

VI-049 - AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DO CONSUMO DE ÁGUA E GERAÇÃO DE EFLUENTES EM EMPRESA PETROQUÍMICA

Débora Santos Conceição⁽¹⁾

Engenheira de Produção pela Faculdade Área 1. Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial pela Escola Politécnica - Universidade Federal da Bahia (EP/UFBA).

Karla Patrícia Santos Oliveira Rodriguez Esquerre⁽²⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Mestre e Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Pós-doutora em Engenharia Sócio-Ambiental pela Hokkaido University (Hokudai, Japão). Professora do departamento de Engenharia Química e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da Escola Politécnica - Universidade Federal da Bahia (EP/UFBA).

Cléa Nobre de Oliveira⁽³⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Especialização em Gerenciamento Ambiental pela Universidade Católica de Salvador. Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo pela Universidade Federal da Bahia (UFBA).

Asher Kiperstok⁽⁴⁾

Engenheiro Civil pela TECHNION, Israel Institute of Technology. Msc. e PhD em Engenharia Química. Tecnologias Ambientais pela University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST, Inglaterra). Coordenador da Rede de Tecnologias Limpas e Minimização de Resíduos (TECLIM) e do Programa de Pós-Graduação em Produção Limpa – Departamento de Engenharia Ambiental, (EP/UFBA).

Joselito da Silva Santos⁽⁵⁾

Bacharel em Ciências Estatísticas pela Escola Superior de Estatística da Bahia (ESEB). Mestre em Engenharia de Produção Pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Doutorando em Engenharia Industrial pela Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

Endereço⁽¹⁾: Rua Aristides Novis, 2, 6º andar, DEQ - Federação - Salvador - Bahia - CEP: 40210-630 - Brasil - Tel: (71) 3283-9800 - e-mail: deborasconceicao@yahoo.com.br.

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo realizar uma avaliação de indicadores relativos de geração de efluentes e do consumo de água em relação à produção e consumo de nafta, respectivamente, em empresa petroquímica por meio de ferramentas estatísticas descritivas e de séries temporais. As ferramentas metodológicas usadas foram: análise do processo, coleta e armazenamento estruturado eletrônico de dados, proposta de indicadores, análise dos indicadores com técnicas estatísticas e desenvolvimento de modelos de séries temporais. O esperado é que os indicadores propostos possam ser utilizados como ferramenta de apoio de operadores e gerentes da indústria petroquímica na diminuição do consumo de água e geração de efluentes.

PALAVRAS-CHAVE: Indicadores, Desempenho Ambiental, Consumo de Água, Efluentes, Série Temporal.

INTRODUÇÃO

Atualmente as empresas estão preocupadas em avaliar o seu desempenho ambiental devido à pressão da sociedade e da legislação ambiental. De acordo (TSOULFAS e PAPPIS, 2008), as empresas podem ter vários motivos para realizar a medição do seu desempenho ambiental. Com base em tais medições eles podem identificar e priorizar oportunidades de melhoria que não só pode levar à redução dos impactos ambientais associados as suas atividades, mas também à significativa economia de recursos e uma melhor coordenação e cooperação em toda a empresa.

Para medir o seu desempenho ambiental, as empresas utilizam indicadores que, segundo (CAMPOS e MEURER, 2007), são ferramentas utilizadas para a organização monitorar determinados processos (geralmente os denominados críticos) quanto ao alcance ou não de uma meta ou padrão mínimo de desempenho estabelecido. Visando correções de possíveis desvios identificados a partir do acompanhamento de dados, busca-se a identificação das causas prováveis do não cumprimento de determinada meta e propostas de ação para melhoria do processo. Para garantir o sucesso nos resultados visando uma maior competitividade, é imprescindível que as empresas monitorem continuamente os indicadores de desempenho ambiental.

Os indicadores podem servir como mais um instrumento no equacionamento dos desafios impostos na busca do desenvolvimento sustentável, e refletem as práticas adotadas pelas companhias para assegurarem menos desperdícios, racionalização dos processos produtivos, ao mesmo tempo em que geram mais valor e conseqüentemente mais riqueza e mais lucro (SILVA e COSTA, 2009).

Neste artigo são apresentados resultados da avaliação de indicadores relativos de geração de efluentes e do consumo de água em relação à produção e consumo de nafta, respectivamente, em empresa petroquímica por meio de ferramentas estatísticas descritivas e de séries temporais. A empresa petroquímica em estudo possui um complexo industrial de grande porte, que faz uso da água no seu processo de produção. A água é captada de três mananciais. A Empresa conta com unidades de tratamento de água e de tratamento de efluentes.

ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo (MORETTIN e TOLOI 2006), uma série temporal é qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo, cujos principais objetivos são: descrever o comportamento, verificando a existência de tendência e variações sazonais, investigar o mecanismo gerador de dados e fazer previsões de valores futuros.

Na análise de séries temporais se faz necessário identificar informações importantes que contribuam para o alcance dos objetivos. O primeiro passo a ser seguido é a construção do gráfico dos dados ao longo do tempo, pois ele é uma técnica estatística descritiva que mostra padrões de comportamentos importantes. Outra ferramenta descritiva é a decomposição clássica da série que consiste em escrever Z_t como soma de três componentes não-observáveis, sendo representada pela equação (1):

$$Z_t = T_t + S_t + a_t \quad \text{equação (1)}$$

onde Z_t é a série temporal, T_t é a componente de tendência, S_t é a componente sazonal e a_t é uma componente aleatória.

Série temporal com tendência apresenta um crescimento ou decrescimento ao longo do tempo. Em muitas situações é necessário removê-la para que a série se torne estacionária, ou seja, que ela se desenvolva aleatoriamente em torno de uma média constante refletindo alguma forma de equilíbrio estável. Um procedimento utilizado para tornar a série estacionária é a diferenciação, que consiste em tomar diferença até que a série se torne estacionária. A primeira diferença da série é definida pela equação (2):

$$\Delta Z_t = Z_t - Z_{t-1} \quad \text{equação (2)}$$

Normalmente uma ou duas diferenças são suficientes para tornar a série estacionária.

A componente sazonalidade (S_t) é definida como um comportamento que a série pode repetir a cada t períodos de tempo e a componentes aleatórias (a_t) é o resultado da diferença entre a série temporal e a soma da tendência e da sazonalidade, é classificado como uma irregularidade que ocorre na série temporal.

Os gráficos de correlograma é outra ferramenta importante para identificar as propriedades da série. Para (GOMES, 2003), o gráfico de autocorrelação amostral pode definir a ordem de um processo MA (q), para isto é necessário que haja um corte no ponto q na função de autocorrelação amostral, o que é equivalente a todas as autocorrelações permanecerem dentro do intervalo assintótico de $(-2/\sqrt{T}, 2/\sqrt{T})$ a partir desse ponto. O gráfico de autocorrelações parcial é necessário que além do corte ocorra um padrão crescente ou decrescente para que um processo AR(p) seja utilizado.

Um dos objetivos da análise de série temporal é realizar previsões de valores futuros. Para isso, são utilizados os métodos de previsão que se baseiam na idéia de que observações passadas contêm informações sobre o padrão de comportamento da série temporal. O propósito dos métodos é distinguir o padrão de quaisquer ruídos que possam está contido nas observações e então usar esse padrão para prever valores futuros da série. A suavização exponencial é um método de previsão que trata ambos os aspectos.

O método de previsão mais adequado para série sazonal é o Alisamento Exponencial Holt-Winters (HW), pois permite incorporar padrões sazonais na série. Essas previsões podem ser realizadas por duas formas: multiplicativa e aditiva.

Considere uma série sazonal com períodos s . A forma multiplicativa considera o fator sazonal F_t sendo multiplicativo e, enquanto que a tendência permanece aditiva. As três equações de suavização são dadas pelas equações (3 a 5):

$$N_t = \alpha(y_t/F_{t-1}) + (1-\alpha)(N_{t-1} + T_{t-1}), \quad 0 < \alpha < 1 \quad \text{equação (3)}$$

$$T_t = \beta(N_t - N_{t-1}) + (1-\beta)(T_{t-1}), \quad 0 < \beta < 1 \quad \text{equação (4)}$$

$$F_t = \gamma(y_t/N_t) + (1-\gamma)F_{t-s}, \quad 0 < \gamma < 1 \quad \text{equação (5)}$$

onde N_t , T_t e F_t representam estimativas do nível, da tendência e do fator sazonal respectivamente: α , β e γ são as constantes de suavização.

As previsões dos valores futuros da série são obtidas através das seguintes equações (6 e 7):

$$\hat{y}_t(h) = (N_t + hT_t) F_{t+h-s}, \quad h = 1, 2, \dots, s, \quad \text{equação (6)}$$

$$\hat{y}_t(h) = (N_t + hT_t) F_{t+h-2s}, \quad h = s+1, s+2, \dots, 2s, \quad \text{equação (7)}$$

Na forma aditiva, o procedimento anterior pode ser modificado para tratar com situações onde o fator sazonal é aditivo. As estimativas do nível, tendência e fator sazonal são dadas pelas equações (8 e 10):

$$N_t = \alpha(y_t - F_{t-1}) + (1-\alpha)(N_{t-1} + T_{t-1}), \quad 0 < \alpha < 1 \quad \text{equação (8)}$$

$$T_t = \beta(N_t - N_{t-1}) + (1-\beta)(T_{t-1}), \quad 0 < \beta < 1 \quad \text{equação (9)}$$

$$F_t = \gamma(y_t - N_t) + (1-\gamma)F_{t-s}, \quad 0 < \gamma < 1 \quad \text{equação (10)}$$

Os valores futuros são previstos a partir das equações (11 e 12)

$$\hat{y}_t(h) = N_t + hT_t + F_{t+h-s}, \quad h = 1, 2, \dots, s, \quad \text{equação (11)}$$

$$\hat{y}_t(h) = N_t + hT_t + F_{t+h-2s}, \quad h = s+1, s+2, \dots, 2s, \quad \text{equação (12)}$$

A abordagem de Box-Jenkins que consiste em ajustar modelos auto-regressivos integrados de médias móveis, ARIMA (p,d,q), a um conjunto de dados. Para construção do modelo segue quatro estágios: (1) considerar uma classe de modelo para análise; (2) identificação de um modelo com base nos critérios específicos, (3) estimativa dos parâmetros do modelo; (4) verificação ou diagnóstico do modelo ajustado, através de uma análise dos resíduos, para saber se este é adequado. Caso o modelo não seja adequado reinicia-se o processo, voltando à fase de identificação.

