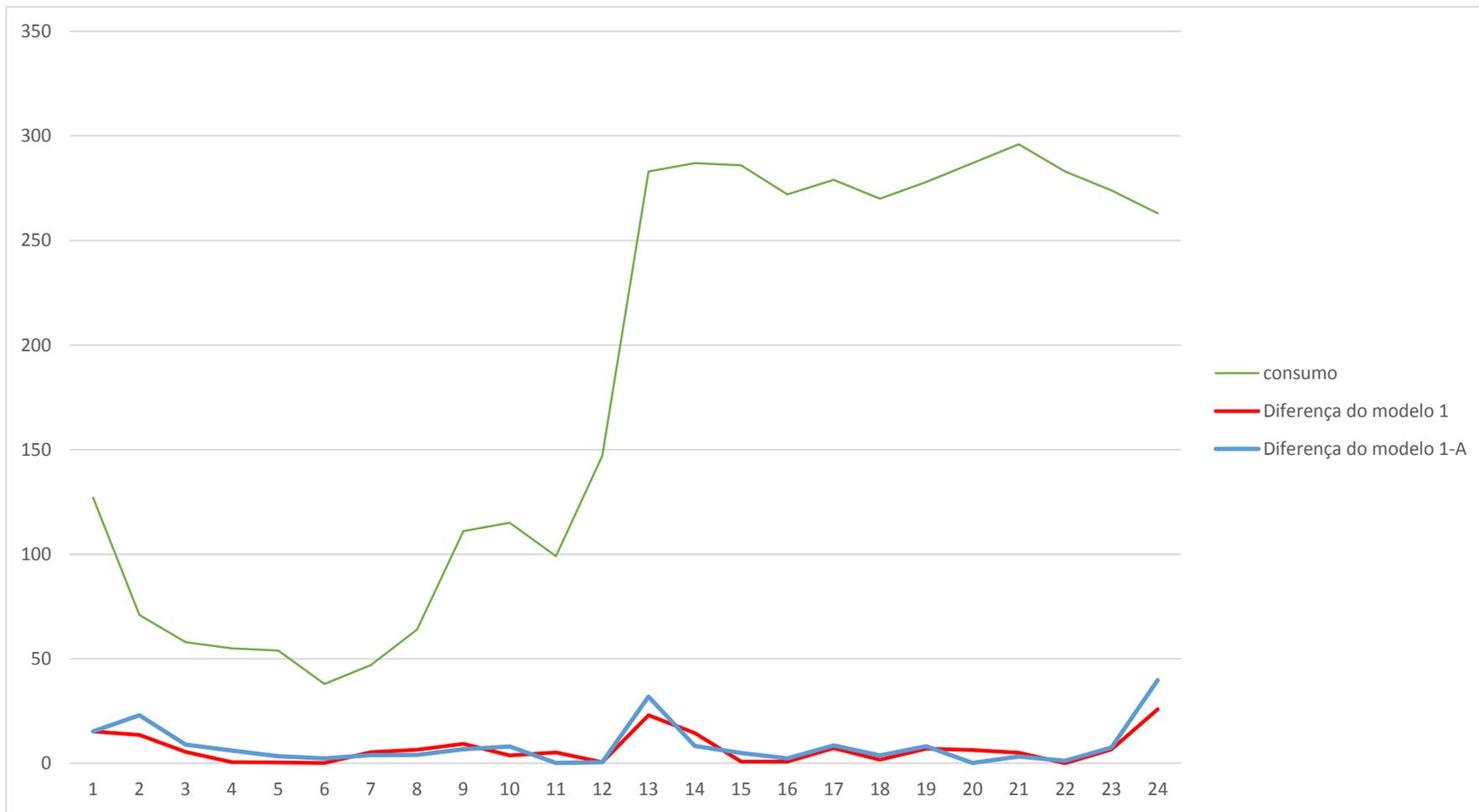


Figura 11 - Comparação das diferenças do CR e CM, dos modelos 1 e 1-A, para o dia de previsão, hora

Tabela 5 - Modelo 1 de previsão de hora a hora para o perfil Dias de trabalho

Modelo 1	
Modelo (ARIMA)	(0,0,12)(1,1,1)
R ao quadrado	0,927
BIC normalizado	5,908
Media absolutos da Diferença entre CR e CM	6,8879
Correlação entre CR e CM	0,9957

Tabela 6 - Modelo 1-A de previsão 24 horas para o perfil Dias de trabalho

Modelo 1-A	
Modelo (ARIMA)	(1,0,12)(1,1,1)
R ao quadrado	0,927
BIC normalizado	5,805
Media absolutos da Diferença entre CR e CM	8,4375
Correlação entre CR e CM	0,9939

Na análise dos resultados obtidos da tabela 5 e 6 para as diferentes previsões verifica-se que o modelo de previsão horário teve melhores resultados do que na previsão 24 horas, mas a diferença entre os dois modelos foi pouco significativa, sendo portanto possível utilizar a previsão das 24 horas para prever o consumo.

De referir, que o consumo de água apresentou uma alteração drástica dos consumos de um período para o outro, mas, mesmo assim, apresentam uma boa qualidade nos modelos.

Os modelos elaborados nos perfis de consumo para os fim-de-semanas foram analisados em separado dos dias de semana por apresentar alterações no consumo devido a corresponder a dias de descanso e lazer. Assim, foi também necessário analisar os dias de fim-de-semana em separado para avaliar se existe alguma alteração em concreto entre os Sábados ou Domingos, sendo que nos dias de Sábados pode ainda existir alguma atividade laboral, que pode ser de menor frequência encontrada nos Domingos.

Modelo 2 – Perfil do consumo Fim-de-semana

Os resultados para o modelo 2 são apresentados nas figuras 17 e 18 em anexo e na tabela 7 são apresentados os resultados dos parâmetros do modelo.

Tabela 7 - Modelo 2 de previsão para o perfil Fim-de-semana

Modelo 2	
Modelo (ARIMA)	(1,0,12)(1,1,1)
R ao quadrado	0,933
BIC normalizado	5,825
Media absolutos da Diferença entre CR e CM	11,16583
Correlação entre CR e CM	0,97973

Modelo 3 – Perfil do consumo do Domingos

Os resultados para o modelo 3 são apresentados nas figuras 21 e 22 em anexo e na tabela 8 são apresentados os resultados dos parâmetros do modelo.

Tabela 8 - Modelo 3 de previsão para o perfil Domingo

Modelo 3	
Modelo (ARIMA)	(1,0,11)(1,1,1)
R ao quadrado	0,905
BIC normalizado	6,126
Media absolutos da Diferença entre CR e CM	12,02583
Correlação entre CR e CM	0,9797

Modelo 4 – Perfil do consumo do Sábado

Os resultados para o modelo 4 são apresentados nas figuras 19 e 20 em anexo e na tabela 9 são apresentados os resultados dos parâmetros do modelo.

Tabela 9 - Modelo 4 de previsão para o perfil de Sábado

Modelo 4	
Modelo (ARIMA)	(1,0,12)(1,1,1)
R ao quadrado	0,931
BIC normalizado	5,906
Media absolutos da Diferença entre CR e CM	17,62208
Correlação entre CR e CM	0,9528

Nos modelos em SPSS, foram utilizados as variáveis “consumo real” e “temperatura”, sendo que, o estudo efetuado com a variável temperatura para os diferentes perfis apresentou para este caso valores iguais aos apresentados só com a variável de consumo, ou seja, a variável temperatura não melhora os resultados do modelo.

Nos modelos obtidos foram observados os valores de “BIC normalizado”, “Média da diferença entre CR e CM” e “R ao quadrado” verificaram que os valores não se afastavam muito em todos os modelos, sendo portanto necessário avaliar o desempenho dos modelos de previsão através da correlação entre o consumo real e o consumo do modelo.

O estudo realizado para os diferentes modelos relacionados com os fins-de-semana verificaram que os valores dos parâmetros são muito próximos, porém, no modelo 2, referente ao Fim-de-semana, verificamos uma pequena melhoria em todos os aspetos, o que significa que seria melhor usar a serie do fim-de-semana toda em vez de separado.

4.2 Aplicação e análise dos resultados obtidos em Solver do MSExcel

Os modelos desenvolvidos em Excel são de uma grande importância por utilizar uma ferramenta acessível à maioria dos utilizadores e, o seu método de obtenção do modelo é mais simples do que o método de ARIMA do SPSS, uma vez que não necessita de muitos dados para prever.

A validação do modelo, obtido em Excel, passa por efetuar uma análise comparativa do desempenho dos diferentes modelos de previsão do consumo de água. Os modelos construídos foram avaliados pela “média das diferenças absolutas entre consumo real e consumo do modelo” bem como a sua “correlação”, em comparação com as obtidas em SPSS.

A representação dos modelos obtidos passa por definir os seguintes gráficos:

- Consumo real com temperatura real;
- Consumo real com consumo do modelo e diferença absoluta entre ambos;
- Consumo real com consumo do modelo e a diferença absoluta entre ambos referentes aos valores obtidos em SPSS;
- Consumo do modelo com consumo do modelo em SPSS;

Para avaliar o desempenho dos modelos será necessário apresentar uma tabela de resumo com os principais parâmetros de validação dos modelos.

Modelo 5 – o modelo criado com recurso ao solver do MSExcel, para os dias de trabalho do local Freixieiro, utilizando a série de dados de 27 de Agosto de 2014 até 5 de Setembro do mesmo ano, exceto os dias 30 e 31 de Agosto. Para a definição dos parâmetros de calibração do modelo, foram inicialmente atribuídos valores unitários, com exceção para a temperatura patamar, tendo esta assumido o valor de 24.

Na tabela 10, são apresentados os valores dos parâmetros de calibração obtidos pelo “solver” após algumas iterações, sendo estes os de melhor ajuste para o modelo elaborado.

Tabela 10 - Valores dos parâmetros otimizados para o modelo 5

a	1,3455	0,923537	β
b	0,0230	1,279432	τ
c	0,0164	0,024148	α
d	0,0205	0,122688	θ
φ	1,0139	24	δ

As figuras 12 a 16 corresponde ao modelo 5 são:

- 12, gráfico relaciona CR com T
- 13, gráfico relaciona CR e CM
- 14, gráfico relaciona CR; CM (SPSS) e dif2 (SPSS)
- 15, gráfico relaciona CM; CM (SPSS)
- 16, gráfico relaciona CM; CM (SPSS) e CR

Na tabela 11, são apresentados os principais parâmetros de análise e validação do modelo, sendo comparados os valores do modelo obtido em Excel e o modelo ARIMA obtido do SPSS.