Quando a série apresenta sazonalidade, é necessário ajustar a série original a um modelo ARIMA sazonal – SARIMA (p,d,q) x (P,D,Q). O desenvolvimento matemático dos modelos pode ser encontrado em (MORETIN e TOLOI, 2006).

METODOLOGIA

Os indicadores relativos são ferramentas que demonstram o desempenho ambiental da organização em relação a sua capacidade produtiva, por essa razão foram propostos dois indicadores ambientais relativos: consumo de água por carga processada e geração de efluentes por carga processada, com o objetivo de avaliar o desempenho ambiental da Empresa em relação a sua produção.

Dados históricos de março de 2006 a outubro de 2011 foram coletados. Para avaliar a capacidade preditiva dos modelos construídos, o erro quadrático médio e erro total foram utilizados. Esses erros são medidas de precisão que verifica se os modelos estão representando realmente os dados, quanto menor esses erros, melhor o desempenho do modelo.

Para verificar se os modelos são adequados para representar os dados foi realizada a análise de diagnóstico da série onde os gráficos dos resíduos devem mostrar que eles estão não correlacionados e os valores de p -valor para os testes de Ljung-Box devem estar acima de 0,05, para que não haja evidências para rejeitar a hipótese que o modelo está bem especificado (GOMES, 2003).

Para ambos indicadores, o tratamento estatístico foi realizado usando-se o software comercial R.

- **INDICADOR DE GERAÇÃO DE EFLUENTES**

Foram levantados dados de geração de efluentes de um período de cinco anos. Estes dados foram estruturados em meio eletrônico por meio do programa Excel. Inicialmente, foi realizado acompanhamento diário dos dados de geração de efluentes para melhor entendimento dos perfis de variação e levantamento de suas causas. Foi então construído um indicador que relaciona esta variável com a produção mensal. Séries temporais foram finalmente construídas e realizadas as análises exploratórias dos dados e modelos de previsões pelos métodos de alisamento exponencial de Holt-Winters Aditivo e Multiplicativo e por modelo ARIMA sazonal (SARIMA).

- **INDICADOR DE CONSUMO DE ÁGUA**

O consumo de água total da Empresa foi avaliado considerando uma série histórica de cinco anos. Estes dados foram estruturados em meio eletrônico por meio do programa Excel. Assim como no estudo dos efluentes, foi realizado acompanhamento diário dos dados de consumo de água para melhor entendimento dos perfis de variação e levantamento de suas causas. Foi então construído um indicador que relaciona esta variável com a produção mensal. Nas séries temporais que foram construídas foram realizadas a análise exploratória dos dados e modelos de previsões pelos métodos de alisamento exponencial de Holt-Winters Aditivo e Multiplicativo e por modelo ARIMA sazonal (SARIMA).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante análise do processo foi verificado que durante as paradas operacionais há aumento no consumo de água e na geração de efluentes, devido ao condicionamento de unidades novas e lavagem dos equipamentos. Essas paradas operacionais influenciam também na carga processada, pois quando as unidades que são responsáveis pela produção param os valores da carga processada diminuem, justificando assim alguns picos no indicador. A precipitação é outro evento levantado que pode afetar o aumento da geração de efluentes, pois o aumento da vazão das chuvas contribui para o aumento da vazão dos efluentes.

- **INDICADOR DE GERAÇÃO DE EFLUENTES**

Para construção do gráfico de série temporal foram utilizados dados mensais dos indicadores da vazão de efluentes (m^3/h) por carga processada (m^3/h) do período de março de 2006 a dezembro de 2010, no totalizando 58 dados. A figura 1 mostra o gráfico da série temporal desse indicador ao longo do tempo, observam-se as componentes de tendência e sazonalidade.

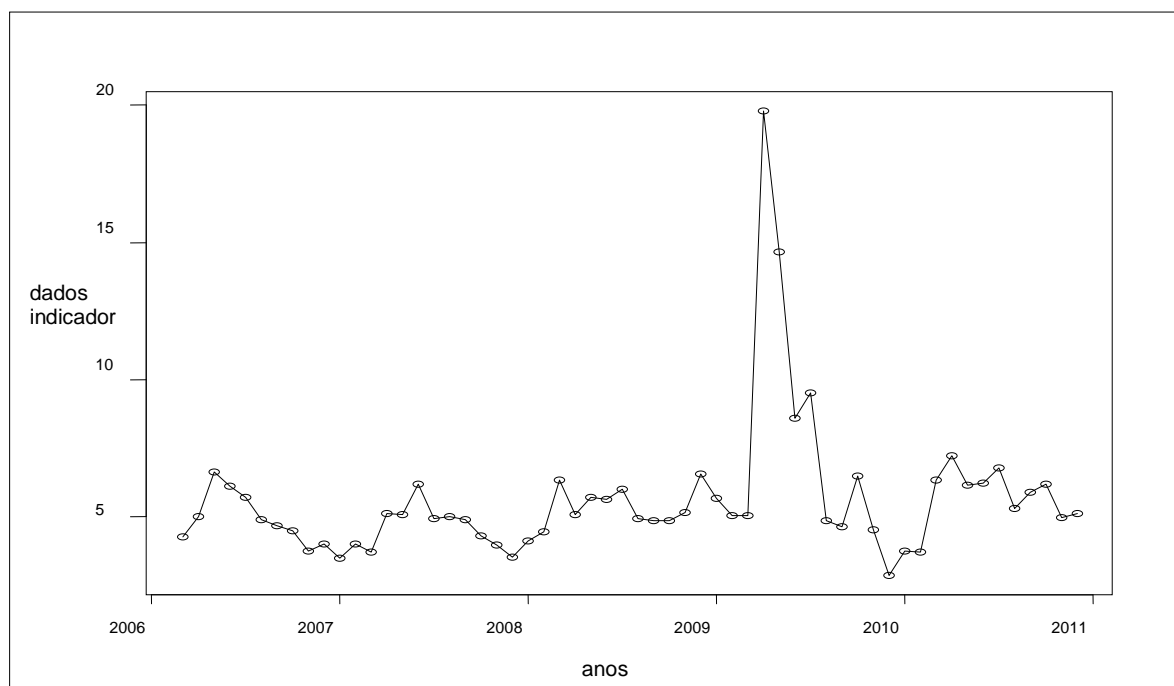


Figura 1: Gráfico de série temporal do indicador de vazão de efluentes (m^3/h) por carga processada (m^3/h).

Na análise exploratória dos dados da série temporal verifica-se um pico que pode está relacionado a uma parada operacional de uma ou mais unidades de processo. Em paradas operacionais pode ser necessário utilizar água para condicionamento de unidades e manutenção de equipamentos acarretando em um maior consumo de água e, conseqüentemente, maior geração de efluentes. A média do indicador foi 5,63 e o desvio padrão 2,56. O maior valor do indicador foi 19,82, que corresponde ao mês de abril de 2009 e o menor valor do indicador apresentado foi 2,85, referente ao mês de dezembro de 2009.

Figura 2 é o gráfico de decomposição da série. No gráfico 2 (a) são apresentados os dados originais. No gráfico 2 (b) verifica-se que a série tem a tendência cresce e decresce ao longo do tempo. O gráfico 2 (c) a flutuação sazonal ocorre entre o quarto mês ou sexto mês de cada ano. O gráfico 2 (d) dos resíduos, mostra um pico no ano de 2009, que pode está relacionado com a parada operacional em unidade importante de produção, acarretando uma diminuição no valor de carga processada.

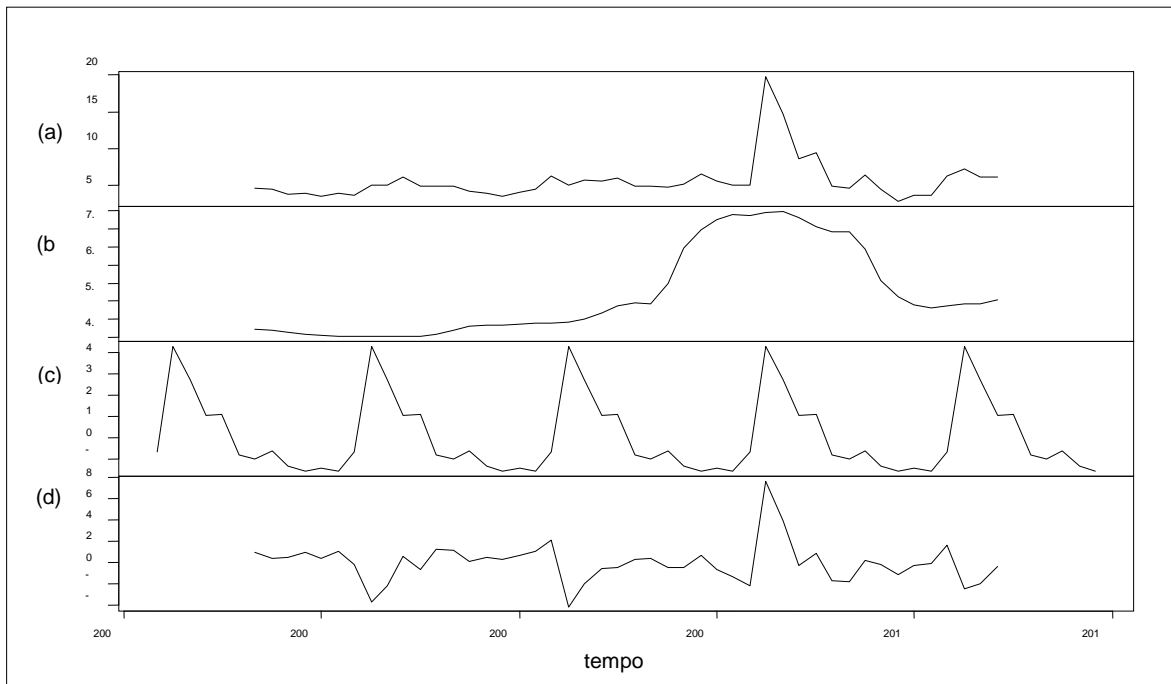


Figura 2: Decomposição da série temporal do indicador de vazão de efluentes (m^3/h) por carga processada (m^3/h) em componentes da sazonalidade, tendência e resíduos ao longo do tempo.