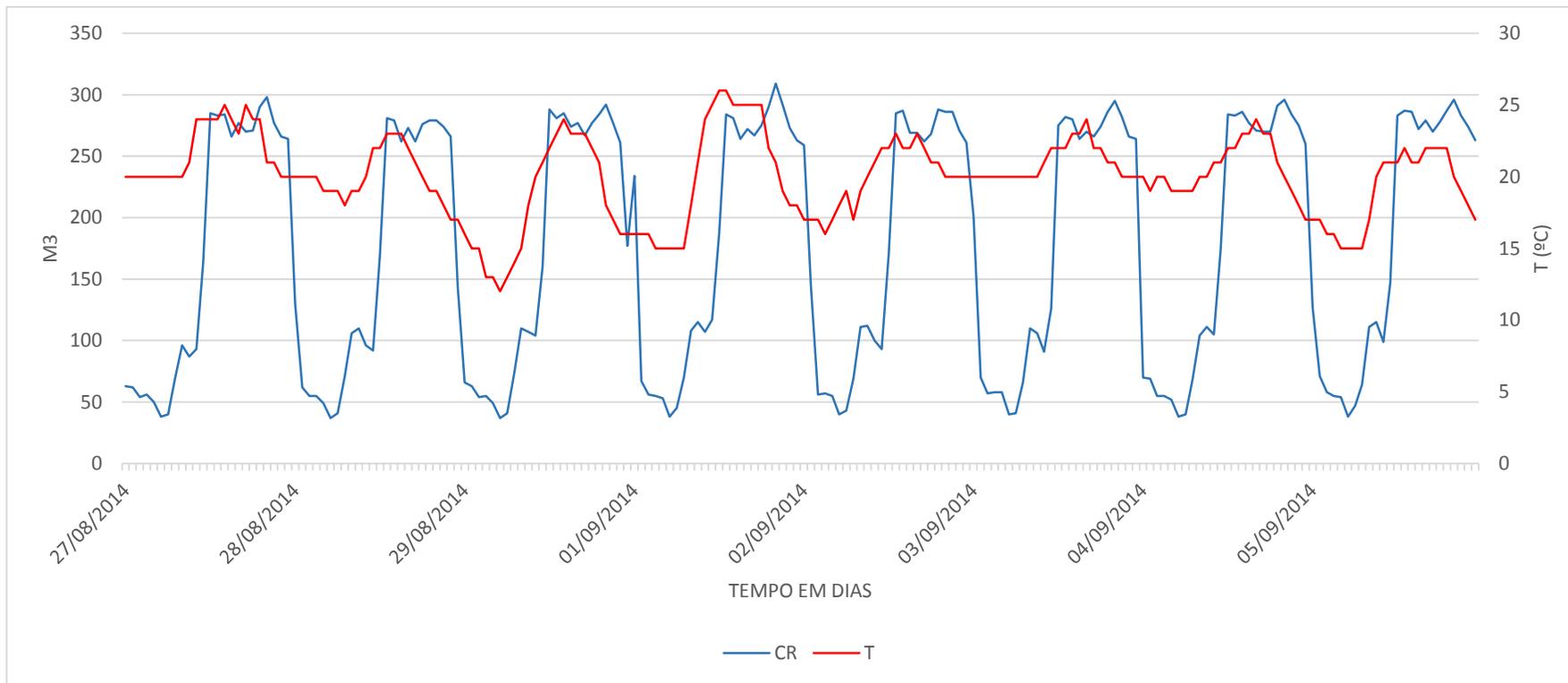


Figura 12 - Modelo 5, gráfico que relaciona CR com T

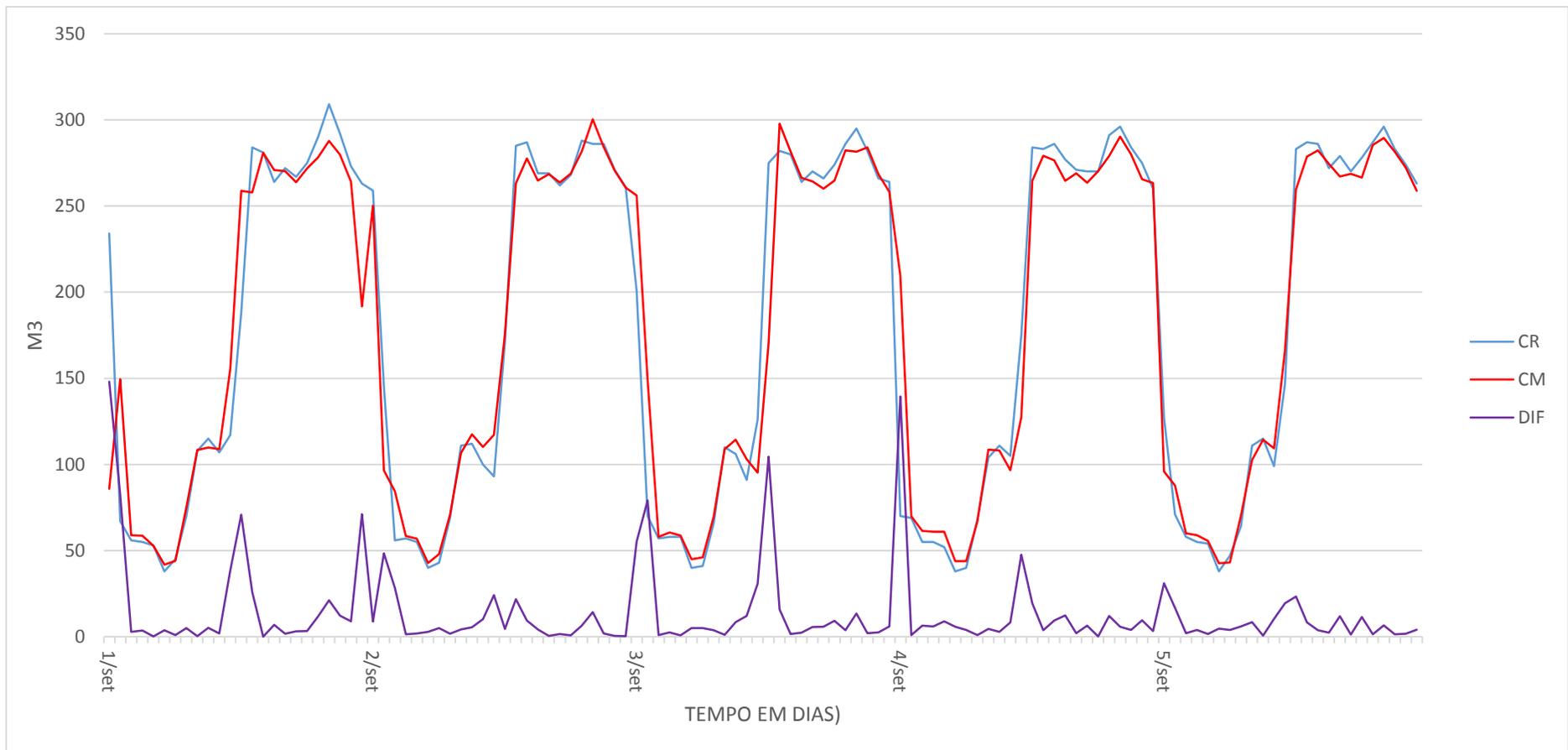


Figura 13 – Modelo 5, gráfico que relaciona CR; CM e dif2

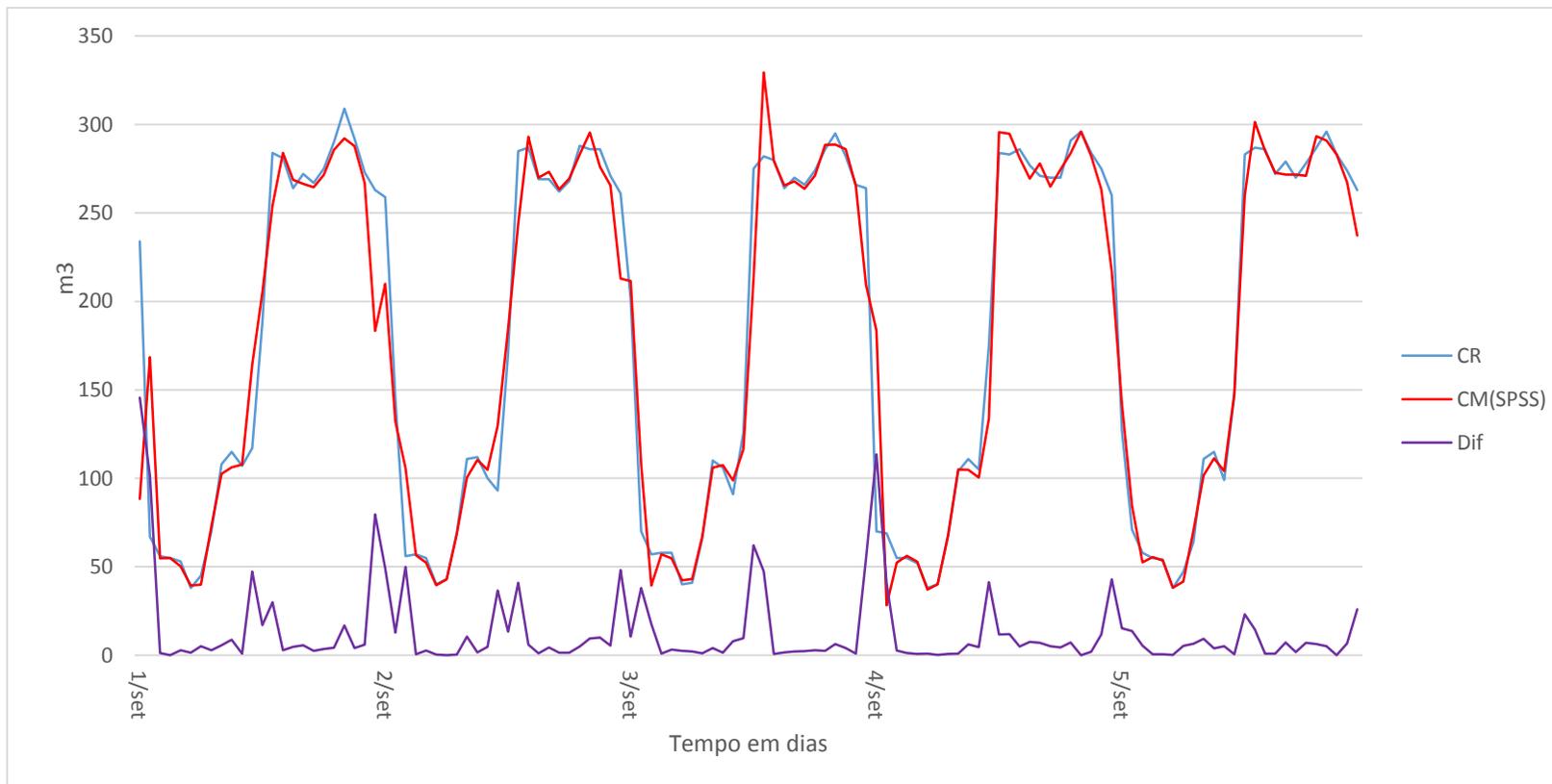


Figura 14 -- Modelo 5, gráfico que relaciona CR; CM(SPSS) e dif2(SPSS)

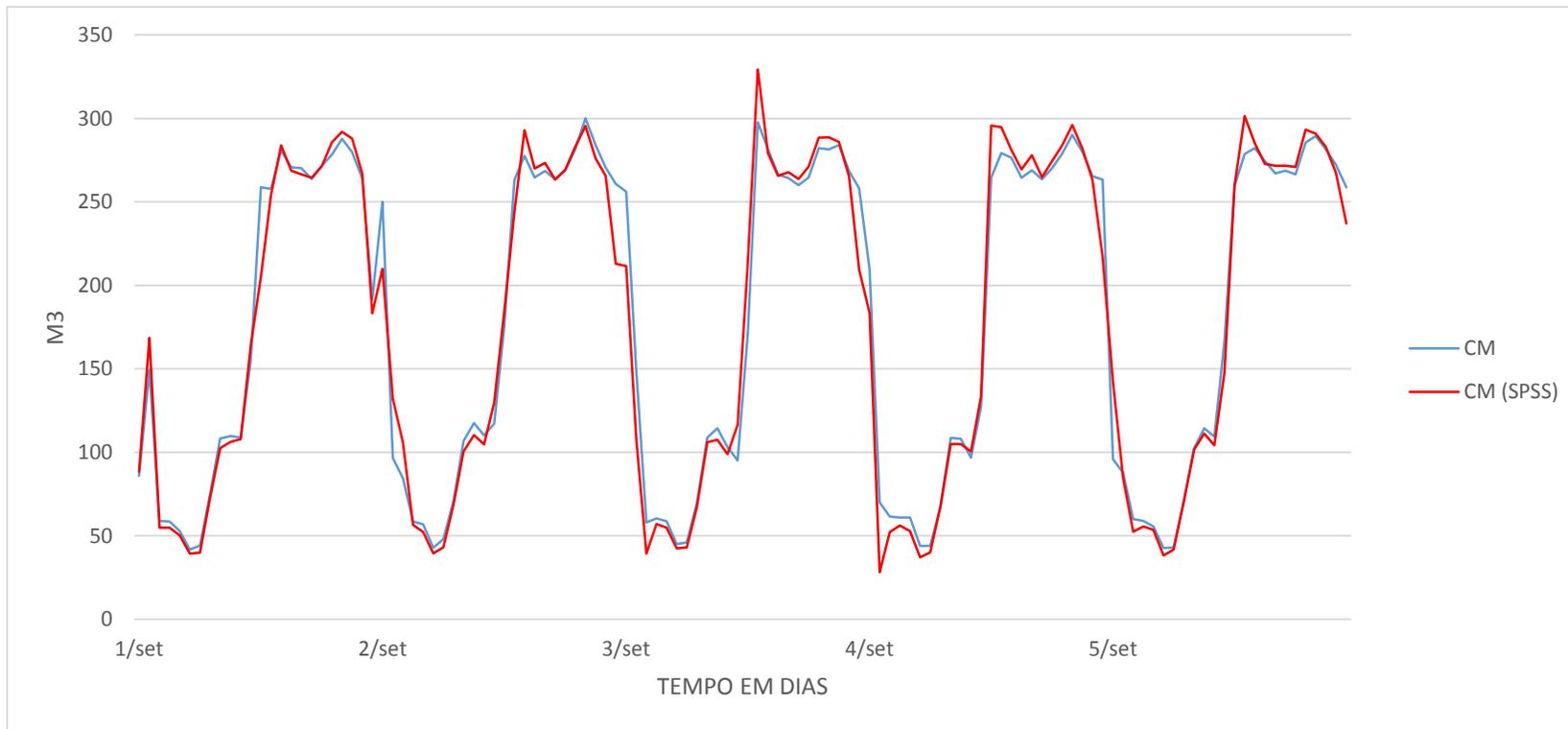


Figura 15 - Modelo 5, gráfico que relaciona CM; CM(SPSS)

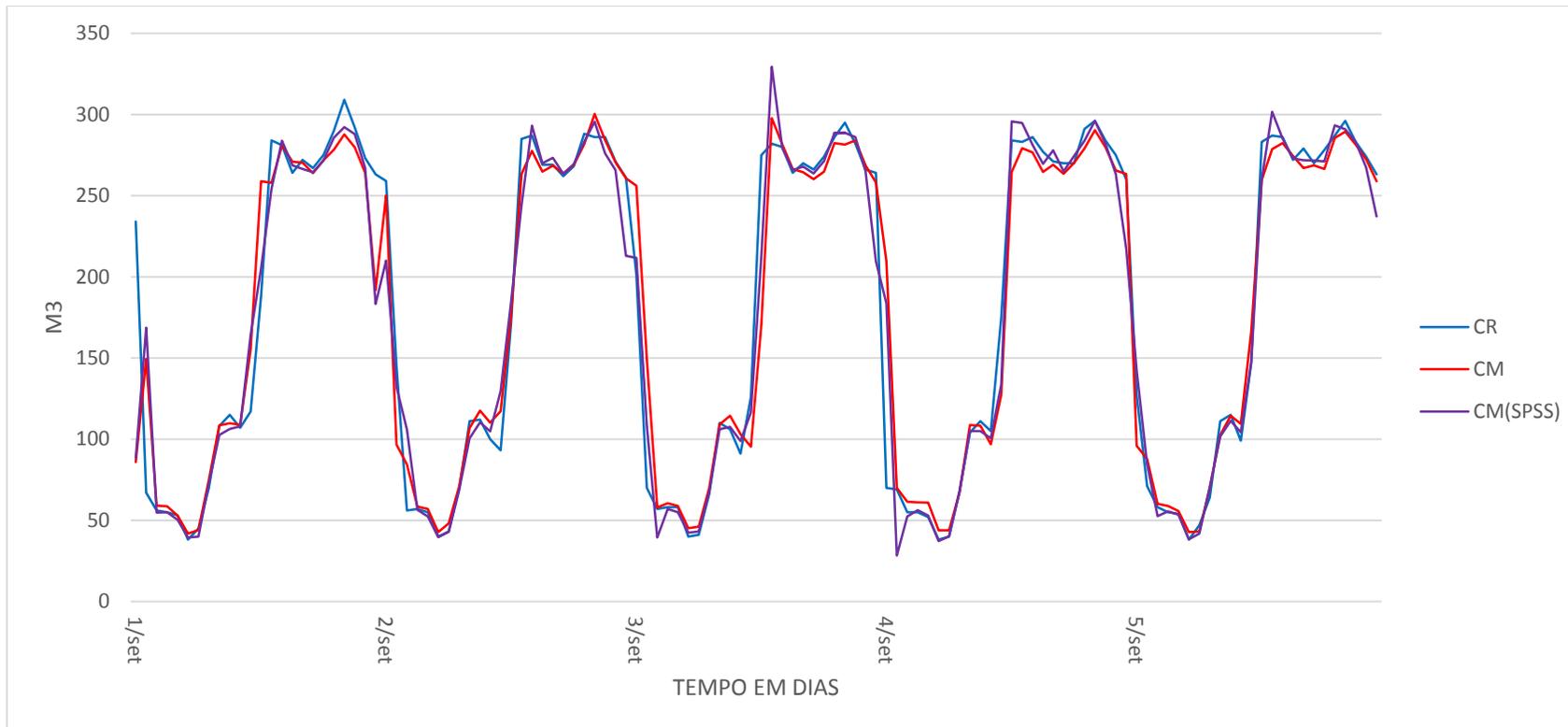


Figura 16 - Modelo 5, gráfico que relaciona CM; CM(SPSS) e CR

Tabela 11 - Modelo 5, Solver do Excel, Freixieiro, Tabela de resumo

Média da diferença absoluta entre CR e CM	13,56435
Média da diferença absoluta entre CR e CM (SPSS)	13,30742
Correlação do CR com o CM	0,960465525
Correlação do CR com o CM (SPSS)	0,9648
Correlação do CM com o CM (SPSS)	0,986773943
Correlação de T com TC	0,996259

Na análise aos resultados obtidos dos modelos para os valores das médias e correlações, verifica-se que o modelo criado através do SPSS foi melhor, porém, a diferença entre ambos foi pouco significativa. Observou-se que as correlações são muitas próximas nos dois modelos.

Modelo 5A-Modelo criado com recurso ao solver do MSExcel, para os Fins-de-semana do Freixieiro, que utiliza a série de dados de 23 de Agosto de 2014 até 7 de Setembro do mesmo ano, exceto nos dias de trabalho. Para a definição dos parâmetros de calibração do modelo, foram inicialmente atribuídos valores unitários, com exceção para a temperatura patamar, tendo esta assumido o valor de 22. Na tabela 12 e 13, são apresentados os principais parâmetros de análise e validação do modelo, sendo comparados os valores do modelo obtido em Excel e o modelo ARIMA obtido do SPSS.

Os gráficos do modelo 5A e tabela dos parâmetros estão em anexo.

Tabela 12 - Modelo 5A, Domingo, Freixieiro, Tabela de resumo

Média da diferença absoluta entre CR e CM	13,08646326
Média da diferença absoluta entre CR e CM (SPSS)	11,16583
Correlação do CR com o CM	0,986060113
Correlação do CR com o CM(SPSS)	0,979736523
Correlação do CM com o CM(SPSS)	0,990934195
Correlação de T com TC	0,893824635

Tabela 13 - Modelo 5A, Sábado dia 6 de Setembro, Freixieiro, Tabela de resumo

Média da diferença absoluta entre CR e CM	15,94645826
Média da diferença absoluta entre CR e CM (SPSS)	12,56708
Correlação do CR com o CM	0,967247962
Correlação do CR com o CM(SPSS)	0,979739
Correlação do CM com o CM(SPSS)	0,944806001
Correlação de T com TC	1

Na análise dos resultados obtidos é possível verificar que ambos os dias, a média das diferenças absolutas é menor no modelo criado pelo SPSS, mas, na comparação da correlação, verificamos que o modelo criado pelo Excel para Domingo apresentou uma melhor correlação quando comparada ao modelo SPSS, enquanto no Sábado verifica-se que o SPSS teve melhor correlação. Quando comparados juntos os dias fins-de-semana, verificamos que o SPSS foi melhor com 0,979599 e no Excel apresentou com 0,975065 a diferença entre ambos é pequena, o que significa que o Excel pode ser uma opção aos modelos criados em SPSS.

Modelo 6- Modelo criado com recurso ao solver do MSExcel, para dias de trabalho no outro caso de estudo Padrão da Légua, que utiliza a série de dados de 1 de Setembro de 2014 a 9 de Setembro do mesmo ano, exceto nos dias 6 e 7 de Setembros de 2014. Para a definição dos parâmetros de calibração do modelo, foram inicialmente atribuídos valores unitários, com exceção para a temperatura patamar, tendo esta assumido o valor de 20. Na tabela 14, são apresentados os principais parâmetros de análise e validação do modelo, sendo comparados os valores do modelo obtido em Excel e o modelo ARIMA obtido do SPSS.

Os gráficos do modelo 6 e a tabela dos parâmetros estão em anexo.

Tabela 14 – Modelo 6, Padrão da Légua, Tabela de resumo

Média da diferença absoluta entre CR e CM	7,808613031
Média da diferença absoluta entre CR e CM (SPSS)	5,525416667
Correlação do CR com o CM	0,98873553
Correlação do CR com o CM (SPSS)	0,994117
Correlação do CM com o CM (SPSS)	0,9940576
Correlação de T com TC	1

Na análise dos resultados obtidos é possível verificar que, a média das diferenças absolutas e na correlação, o modelo criado pelo SPSS foi o melhor em todos os aspetos e teve um ajuste próximo de 1, enquanto comparado aos modelos em Excel verificamos que os modelos são próximos do SPSS análise com uma correlação entre os modelos o que foi excelente.

5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo realiza-se uma análise conclusiva do trabalho desenvolvido e dos resultados obtidos. São ainda apresentados sugestões de trabalhos a desenvolver no futuro.

5.1 Conclusão

Na consulta a diversas publicações, constatou-se uma variedade de formas de caracterizar, modelar e prever o consumo de água. A gestão eficiente dos recursos hídricos levou à necessidade de procurar técnicas de previsão do consumo cujo objetivo seria substituir uma gestão aleatória baseada na intuição, apesar de um modelo de previsão não possa substituir como um todo a experiência dos técnicos.

A utilização de modelos de previsão do consumo de água nos sistemas de abastecimento resultam em melhorias na operação e gestão de sistemas, o que ajudam a minimizar os custos e eventuais avarias. Com a melhoria da gestão dos sistemas de abastecimento foi possível garantir um serviço com qualidade e quantidade, que satisfaz as necessidades da população.

Uma das vantagens associadas à utilização de modelos de previsão nos sistemas de abastecimento é a minimização dos custos de exploração de estações elevatórias, uma vez que possibilita a otimização através da criação de esquemas de bombagem que evitem as horas em que a eletricidade é mais cara.

Para a realização da previsão do consumo foi necessário utilizar uma base de dados que fosse completa e fiável, para isso utilizou-se nos dois casos de estudo “Águas do Douro e Paiva”, que faz leituras em tempo real e ainda disponibiliza os dados na página da internet para todos os interessados.

Na dissertação, analisamos os valores dos caudais registados no subsistema de Freixieiro do concelho de Matosinhos e no subsistema do Padrão da Légua, do concelho de Matosinhos. Após a recolha de dados, foi necessário fazer uma análise aos dados de consumo através da visualização dos gráficos para detetar comportamentos anómalos apresentados na rede, tendo sido observados problemas associados à manutenção e a fugas nos sistemas. É importante referir que foi necessário distinguir os dias da semana por apresentar características diferentes no consumo, sendo que o consumo foi diferenciado em dias de trabalho, fins-de-semana, sábados e domingos.

Para a modelação do consumo foi necessário a utilização das ferramentas informáticas, como os modelos ARIMA através do *software* SPSS, e a outra a elaboração de modelos com recurso a MSExcel, sendo que os resultados alcançados foram bastantes próximos dos modelos ARIMA.

Os modelos ARIMA, incluídos no *software* SPSS, caracterizam-se pela sua flexibilidade e por possuir a capacidade de responder às variações da sucessão de consumos. A utilização do *software* estatístico SPSS permitiu determinar de forma automática o melhor modelo ARIMA, que ajuste os valores do consumo real com os valores do consumo do modelo, sendo possível utilizar este modelo como elemento de apoio à decisão aquando da construção, renovação ou manutenção dos sistemas de abastecimento.

Os modelos desenvolvidos em Excel apresentam as principais características que um gestor procura, ou seja, utiliza uma ferramenta de baixo custo, o seu procedimento de modelização é simples e os resultados alcançados foram muito próximo dos modelos estocásticos ARIMA. Ainda no modelo foi também adicionado uma variável externa, a temperatura, cujo objetivo seria aproximar o consumo do modelo aos consumos reais.

De notar, os fatores climáticos não influenciam de forma contundente, tudo por causa do consumo apresentar um padrão de consumo constante, que pode ser afetado por diversos fatores como por exemplo a qualidade de vida das populações, sendo que quanto maior é a qualidade de vida das populações maior é a utilização de água. Nos dois casos de estudo verificou-se que a variável temperatura não foi contundente, apresentando melhorias pouco significativas no modelo em Excel.