Na figura 3 mostra o gráfico da diferenciação da série temporal do indicador. Verificou-se que a série tornou-se estacionária após a primeira diferença.

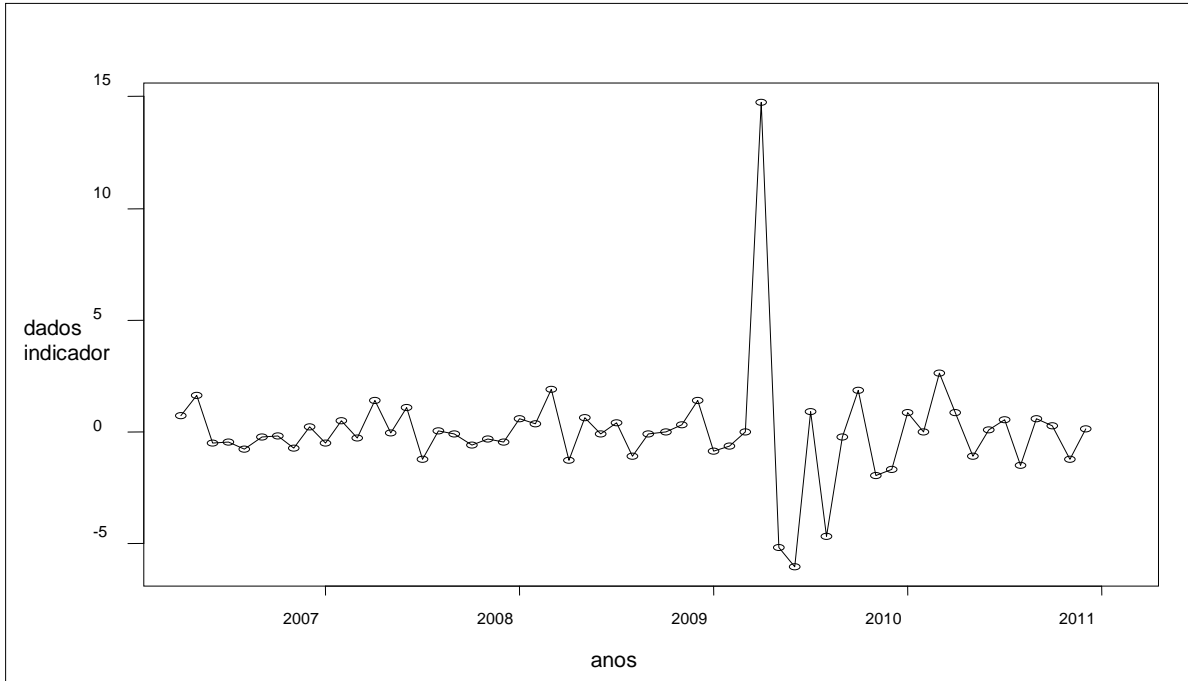


Figura 3: Série temporal do indicador de vazão de efluentes (m^3/h) por carga processada (m^3/h) após uma diferenciação.

Na figura 4 mostra o gráfico da autocorrelação da série diferença, verifica-se que a série não precisará ser diferenciada pela segunda vez, a primeira diferença foi suficiente. No correlograma da série (Figura 6) é possível verifica tendência e flutuações sazonais e que a série segue um modelo MA (1), pois as primeiras defasagens caíram para zero.

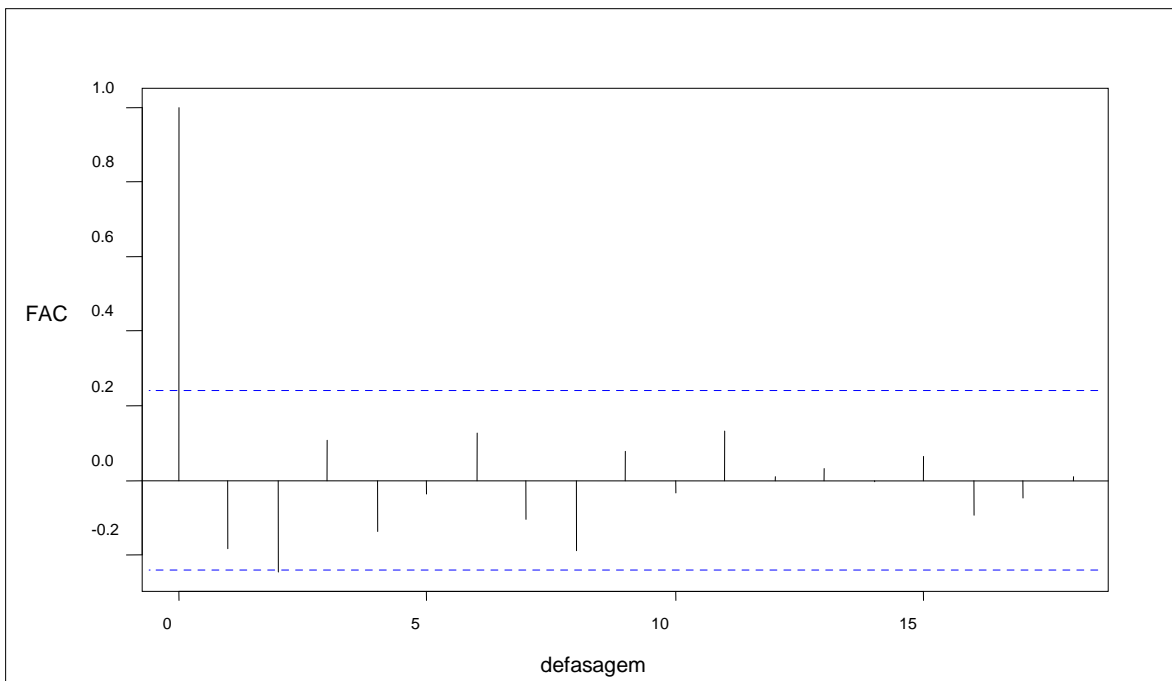


Figura 4: Gráfico da função da autocorrelação amostral da primeira diferença da série temporal do indicador de vazão de efluentes (m^3/h) por carga processada (m^3/h).

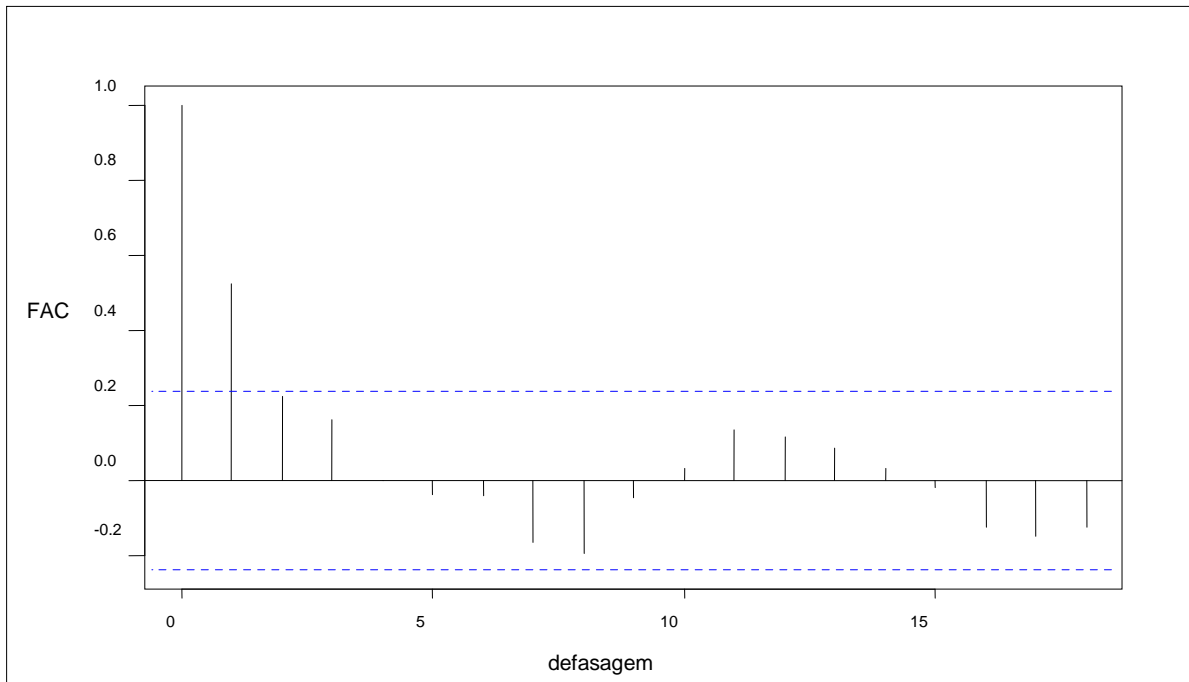


Figura 5: Gráfico da função da autocorrelação amostral da série temporal do indicador de vazão de efluentes (m³/h) por carga processada (m³/h).

O gráfico de autocorrelação parcial apresentado na figura 6 mostra que apesar de todas as correlações estarem dentro do intervalo de $(-2/\sqrt{T}, 2/\sqrt{T})$, não existe um padrão crescente e nem decrescente para se concluir que a série segue um modelo AR (p).