Neste trabalho realizamos a previsão do consumo para duas freguesias do concelho de Matosinhos, que representassem regiões com características diferentes de consumo, sendo que o objetivo seria avaliar o desempenho do modelo em Excel. Os resultados dos modelos obtidos para o estudo dos dias da semana foram satisfatórios e mostram resultados muito próximos, sendo que a comparação entre modelos ARIMA e modelos com recurso em Excel verificamos que não houve muita diferença nos modelos obtidos.

Deste modo, o modelo desenvolvido em MSExcel pode ser utilizado para a gestão nos sistemas de abastecimento de água.

5.2 Trabalhos futuros

Em trabalhos futuros recomenda-se a utilização de outras técnicas de previsão de consumos baseados em técnicas estocásticas de análise de sucessões cronológicas não linear e técnicas de inteligência artificial como redes neuronais, que incluam outras variáveis, designadamente a humidade e a precipitação.

Na continuação deste trabalho, a implementação do modelo de previsão do consumo de água desenvolvido para a gestão em tempo real de sistemas de abastecimento de água aplicados à operação de sistemas de elevatórias.

Ainda recomenda-se a realização de estudos para diferentes regiões tais como: comerciais e industriais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bakker, M., Vreeburg, J. H. G., van Schagen, K. M., & Rietveld, L. C. (2013). A fully adaptive forecasting model for short-term drinking water demand. *Environmental Modelling & Software*, 48, pp.141–151.
- Boland, J. J. (1985). Forecasting water Use: A tutorial. *Computer Applications in Water Resources*, ed H.C.,pp.907–916, Torno, Buffalo, N.Y.
- Borges, V. M. N. de A. (n.d.). Estado da arte em modelos de previsão de demanda de água na operação de sistemas de abastecimento, pp. 17.
- Borges, V. M. N. de A. (2003). Acoplamento de um modelo de previsão de demanda de água a um modelo simulador em tempo real - Um estudo de caso: Sistema adutor metropolitano de São Paulo. Dissertação (Mestrado), pp.206, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.
- Cortez, P. A. R. (2002). Modelos Inspirados na Natureza para a Previsão de Series Temporais. Tese (Doutorado), pp.214, Universidade do Minho.
- Falkenberg, A. V. (2005). Previsão de consumo urbano de água em curto prazo. Dissertação (Mestrado). Curitiba: Universidade Federal do Paraná.
- Fernandes, T. A. (2011). Caracterização, modelação e previsão de consumos de água da freguesia de Provizende - Arouca. Dissertação (Mestrado), pp.123, Universidade do Minho.
- Ferreira da Silva, J. F. (1994). Modelos Base de Apoio à Decisão no planeamento de Sistemas de Abastecimento de água : Trabalho de Síntese submetido à Universidade do Minho no Âmbito de provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica. Guimaraes.
- Ferreira da Silva, J. F. (2006). Caracterização, modelação e previsão de utilizações de água utilizando ferramentas estatísticas, pp.11.
- Ferreira da Silva, J. F. (2008). Modelação e Previsão de Utilizações de Água Usando uma Ferramenta de Optimização para a Estimacão de Parâmetros. *Revista Engenharia Civil*, pp.203–214.
- Mamo, T. G., Juran, I., & Shahrour, I. (2013). Urban Water Demand Forecasting Using the Stochastic Nature of Short Term Historical Water Demand and supply Pattern. *Jornal of Water Resource and Hydraulic Engineering*, 2(3), pp.92–103.
- Murteira, B. J. (1993). Análise de Sucessões Cronológicas. Lisboa: McGRAW-HILL.

- Odan, F. K. (2013). Estudo de Confiabilidade aplicado à Otimização da Operação em Tempo Real de Redes de Abastecimento de Água. Tese (Doutorado), pp.210, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- Pinto, M. A. Q. (2004). Caracterização e modelação das utilizações de água. Relatório de projeto individual da Licenciatura em Engenharia Civil. Universidade do Minho.
- Rodríguez, C. A. E. (2010). Predicción a corto plazo de la demanda de agua urbana en áreas densamente pobladas. Tese (Doutorado), pp. 354, Universidade Politecnica de Valencia.
- Santos, C. C. dos. (2011). Previsão de demanada de água na Região Metropolitana de São Paulo com redes neurais artificiais e condições sócio-ambientais e meteorológicas. Tese(Doutorado), pp.118, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental.
- Silva, C. S. da. (2003). Previsão multivariada da demanda horária de água em sistemas urbanos de abastecimento. Tese (Doutorado), pp.303, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.
- Teixeira, C. J. S. (2006). Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados como Suporte a Actividade de Business Intelligence – Aplicação na Área da Distribuição de Água. Dissertação (Mestrado), pp.121, Universidade do Minho.
- Trautwein Jr., B. (2004). Avaliação de métodos para revisão de consumo de água para curtissimo prazo: um estudo de caso em empresa de saneamento. Dissertação (Mestrado), pp.123, Pontificia Universidade Católica do Paraná, Curitiba.
- Zhai, Y., Wang, J., Teng, Y., & Zuo, R. (2012). Water demand forecasting of Beijing using the Time Series Forecasting Method. *Journal of Geographical Sciences*, 22(5), pp.919–932.

ANEXOS

Anexo A1 – exemplo de base de dados

Neste anexo é apresentada a tabela 15, que refere a um exemplo de uma tabela de dados para um dia de dados tratados.

Tabela 15 – exemplo tabela de dados

						Excel				ARIMA	
data	hora	consumo	temperatura	CR/Cr	TC	CM	Dif1	Dif2	Dif3	CM	Dif2
5/set	00:00	127	17	1,814285714	17,0000	95,9423238	964,5793	31,05768	17,20805	142,22	15,22
2	01:00	71	17	1,028985507	17,0000	87,72693799	279,7905	16,72694	23,89231	84,6	13,6
3	02:00	58	16	1,054545455	16,0000	60,04643653	4,187902	2,046437	9,386687	52,51	5,49
4	03:00	55	16	1	16,0000	58,89252538	15,15175	3,892525	2,969481	55,55	0,55
5	04:00	54	15	1,038461538	15,0000	55,64270913	2,698493	1,642709	2,767617	53,53	0,47
6	05:00	38	15	1	15,0000	42,69057275	22,00147	4,690573	3,166641	38,24	0,24
7	06:00	47	15	1,175	15,0000	43,052629	15,58174	3,947371	4,318972	41,68	5,32
8	07:00	64	15	0,941176471	15,0000	70,03607575	36,43421	6,036076	4,991723	70,47	6,47
9	08:00	111	17	1,067307692	17,0000	102,5777222	70,93476	8,422278	7,229177	101,67	9,33
10	09:00	115	20	1,036036036	20,0000	114,3898937	0,37223	0,610106	4,516192	111,22	3,78
11	10:00	99	21	0,942857143	21,0000	109,3366332	106,846	10,33663	5,47337	104,16	5,16
12	11:00	147	21	0,84	21,0000	166,4378127	377,8286	19,43781	14,88722	147,58	0,58
13	12:00	283	21	0,996478873	21,0000	259,5902393	548,0169	23,40976	21,42379	259,94	23,06

14	13:00	287	22	1,014134276	22,0000	278,7288834	68,41137	8,271117	15,84044	301,52	14,52
15	14:00	286	21	1	21,0000	282,2842179	13,80704	3,715782	5,993449	285,13	0,87
16	15:00	272	21	0,981949458	21,0000	274,4211164	5,861805	2,421116	3,068449	272,81	0,81
17	16:00	279	22	1,029520295	22,0000	267,0403336	143,0336	11,95967	7,190391	271,76	7,24
18	17:00	270	22	1	22,0000	268,674725	1,756354	1,325275	6,642471	271,69	1,69
19	18:00	278	22	1,02962963	22,0000	266,4903842	132,4713	11,50962	6,417445	271,02	6,98
20	19:00	287	22	0,986254296	22,0000	285,4912277	2,276394	1,508772	6,509194	293,31	6,31
21	20:00	296	20	1	20,0000	289,442269	43,00384	6,557731	4,033252	290,86	5,14
22	21:00	283	19	0,996478873	19,0000	281,5088741	2,223456	1,491126	4,024428	283,05	0,05
23	22:00	274	18	0,996363636	18,0000	272,2646562	3,011418	1,735344	1,613235	267,41	6,59
24	23:00	263	17	1,011538462	17,0000	258,8316135	17,37545	4,168386	2,951865	237,16	25,84

Anexo A2 – resultados do processo de modelização em SPSS

Neste anexo podemos encontrar os resultados do processo de modelização realizado em SPSS.

As figuras 17 e 18 são referentes ao modelo 2, perfil consumo “Fins-de-semana”.

As figuras 19 e 20 são referentes ao modelo 4, perfil de consumo “Sábados”.

As figuras 21 e 22 correspondem ao modelo 3, perfil de consumo “Domingos”.

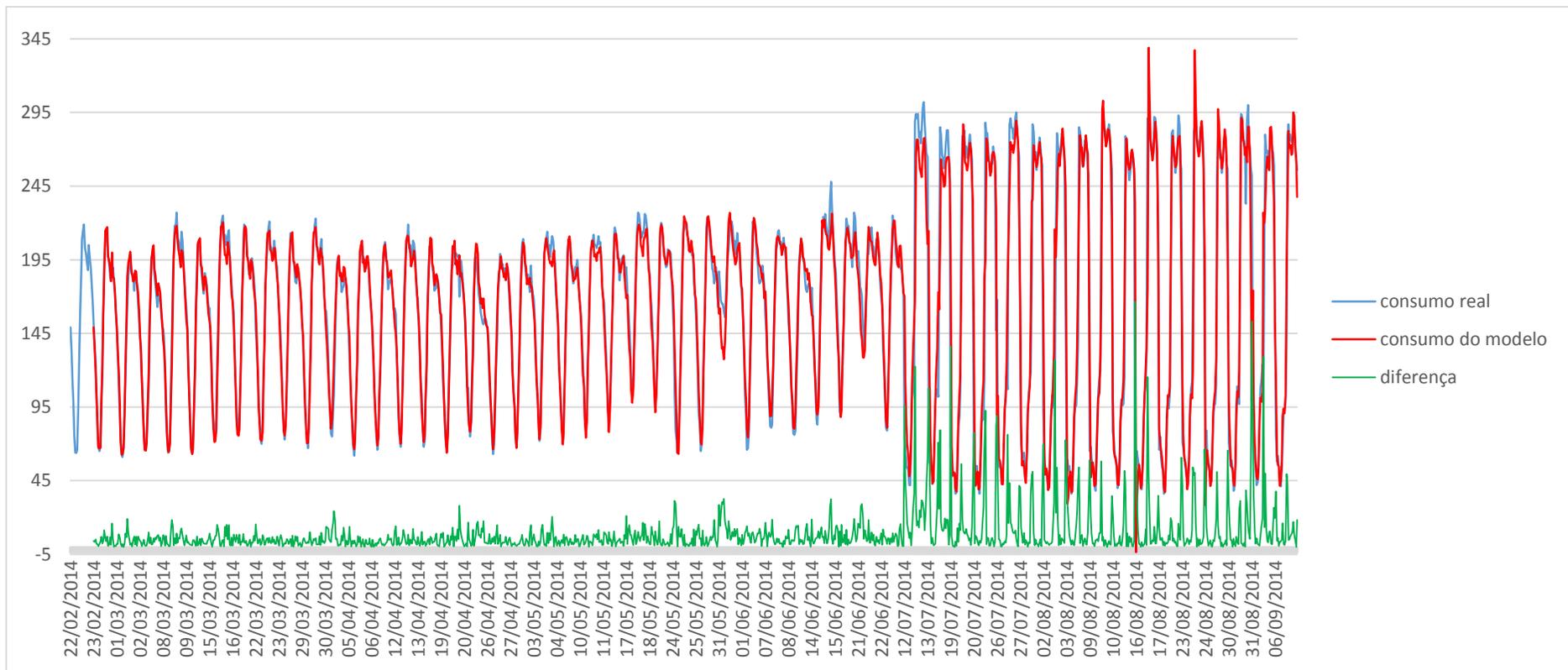


Figura 17 - Modelo 2 de previsão em SPSS, para o perfil de “Fim de semana”