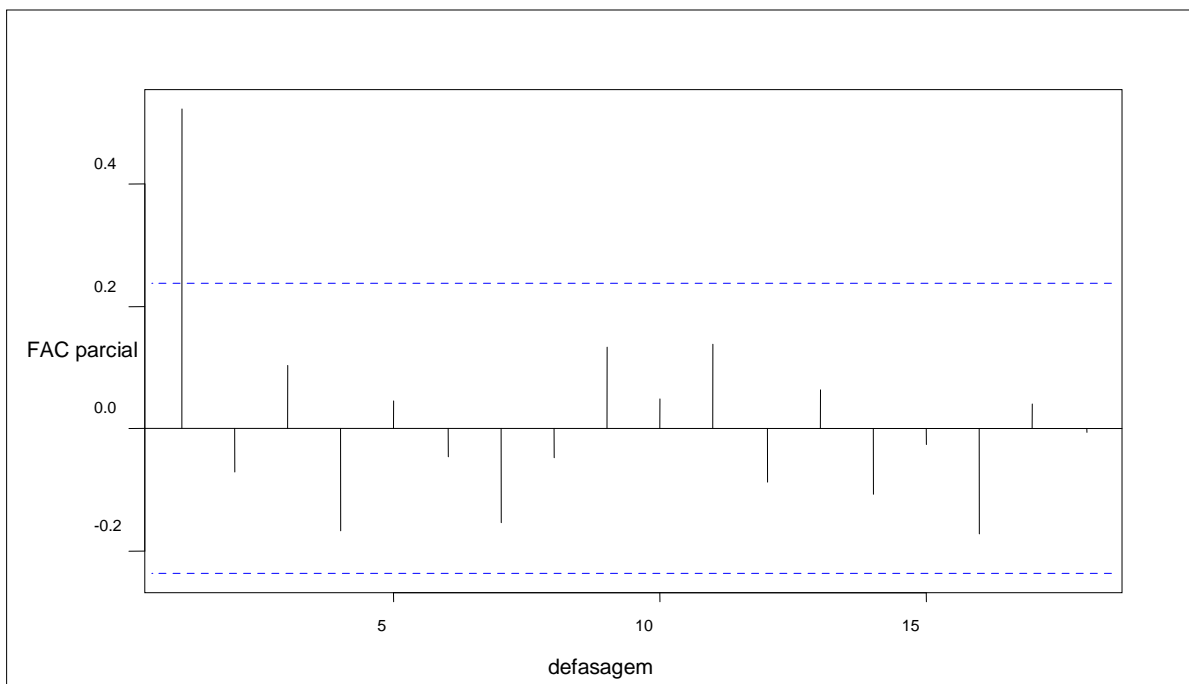
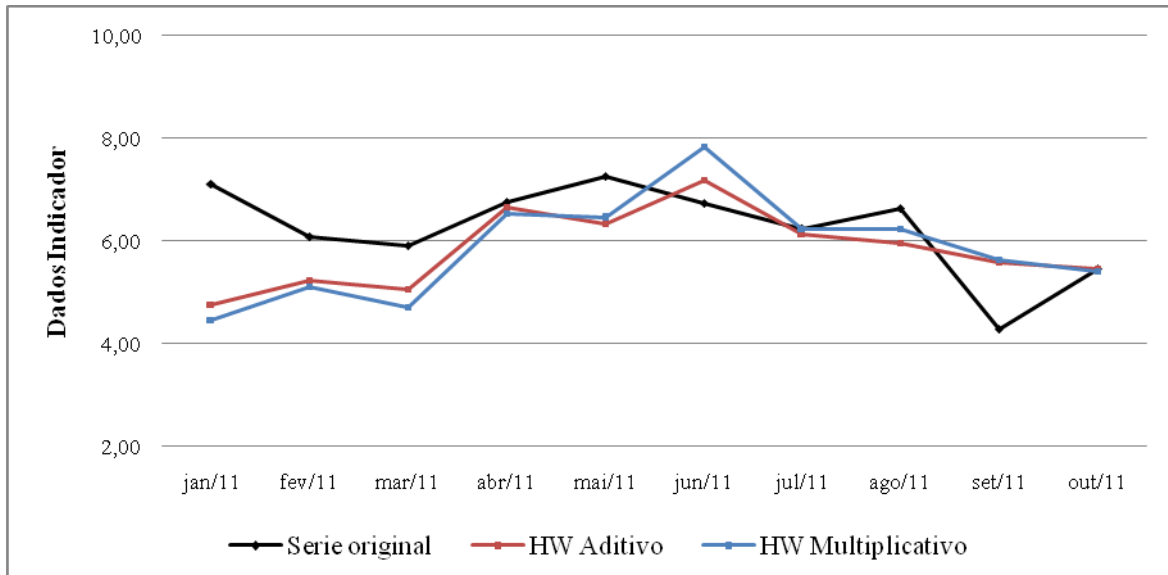


Figura 6: Gráfico da função da autocorrelação parcial da série temporal do indicador de vazão de efluentes (m³/h) por carga processada (m³/h).

No programa R foram calculados as três constantes de suavização do método de Holt-Winters multiplicativo que apresentaram valores, $\alpha = 0,21893510$, $\beta = 0$ e $\gamma = 0$. Para o método aditivo os valores das constantes foram, $\alpha = 0,42030333$, $\beta = 0$ e $\gamma = 0,4162996$.

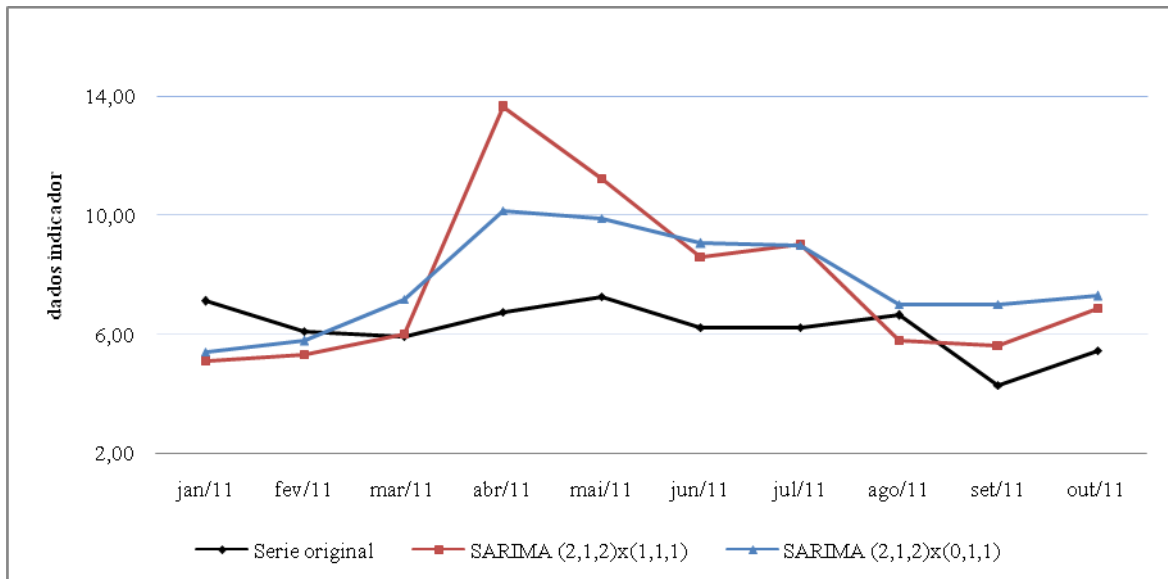
Na figura 7 mostra o gráfico dos dados originais da série do indicador de efluentes (m^3/h) por carga processada (m^3/h) e das previsões 10 passos à frente dos métodos de Holt-Winters aditivo e multiplicativo do período de janeiro a outubro de 2011. Observa-se que em alguns períodos a exemplo, nos meses de janeiro a março de 2011, as previsões de ambos os métodos foram maiores que o valor da série, em contrapartida os meses de junho e setembro as previsões foram menores.



Na figura 7: Gráfico dos dados originais da série do indicador de efluentes (m^3/h) por carga processada (m^3/h) e das previsões 10 passos à frente dos métodos de Holt-Winters aditivo e multiplicativo

Observou-se que o método de Holt-Winters aditivo foi superior em relação ao aditivo, pois apresentou menor erro quadrático médio= 1,01, enquanto que método multiplicativo=1,32. Levando em consideração o erro total o método multiplicativo apresentou melhor capacidade preditiva, pois apresentou menor valor = 3,87, enquanto que o método aditivo foi igual a 4,09.

Na figura 8 mostra o gráfico dos dados originais da série do indicador de efluentes (m^3/h) por carga processada (m^3/h) e das previsões 10 passos à frente dos métodos de SARIMA (2,1,2)X(1,1,1) e SARIMA (2,1,2)X(0,1,1) do período de janeiro a outubro de 2011. Verifica-se que o modelo SARIMA (2,1,2)X(1,1,1) no mês de abril de 2011 apresentou uma previsão muito alta em relação a série original. As previsões de ambos os métodos nos outros meses foram maiores em relação ao valor da série temporal do indicador.



Na figura 8: Gráfico dos dados originais da série do indicador de efluentes (m^3/h) por carga processada (m^3/h) e das previsões 10 passos à frente dos métodos SARIMA (2,1,2)X(1,1,1) e SARIMA (2,1,2)x(0,1,1)

De acordo com as medidas de precisão, o modelo SARIMA (2,1,2)x(0,1,1) teve uma maior habilidade preditiva em comparação com o modelo SARIMA (2,1,2)x(1,1,1), pois apresentou menor valor de erro quadrático médio, 4,95 e 8,56, respectivamente. Em relação ao erro total, o modelo SARIMA (2,1,2)x(1,1,1) foi um pouco melhor, apresentando valor de -15,19, enquanto que o modelo SARIMA (2,1,2)x(0,1,1) teve um erro total de -15,75.

Para ambos os modelos foi realizado a análise de diagnóstico que verifica se o modelo realmente representa os dados da série. Na figura 9 mostra o gráfico de diagnóstico do modelo SARIMA (2,1,2)x(0,1,1), verifica-se que nos dois primeiros gráficos os resíduos estão não correlacionados e no terceiro gráfico os valores do *p*-valor estão acima de 0,05, significado que não há razão para rejeita a hipótese que os modelos estão bem especificados. O modelo SARIMA (2,1,2)x(1,1,1) apresentado na figura 10, segundo a análise de diagnóstico mostra-se também adequado para representar os dados.

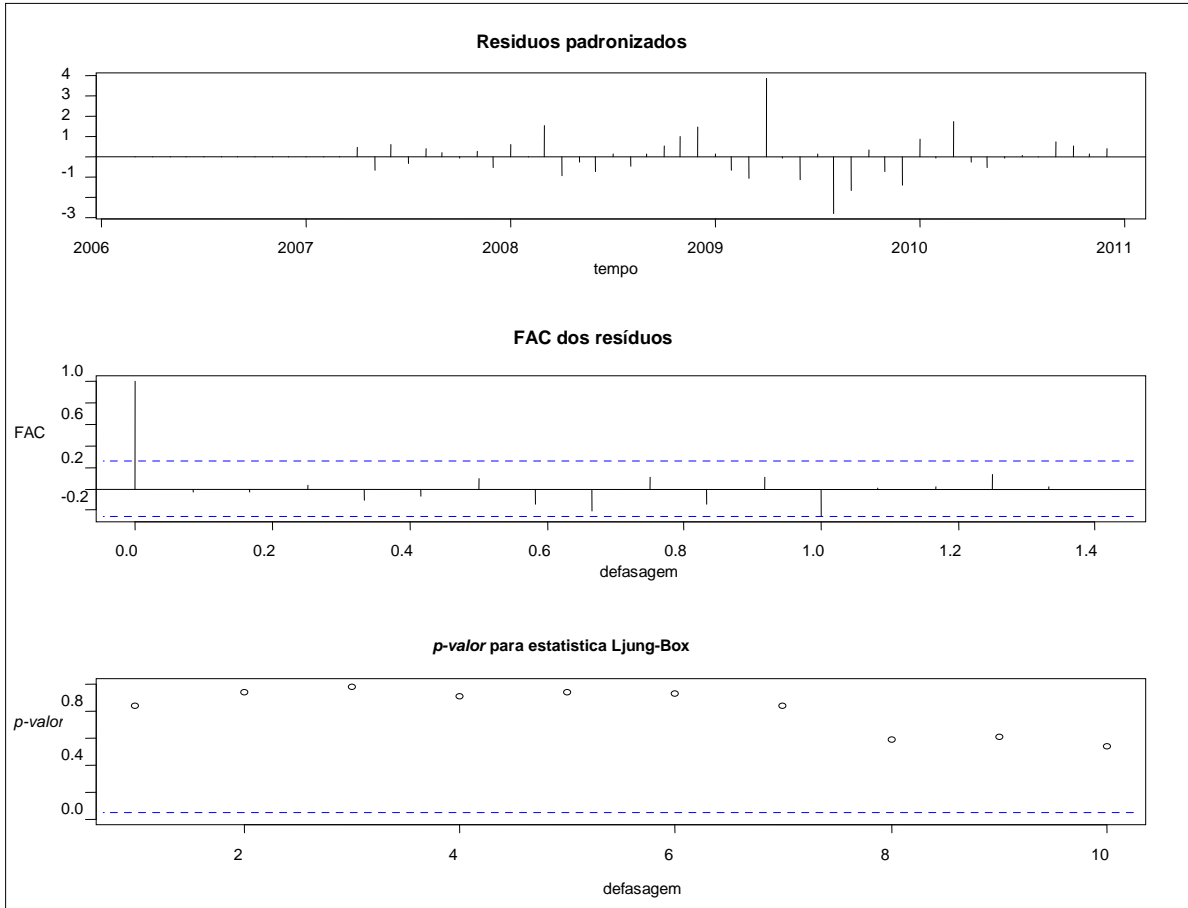


Figura 9: Gráfico da análise de diagnóstico do modelo SARIMA (2,1,2)x(0,1,1) para a série temporal do indicador vazão de efluentes (m³/h) por carga processada (m³/h).

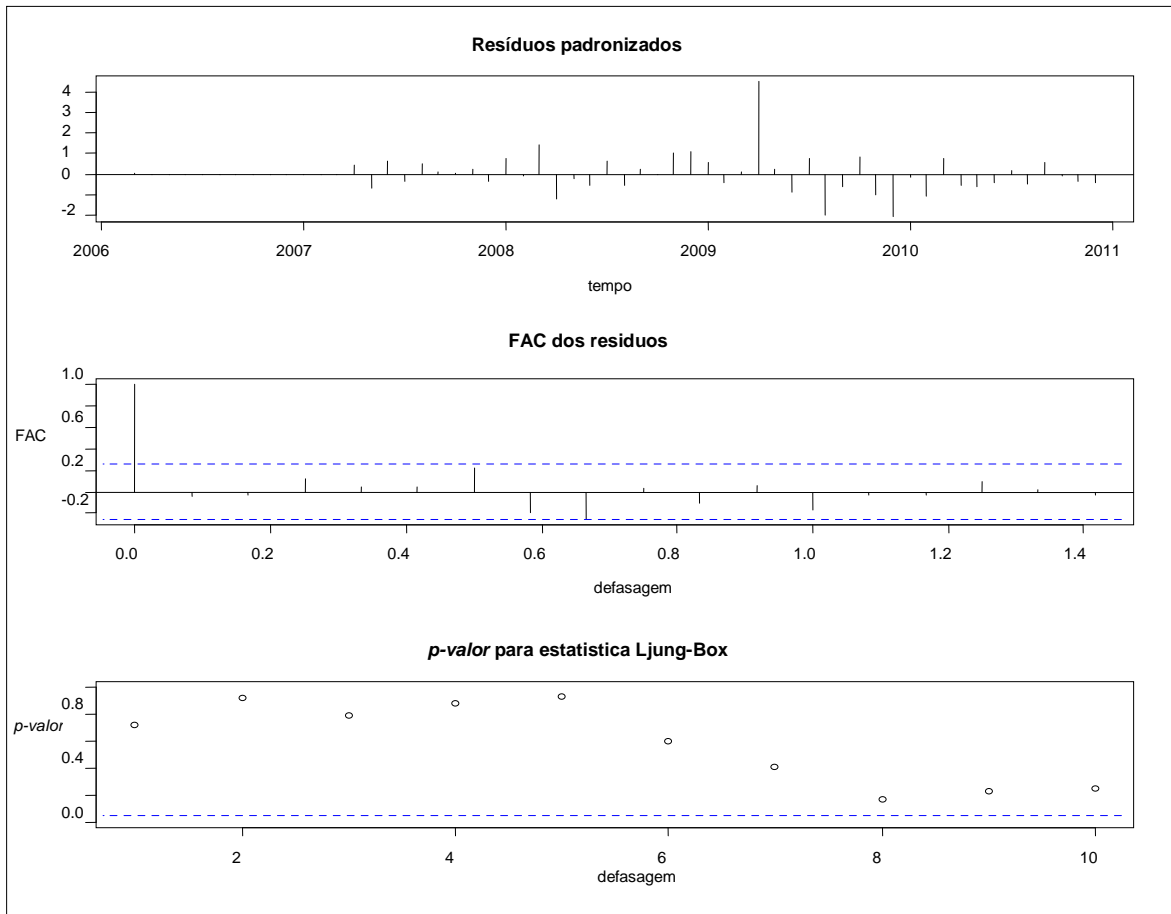


Figura 10: Gráfico da análise de diagnóstico do modelo SARIMA (2,1,2)x(1,1,1) para a série temporal do indicador vazão de efluentes (m³/h) por carga processada (m³/h).

- **INDICADOR DE CONSUMO DE ÁGUA**

Para construção do gráfico de série temporal foram utilizados dados mensais dos indicadores da vazão de água (m³/h) por carga processada (m³/h) do período de março de 2006 a outubro de 2010, no totalizando de 56 dados.

Na figura 11 observa-se que a série temporal do indicador de vazão de água (m³/h) por carga processada (m³/h), apresenta indícios de sazonalidade e tendências. A média amostral do indicador é 11,91 com desvio padrão de 4,04. O maior valor observado foi 28,70 que corresponde ao período de abril de 2009, esse pico pode estar correlacionado com as paradas operacionais que ocorreram em uma unidade que impacta diretamente na carga processada e no consumo de água. O menor valor o indicador foi de 6,74.

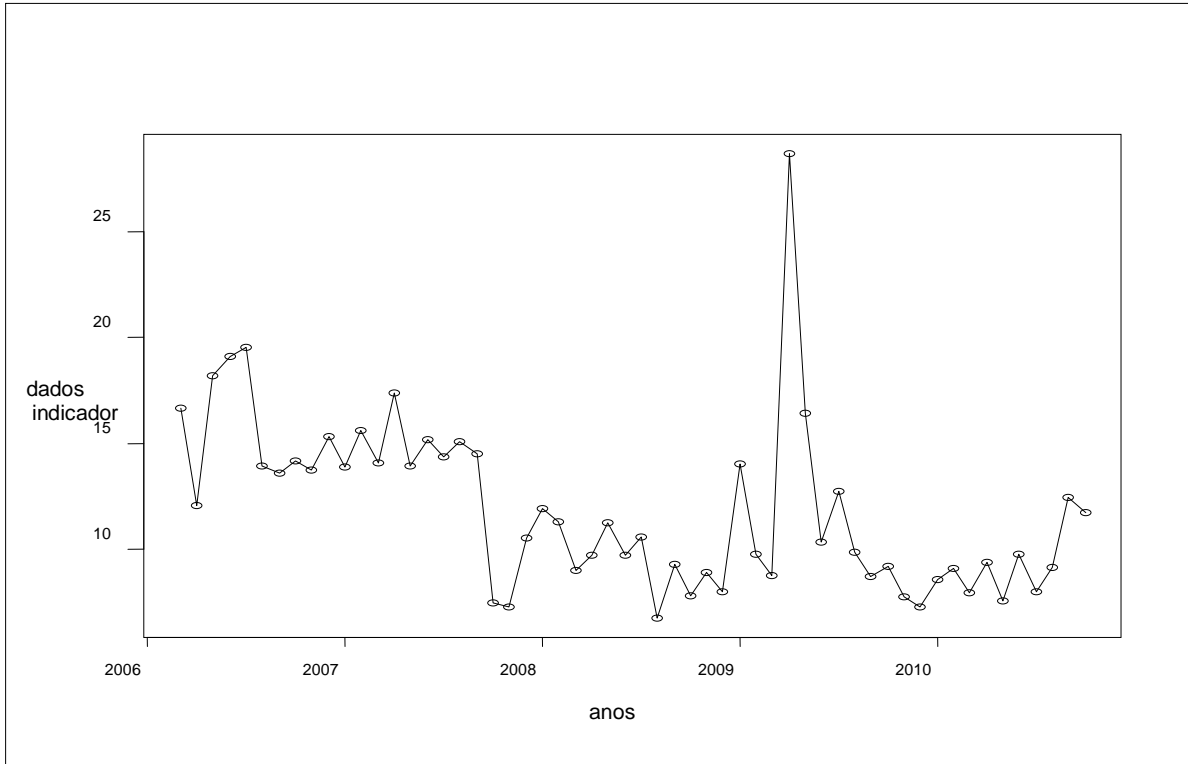


Figura 11: Série temporal do indicador da vazão de água (m³/h) por carga processada (m³/h).