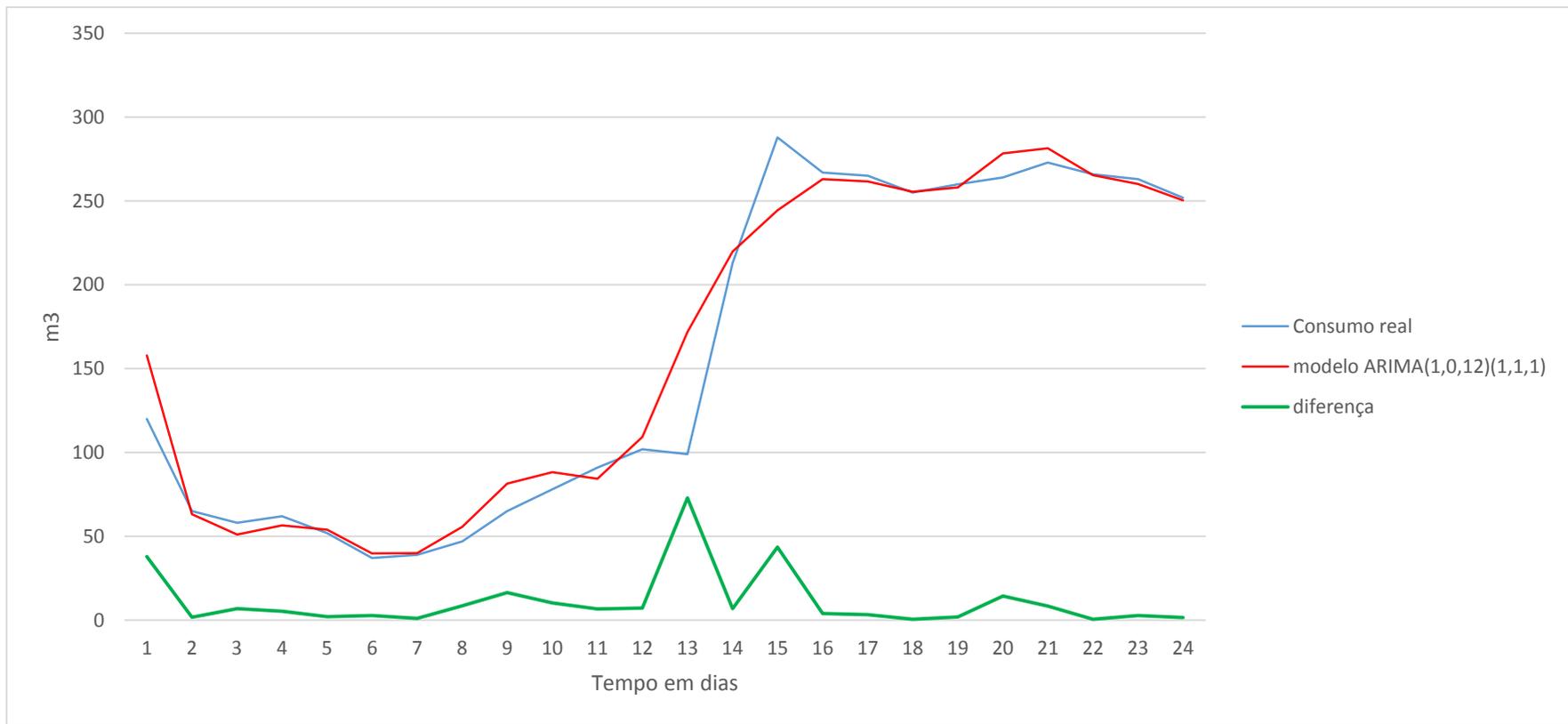


Figura 18 -Modelo 2 de previsão em SPSS, para o perfil “Fim de semana”, previsão para 24 horas

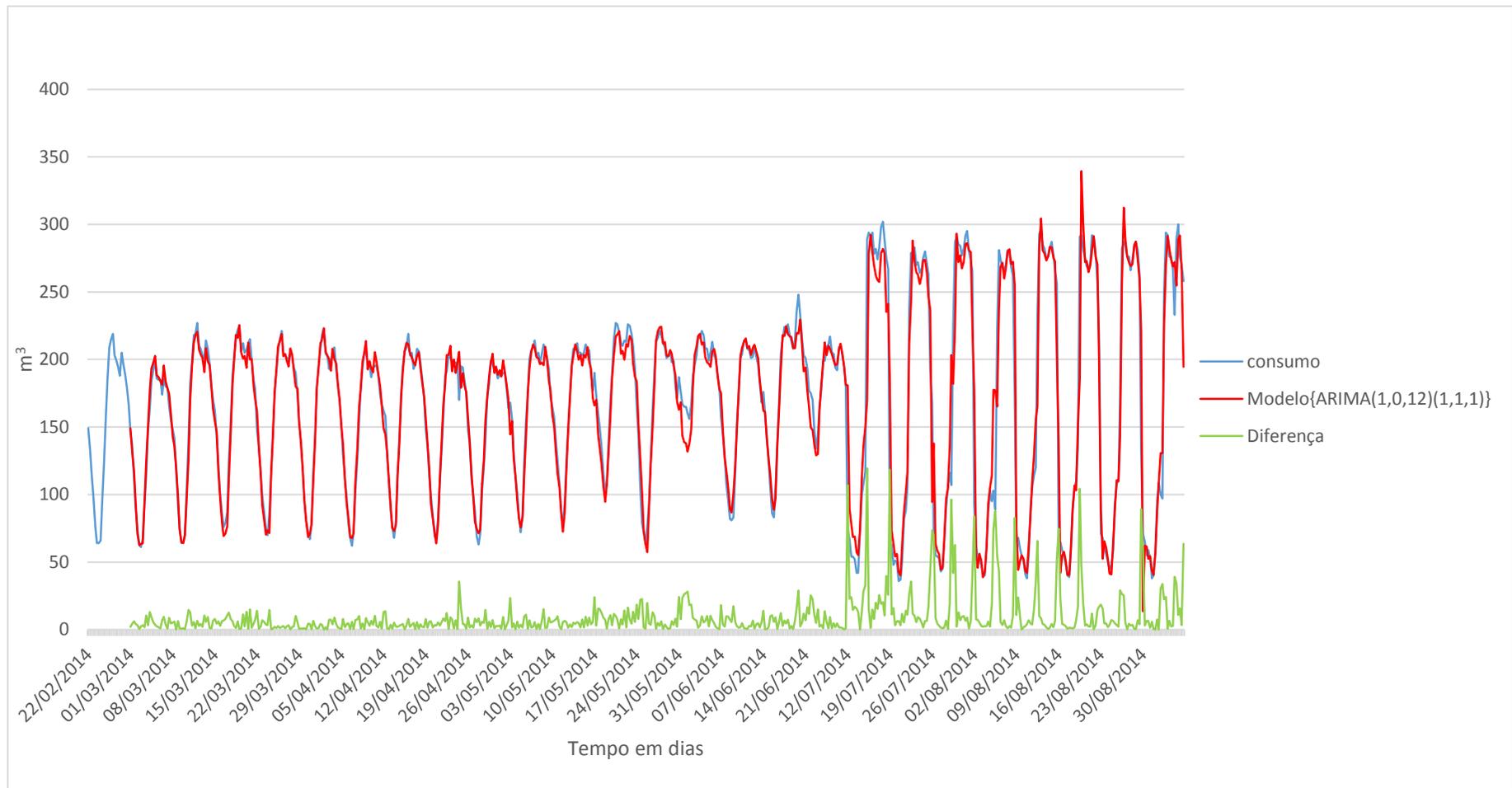


Figura 19 -Modelo 3 de previsão em SPSS, para o perfil de “Sábados”

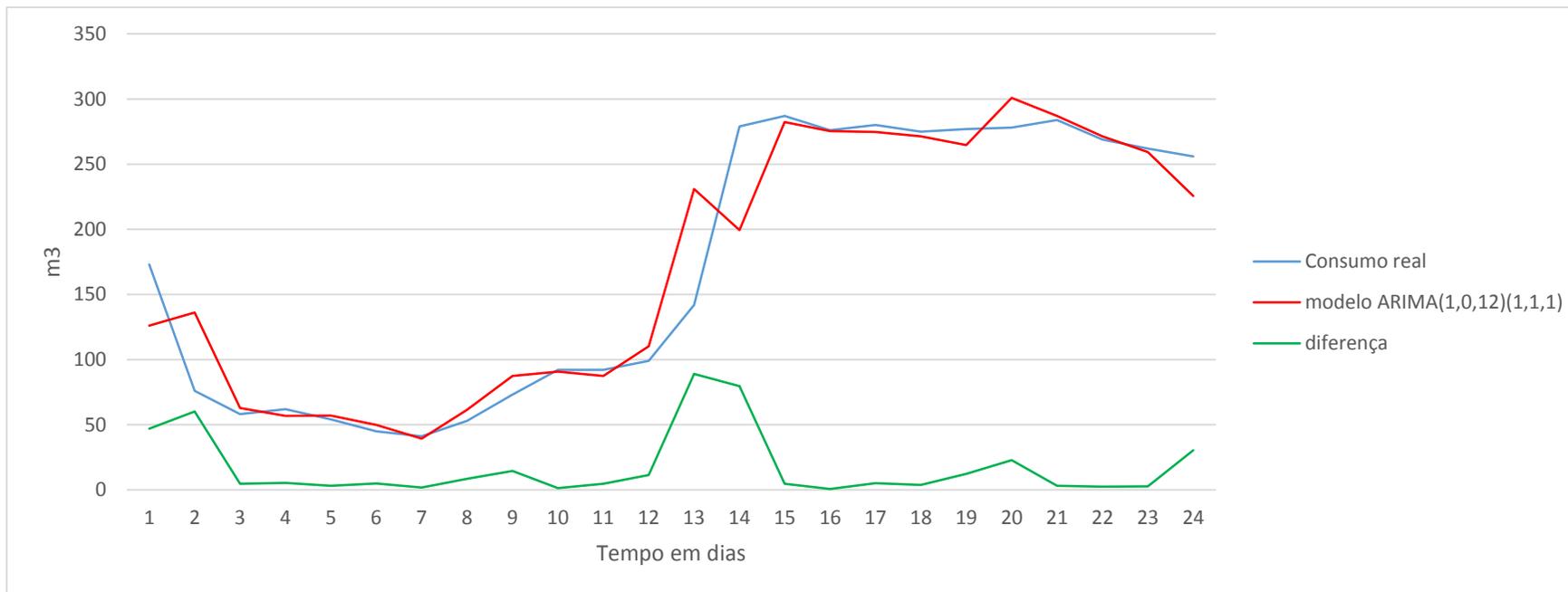


Figura 20 - Modelo 3 de previsão em SPSS, para o perfil “Sabado”, previsão para 24 horas