O gráfico de decomposição da série do indicador é apresentado na figura 12. O gráfico 12 (a) mostra a série original. No gráfico 12 (b) verifica-se que a série tem uma tendência decrescente. O gráfico 12 (c) sugere que ocorre um pico no quarto mês do ano e no último gráfico 12 (d) observa-se um pico no ano de 2009 que assim como no indicador de efluentes deve está relacionado a uma parada operacional que ocorreu neste período, afetando na diminuição da carga processada e aumento do consumo de água e na geração de efluentes.

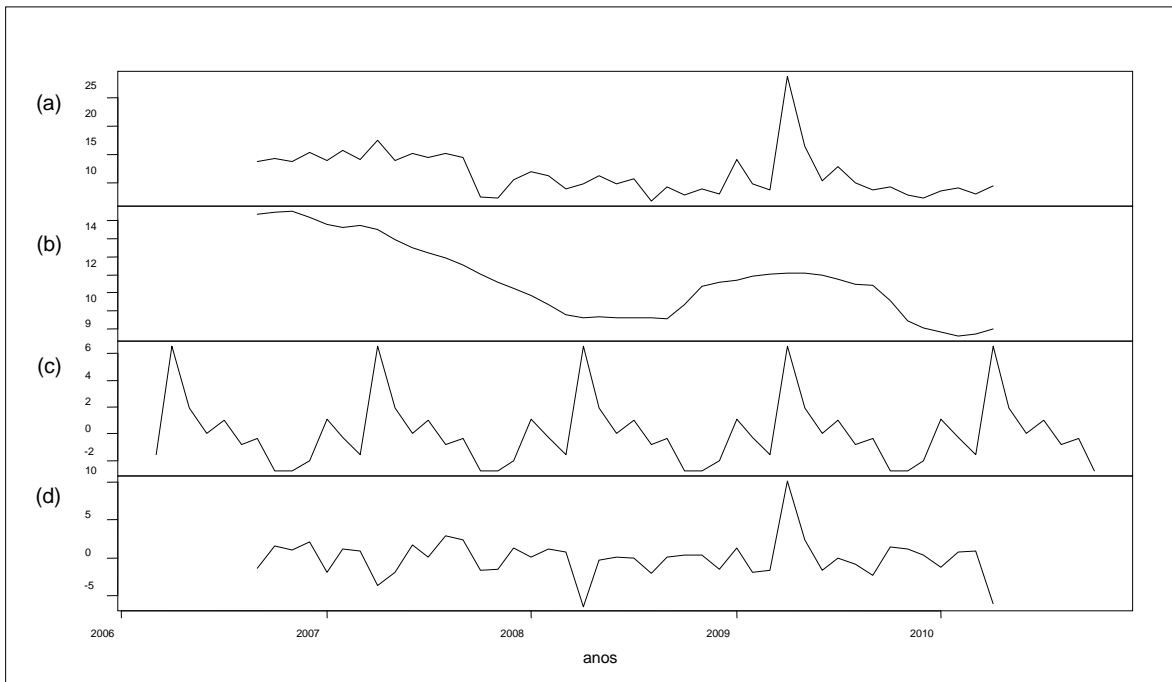


Figura 12: Decomposição da série do indicador da vazão de água (m³/h) por carga processada (m³/h) em componentes da sazonalidade, tendência e resíduos ao longo do tempo.

Após a primeira diferença verificou-se que a série do indicador ficou estacionária como mostra a figura 13.

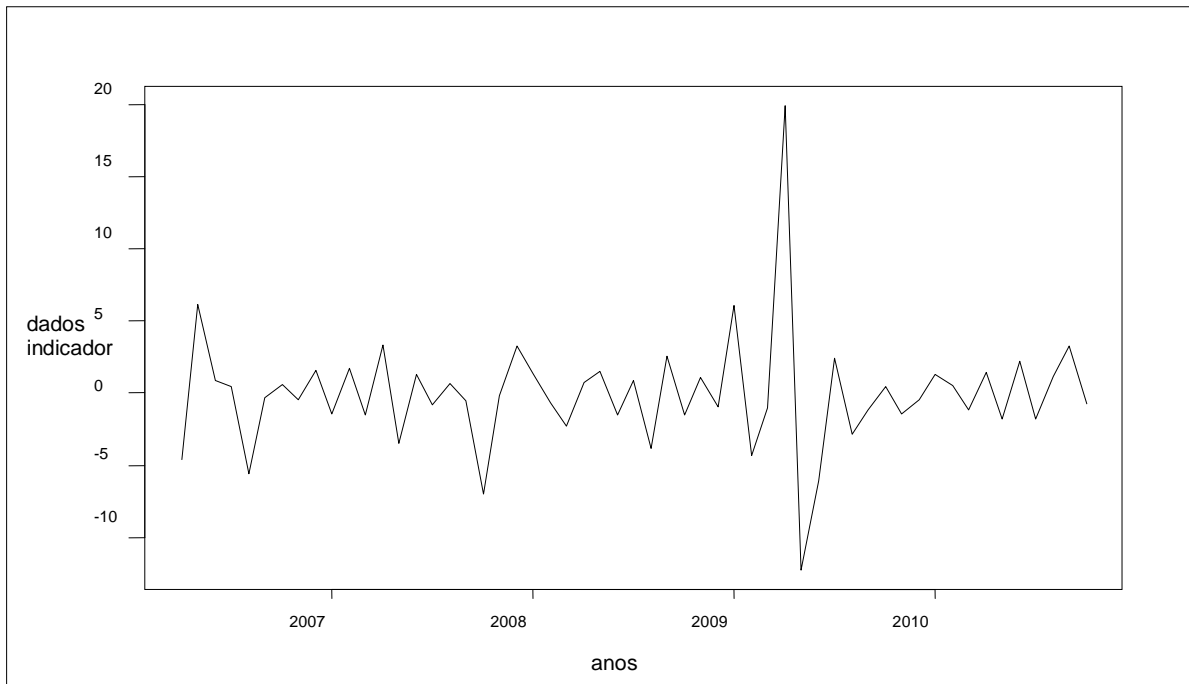


Figura 13: Série temporal do indicador de vazão de água (m^3/h) por carga processada (m^3/h) após uma diferenciação.

Assim como no indicador de efluentes foi analisado o correlograma da série original (Figura 14), observa-se que a presença de tendência e que a série temporal do indicador não segue um modelo MA (q), pois a defasagem 2 e 3 estão fora do intervalo mencionado anteriormente. O gráfico da primeira diferença também foi construído (Figura 15).

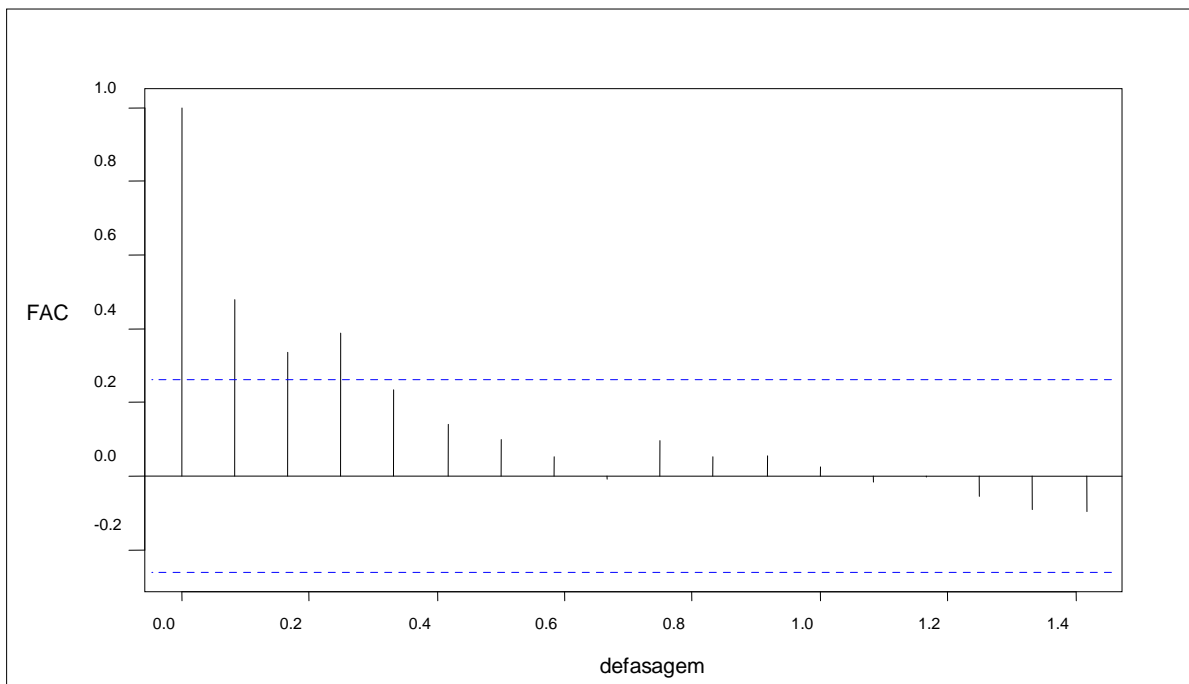


Figura 14: Gráfico da função da autocorrelação amostral da série temporal do indicador de vazão de água (m^3/h) por carga processada (m^3/h).