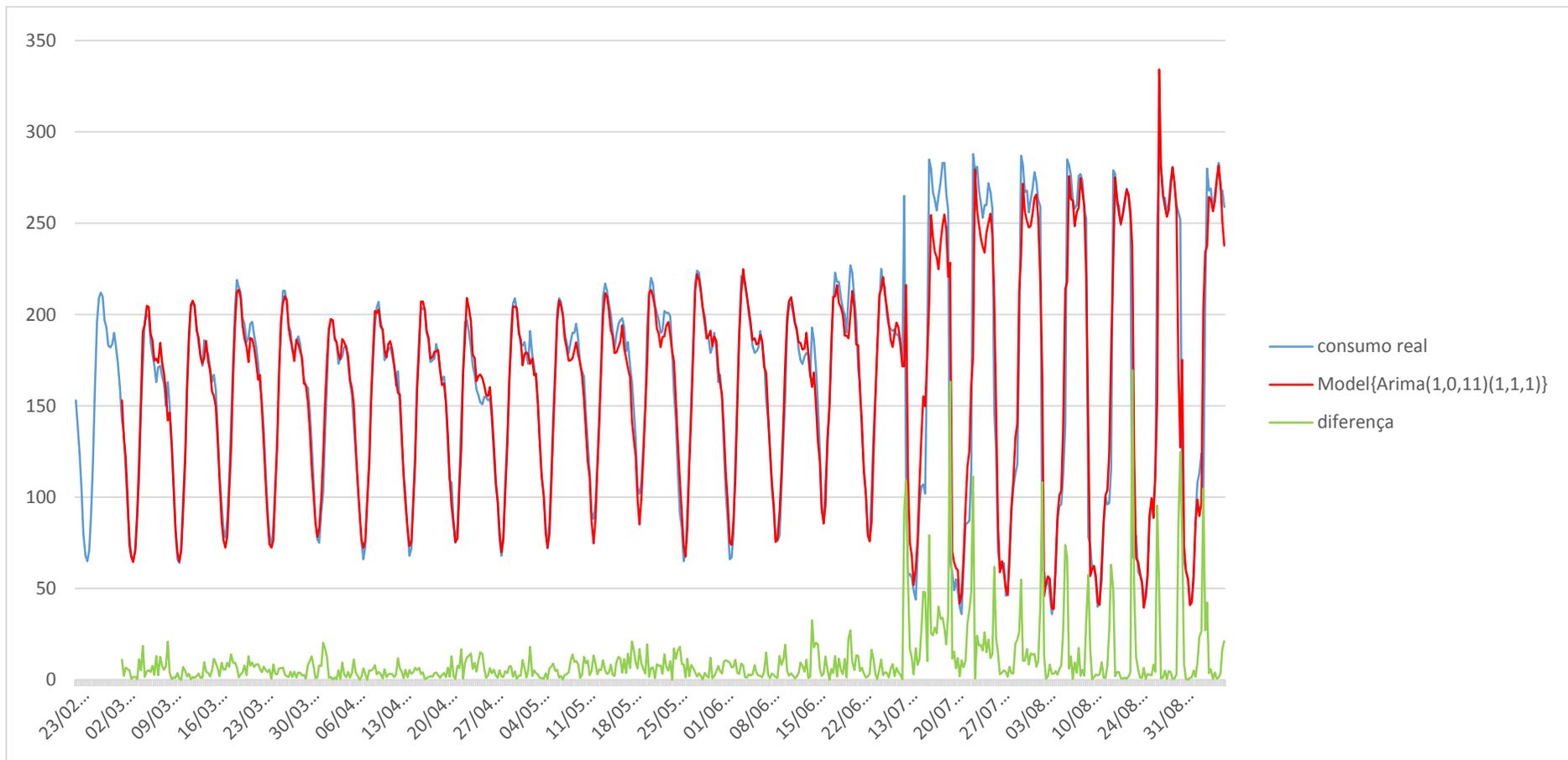


Figura 21 -Modelo 4 de previsão em SPSS, para o perfil “Domingo”

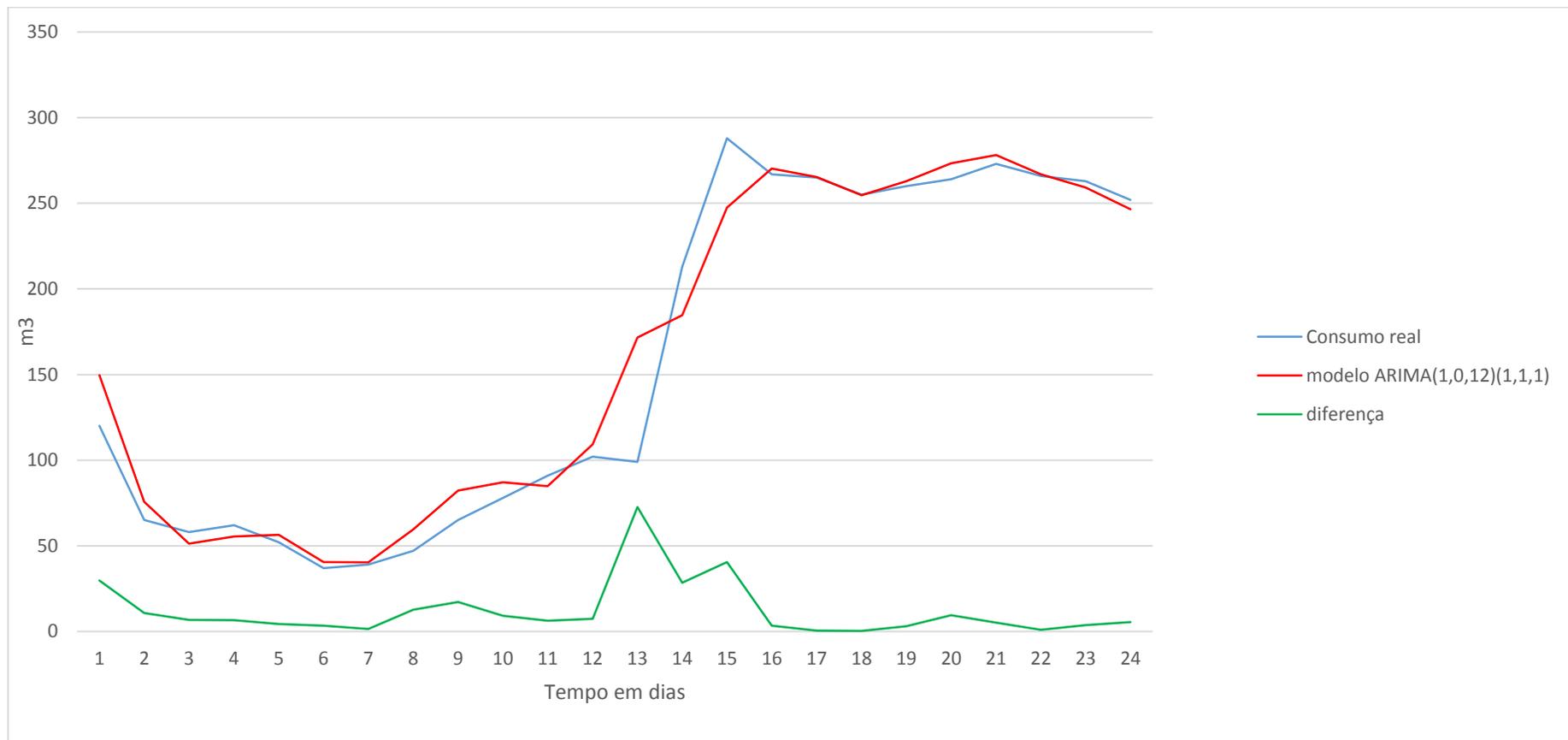


Figura 22 - -Modelo 5 de previsão em SPSS, para o perfil “Domingo”, previsão para 24 horas

Anexo A3 – resultados do processo de modelização com recurso a uma ferramenta de otimização (MSExcel)

Neste anexo são apresentados os resultados para o modelo 5A e o modelo 6

No modelo 5-A os gráficos dos resultados estão nas figuras 23 a 26

No modelo 6 os gráficos dos resultados estão nas figuras 27 a 30

As tabelas referentes aos modelos 5-A e 6 são a tabela 16 , tabela 17 e tabela 18

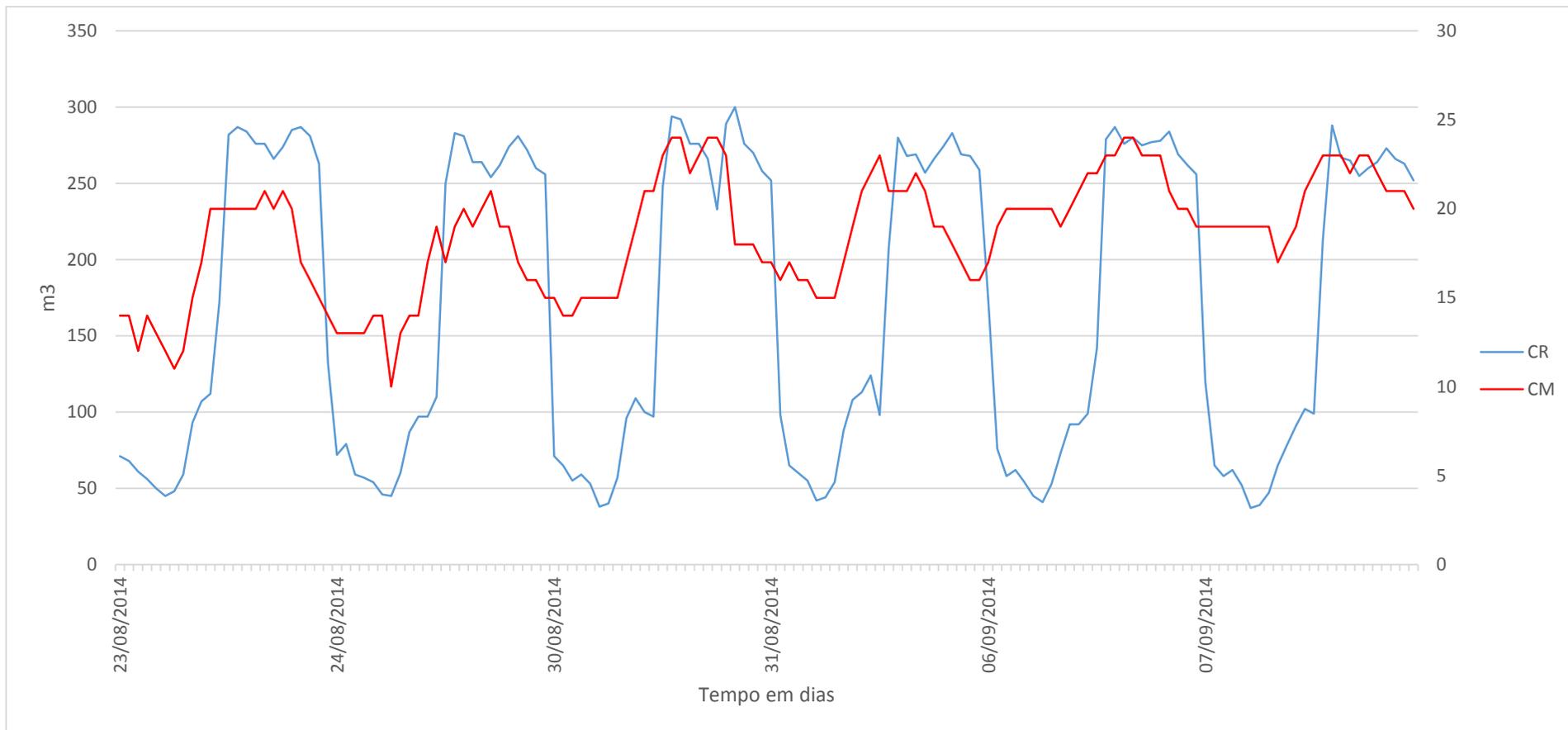


Figura 23 -Modelo 5A, gráfico que relaciona CR com T

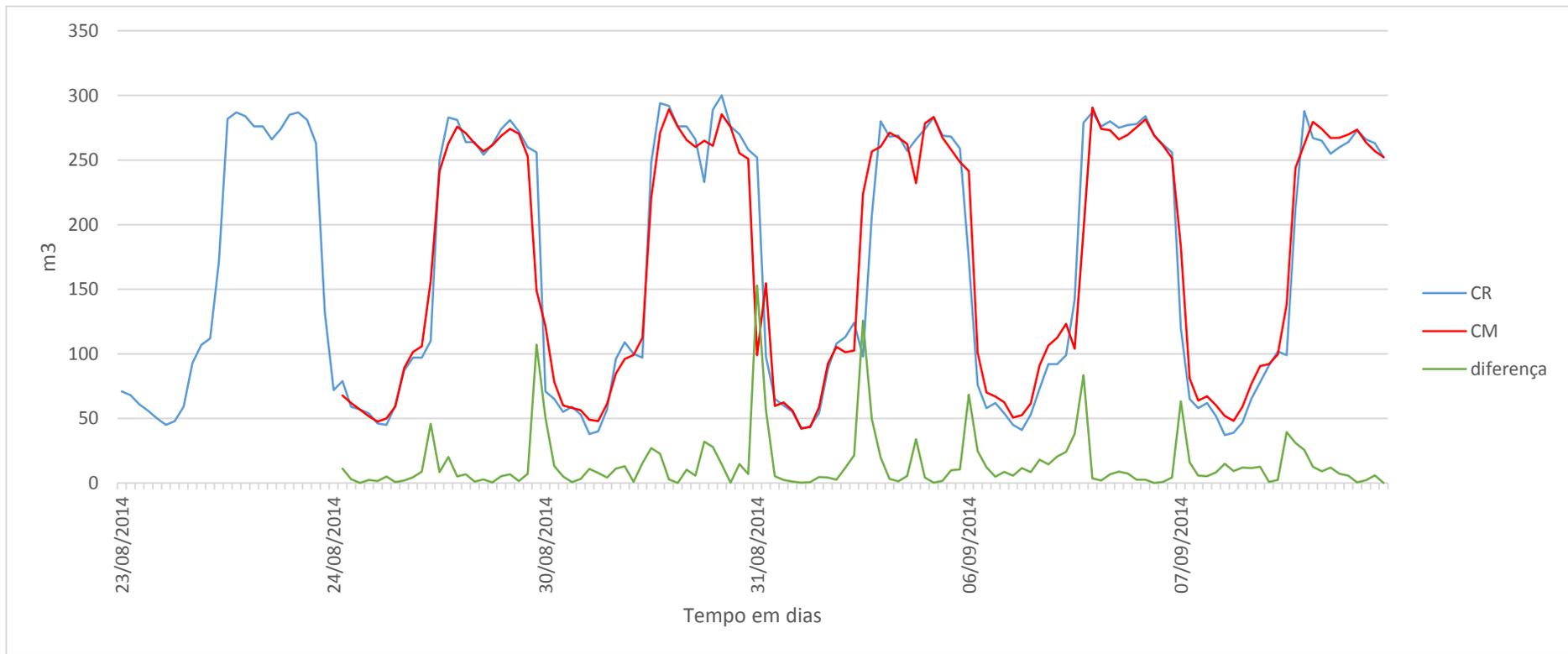


Figura 24 - Modelo 5A, gráfico que relaciona CR; CM e Dif2

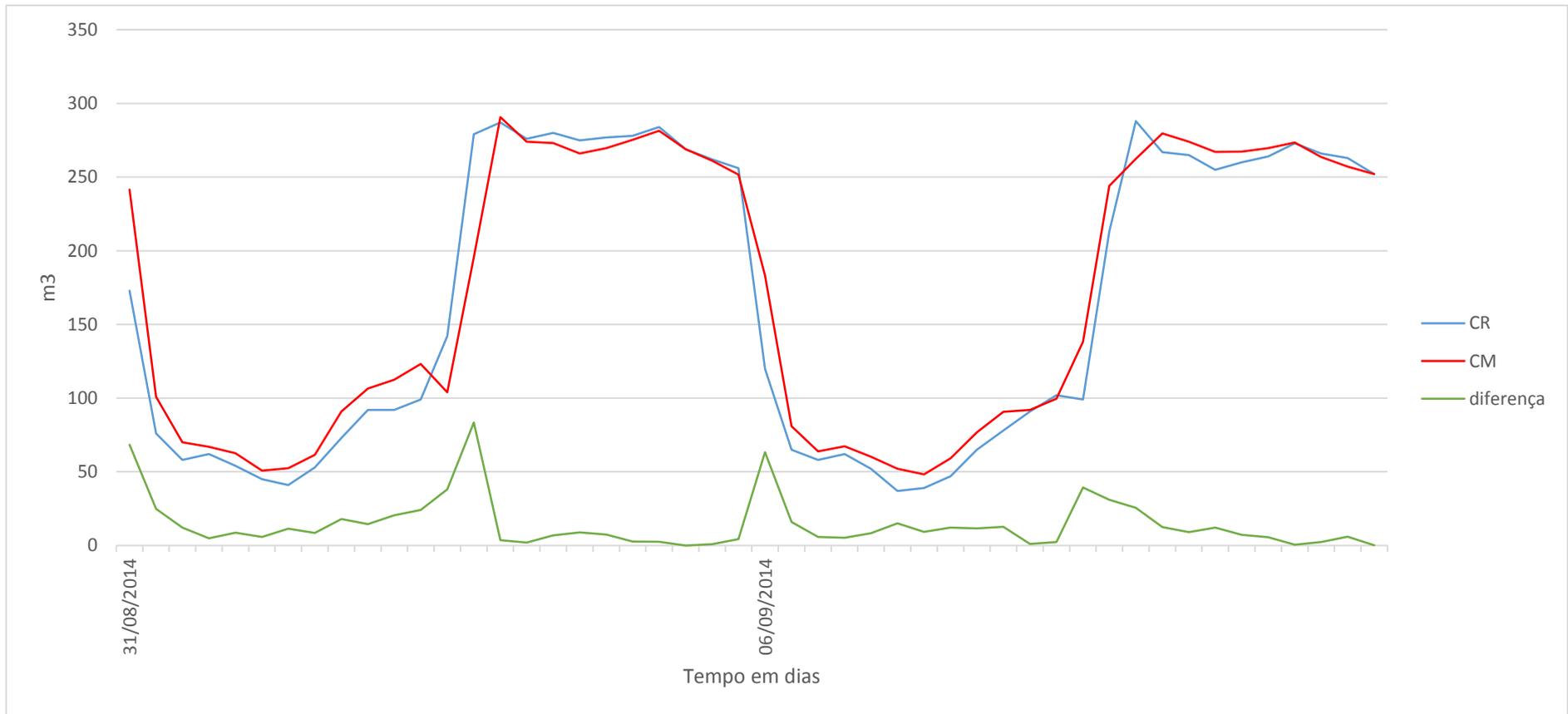


Figura 25 - Modelo 5A, gráfico que relaciona CR; CM(SPSS) e dif2(SPSS)

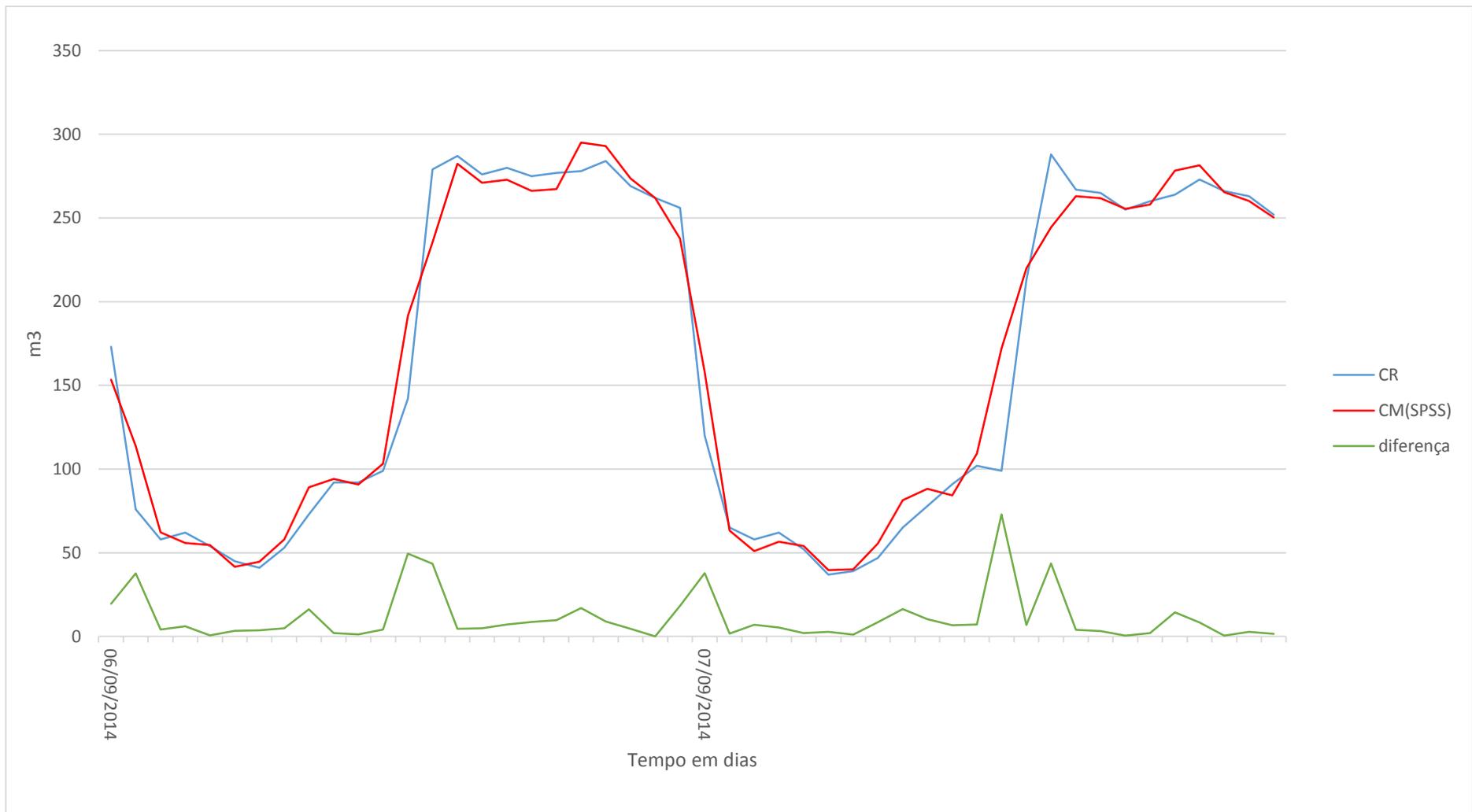


Figura 26 - Modelo 5A, gráfico que relaciona CM com CM(SPSS)

Tabela 16 - Valores dos parâmetros otimizados para o modelo 5, “Domingo”

a	1,6027	0,883885	β
b	1,8031312365E-06	2,974957	τ
c	0	0,027499	α
d	0,0391	0,604282	θ
φ	3,7346	10,10966	δ

Tabela 17 – Valores dos parâmetros otimizados para o modelo 5, “Sábado”

a	1,4918	0,892623757	β
b	0,0001	2,215508001	τ
c	0,0000	0,042984982	α
d	0,0055	2,466477112	θ
φ	0,9796	30,29442273	δ

Tabela 18 – Valores dos parâmetros otimizados para o modelo 6, “Dias de Trabalho”

a	0,0706	1,395389	β
b	13,3130	0,348507	τ
c	0,2199	0,199525	α
d	0,0586	0	θ
φ	0,1914	19,15472	δ