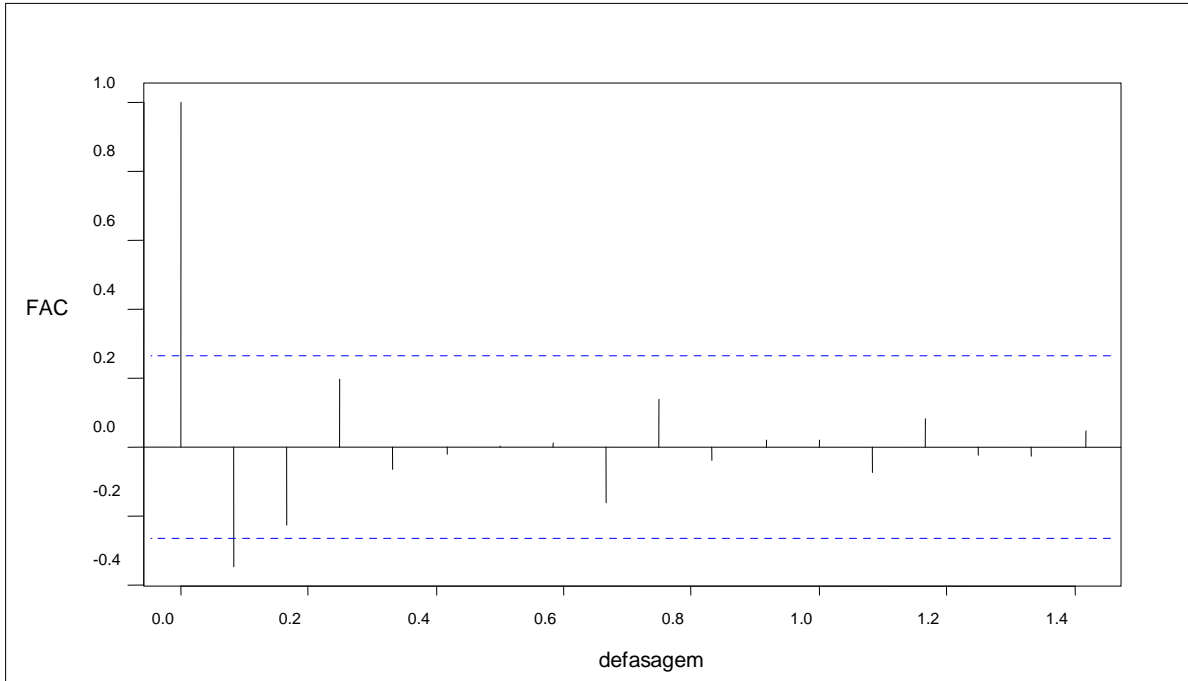


Figura 15: Gráfico da função da autocorrelação amostral da primeira diferença da série temporal do indicador de vazão de água (m^3/h) por carga processada (m^3/h).

Assim como no gráfico correlograma parcial do indicador de efluentes, o gráfico da correlograma parcial da série do indicador de água (Figura 16) mostra que apesar de todas as correlações estarem dentro do intervalo de (-0,2 a 0,2), a série não segue um modelo $\text{AR}(p)$ por não existe um padrão, as defasagens estão aleatórias.

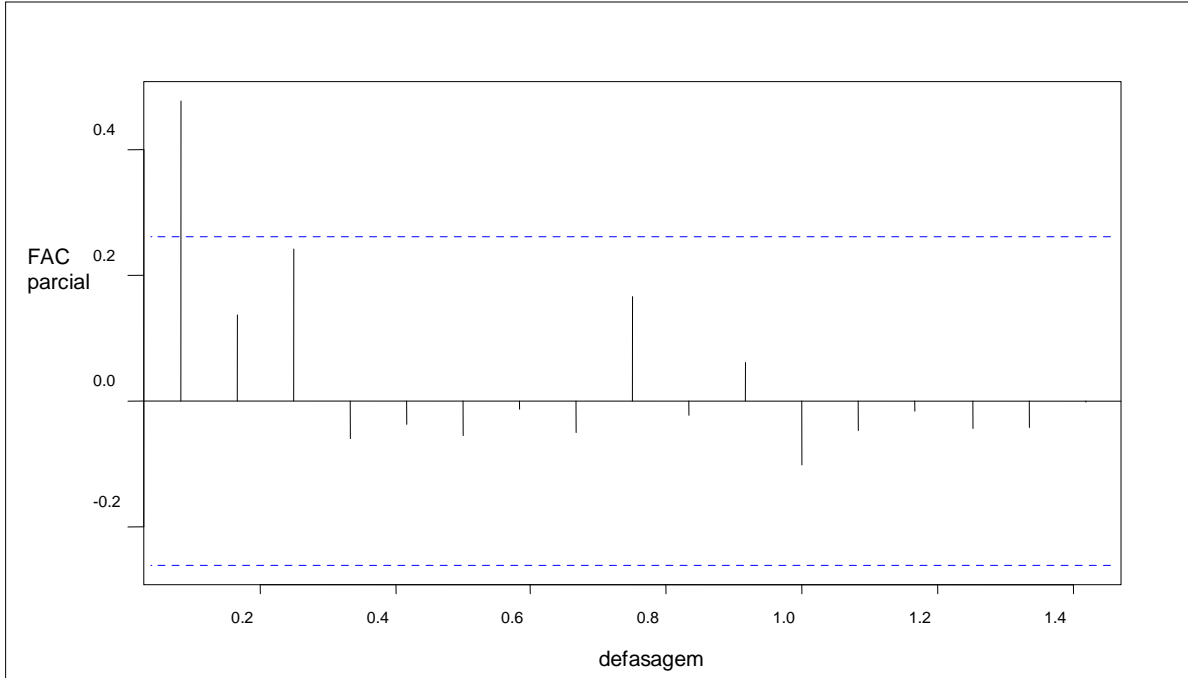
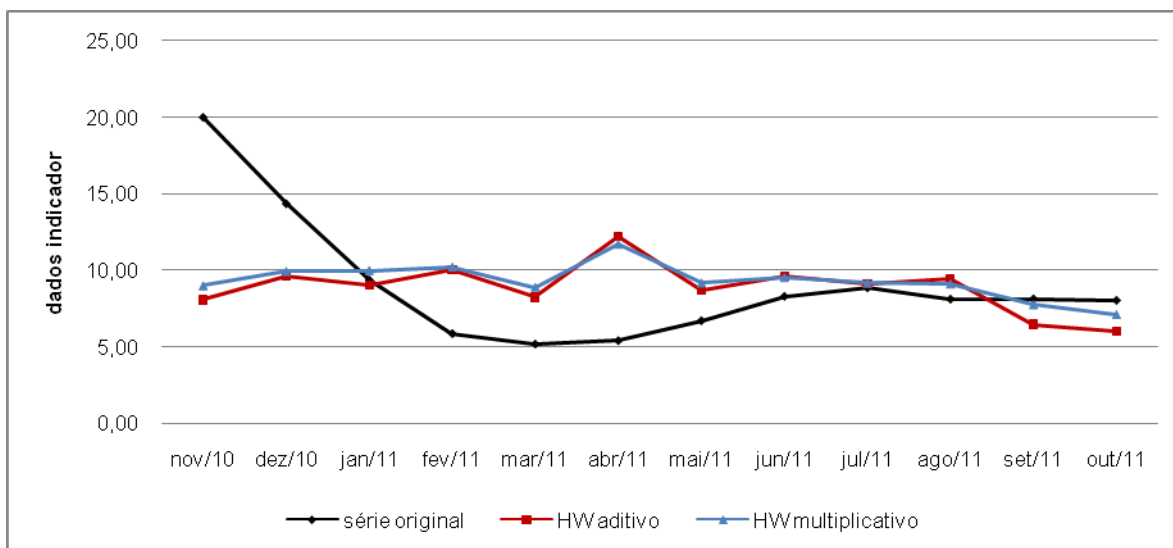


Figura 16: Gráfico da função da autocorrelação parcial da série temporal do indicador de vazão de água (m^3/h) por carga processada (m^3/h).

As três constantes de suavização do método de Holt-Winters multiplicativo para a série do indicador de água foram, $\alpha = 0,3368890$, $\beta = 0$ e $\gamma = 0,1313494$. Para o método aditivo, $\alpha = 0,31474435$, $\beta = 0$ e $\gamma = 0,07741355$.

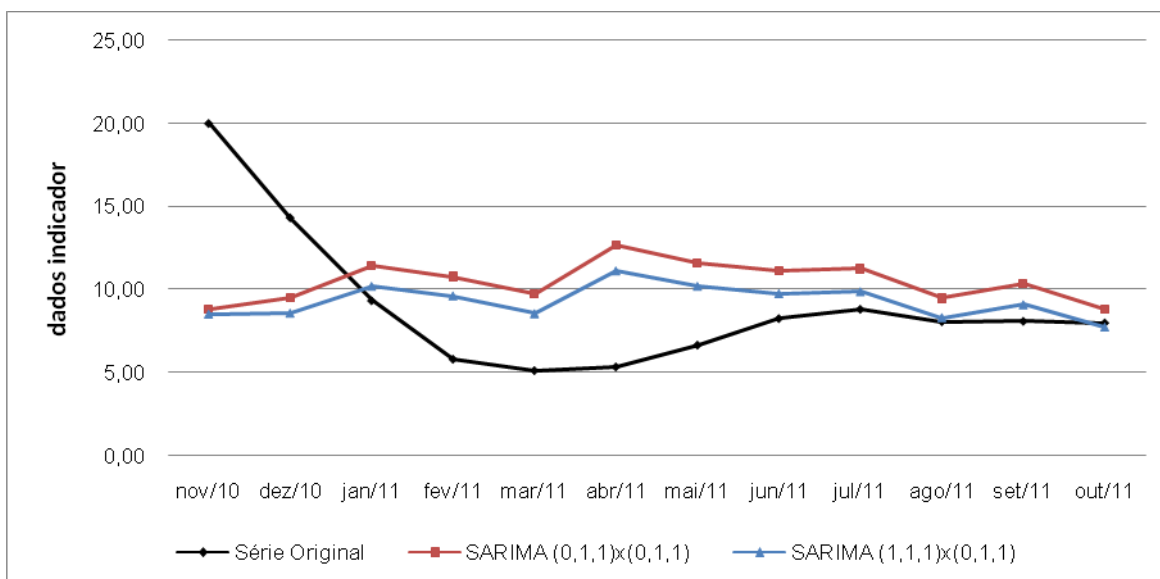
Na figura 17 mostra o gráfico dos dados originais da série do indicador de efluentes (m^3/h) por carga processada (m^3/h) e das previsões 12 passos à frente dos métodos de Holt-Winters aditivo e multiplicativo do período de novembro de 2010 a outubro de 2011. Observa-se que as previsões de ambos os métodos foram maiores que o valor da série no período de fevereiro a junho de 2011.