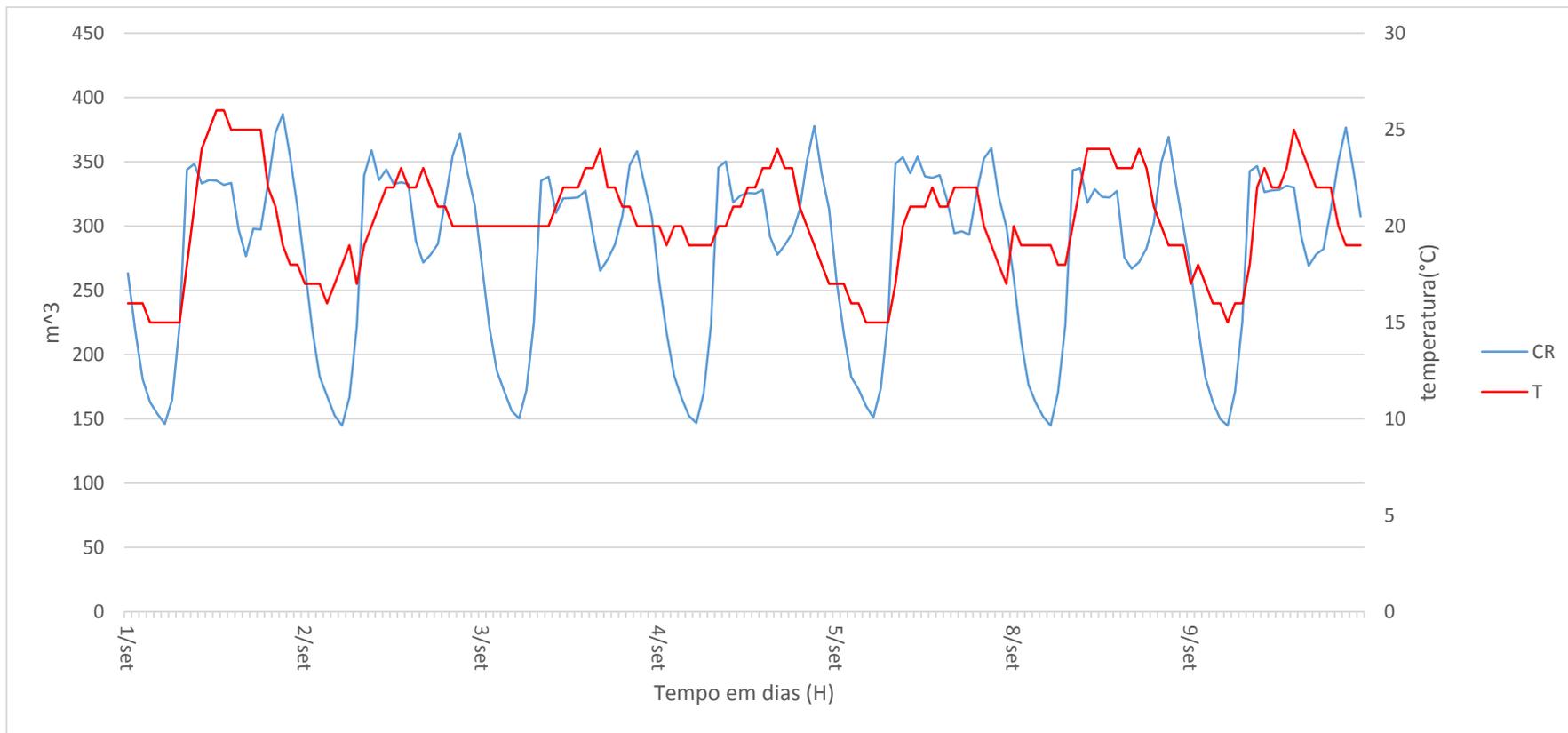


Figura 27 - Modelo 6, gráfico que relaciona CR , T

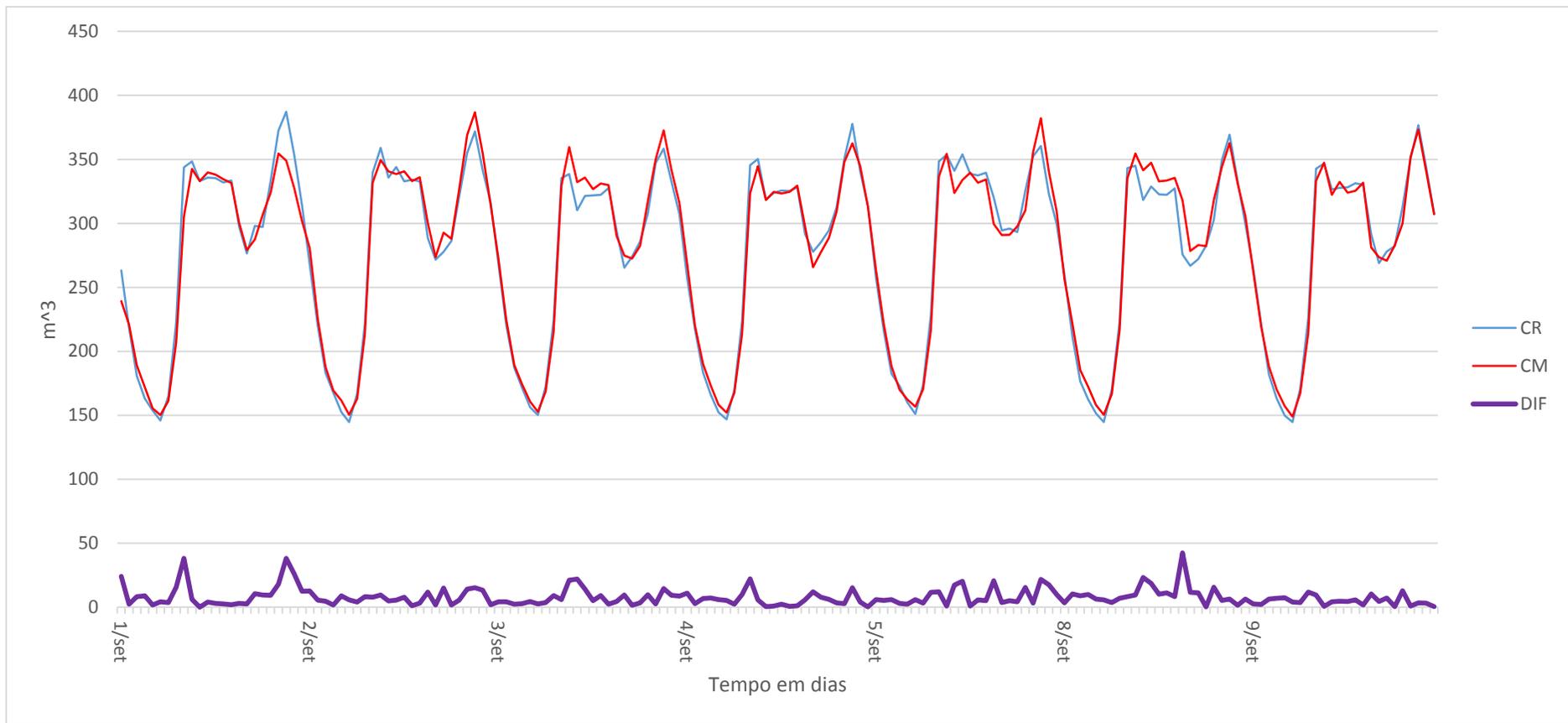


Figura 28 - Modelo 6, gráfico que relaciona CR , CM e Dif

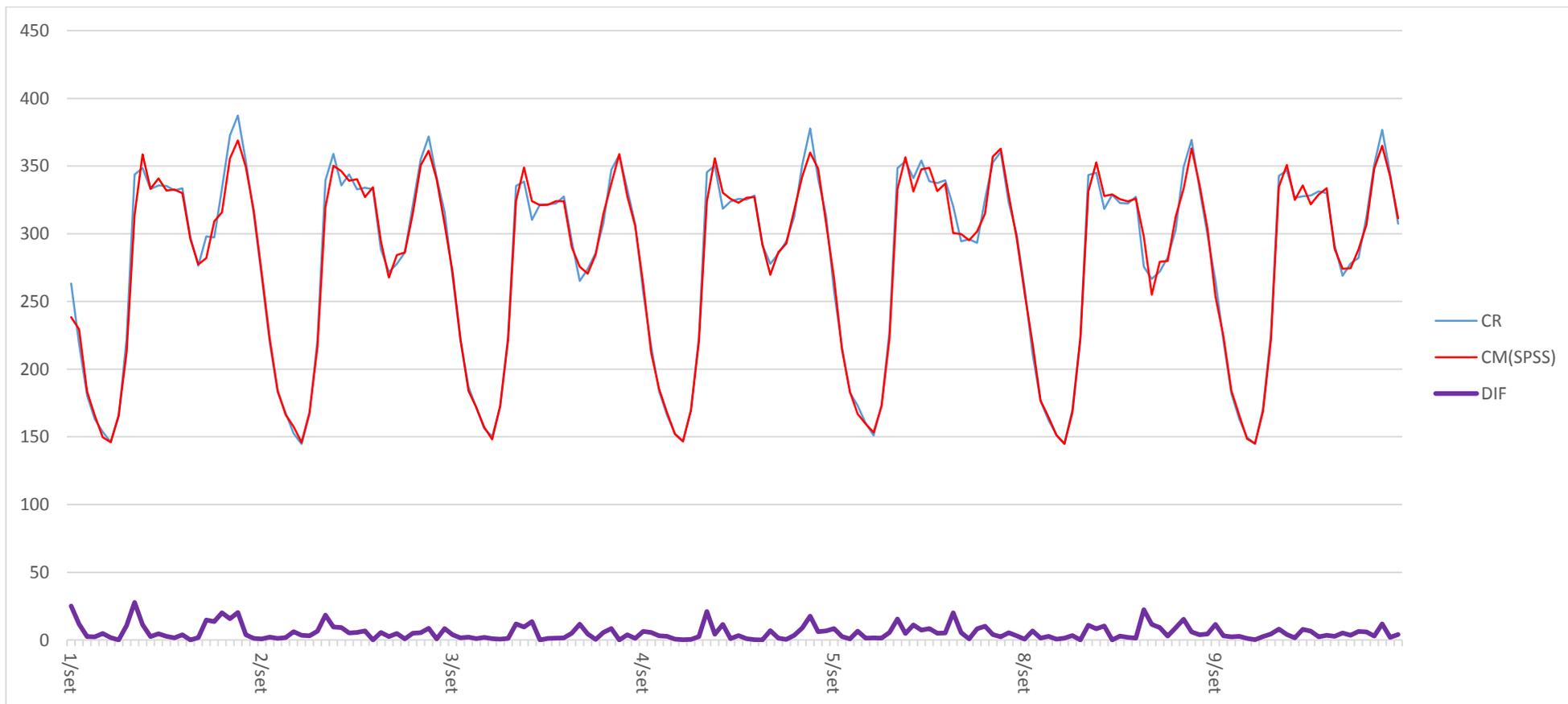


Figura 29 - Modelo 6, gráfico que relaciona CR; CM(SPSS) e Dif

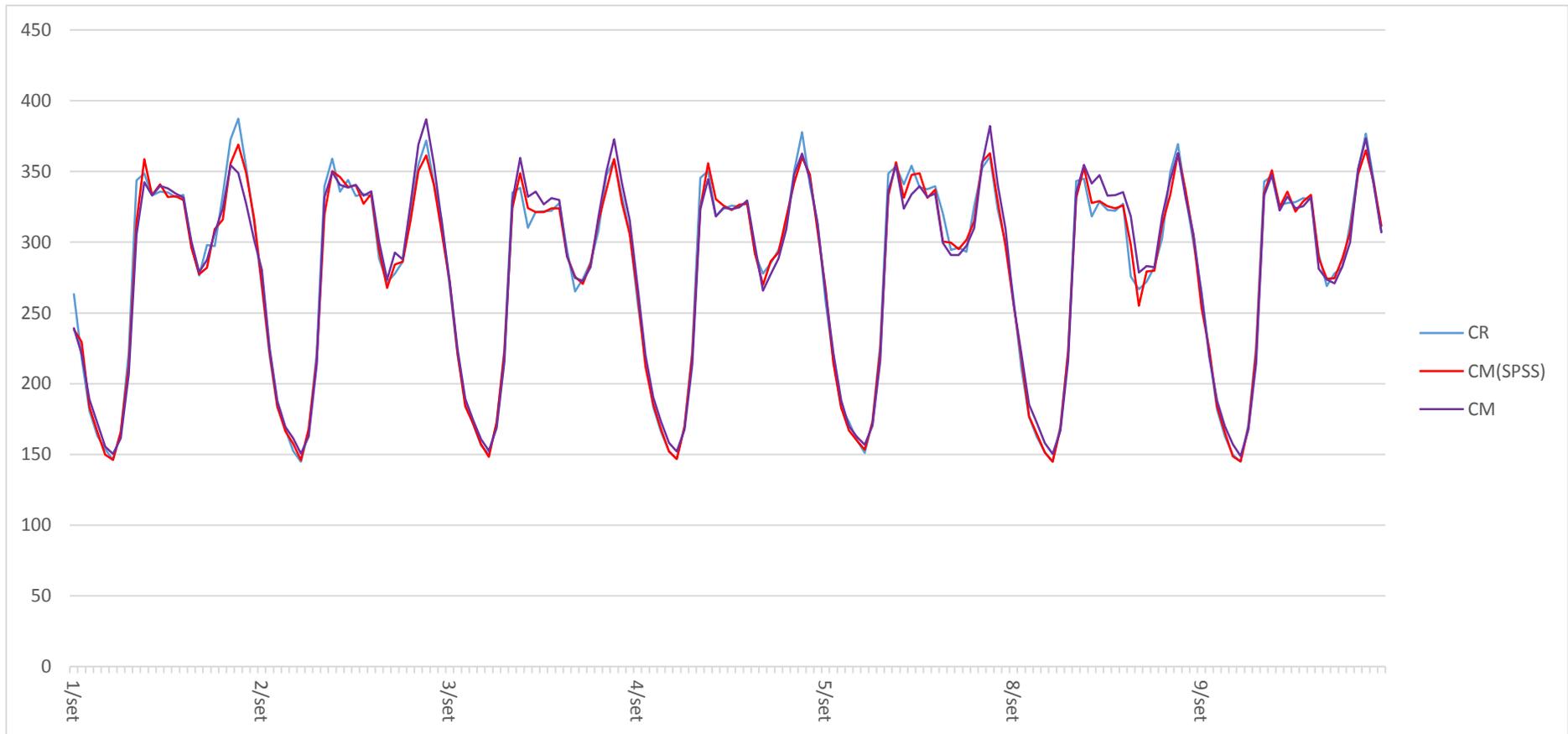


Figura 30 - Modelo 6, gráfico que relaciona CM; CM(SPSS) e CR