Na figura 17: Gráfico dos dados originais da série do indicador de água (m^3/h) por carga processada (m^3/h) e das previsões 12 passos à frente dos métodos de Holt-Winters aditivo e multiplicativo.

O método de Holt-Winters multiplicativo foi melhor que o método aditivo em relação ao erro quadrático médio, 18,68 e 21,05, respectivamente. Em contra partida, o método aditivo superior na questão preditiva que o multiplicativo por apresentar menor erro total, 1,50 e -3,38.

Na gráfico 18 mostra as previsões realizadas com o modelo SARIMA, 12 passos à frente. Observa-se que as previsões do modelo SARIMA $(0,1,1) \times (0,1,1)$ foram maiores que SARIMA $(1,1,1) \times (0,1,1)$ a partir do mês de janeiro de 2011. De acordo com as medidas de precisão, o modelo SARIMA $(1,1,1) \times (0,1,1)$ teve um melhor desempenho preditivo que o modelo SARIMA $(0,1,1) \times (0,1,1)$, pois os valores do erro quadrático médio foram -20,97 e -33,78, respectivamente, e do erro total foram 6,45 e 12,54, respectivamente.



Na figura 18: Gráfico dos dados originais da série do indicador de água (m^3/h) por carga processada (m^3/h) e das previsões 12 passos à frente dos métodos SARIMA $(0,1,1) \times (0,1,1)$ e SARIMA $(1,1,1) \times (0,1,1)$.

Pela análise de diagnóstico tanto o modelo SARIMA (1,1,1)x(0,1,1) quanto o SARIMA (0,1,1)x(0,1,1) estão adequados para representar os dados pois pelos dois primeiros gráficos das figuras 19 e 20 verifica-se aleatoriedade dos resíduos e os valores de *p-valor* estão acima do valor de 0,05 conforme mostra o terceiro gráfico de cada figura.

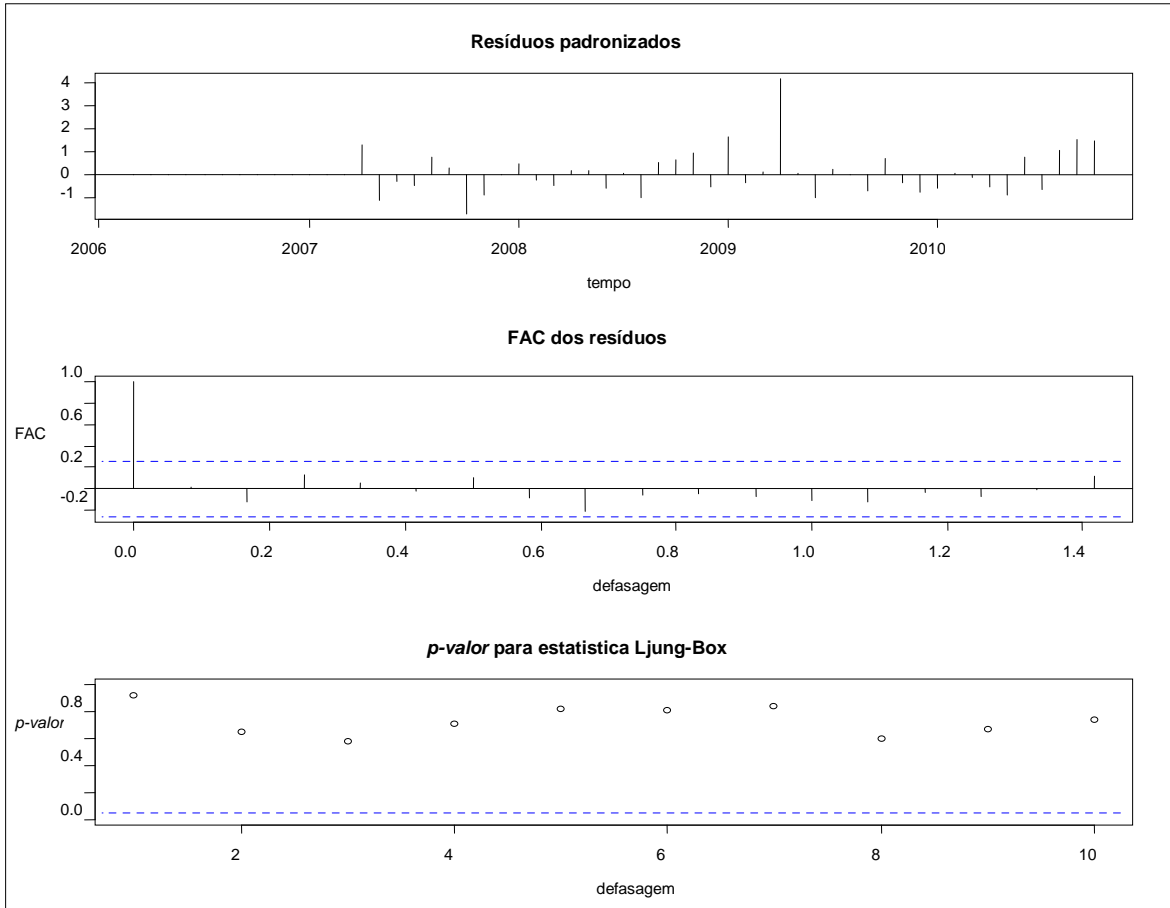


Figura 19: Gráfico do diagnóstico do modelo SARIMA (1,1,1)x(0,1,1) para a série temporal do indicador vazão de água (m³/h) por carga processada (m³/h).

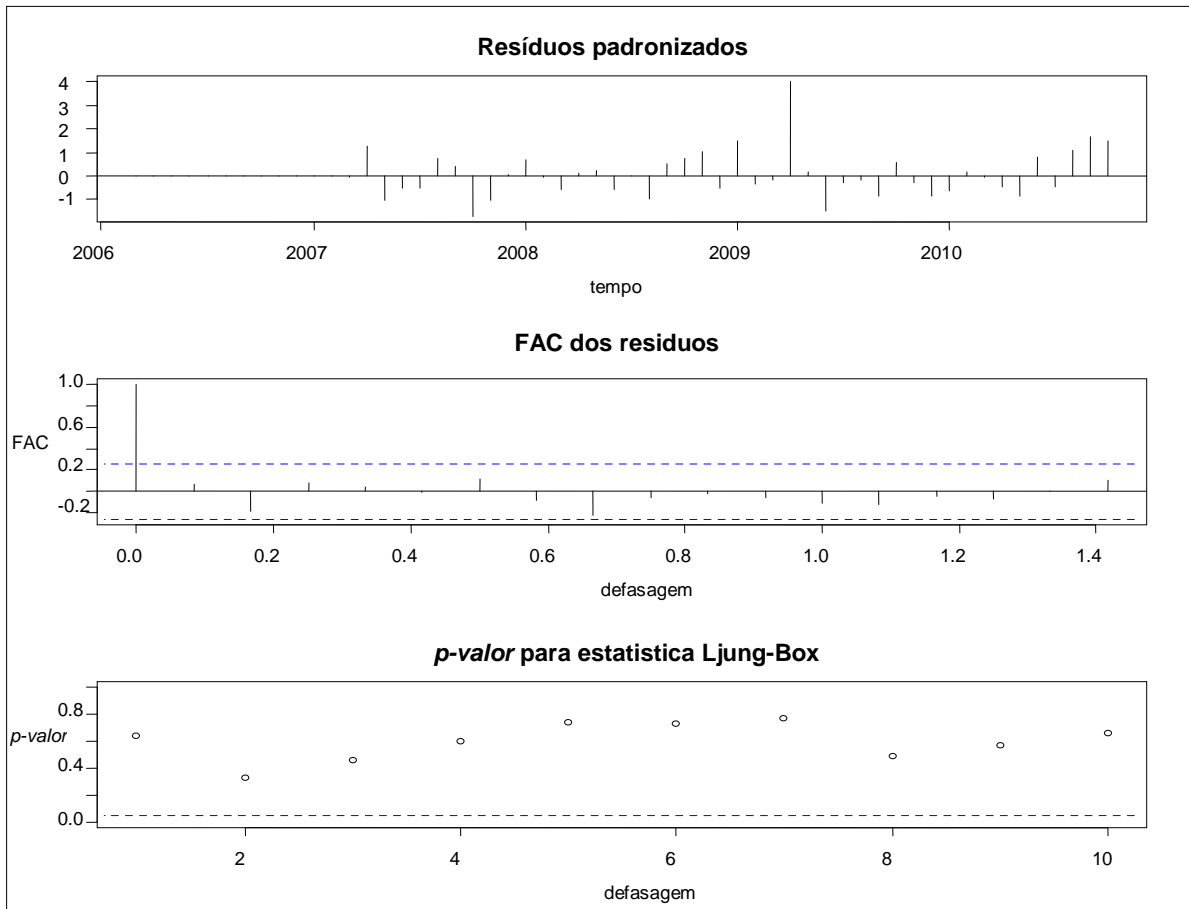


Figura 20: Gráfico do diagnóstico do modelo SARIMA (0,1,1)x(0,1,1) para a série temporal do indicador vazão de água (m³/h) por carga processada (m³/h).

CONCLUSÕES

No estudo de geração de efluentes da Empresa levando em consideração o erro quadrático médio, o método de Holt-Winters aditivo foi mais eficiente que o multiplicativo por apresentar menor valor, em contrapartida o método Holt-Winters multiplicativo apresentou menor erro total em relação ao método aditivo. As previsões foram realizadas 10 passos à frente. Na análise de diagnóstico, verificou-se que ambos os modelos SARIMA são adequados para representar os dados, porém o modelo SARIMA (2,1,2)x(0,1,1) foi o que apresentou melhor capacidade preditiva em relação ao SARIMA (2,1,2)x(1,1,1) por apresentar menor erro quadrático.

No estudo de consumo de água, o método de Holt-Winters multiplicativo foi superior ao método aditivo em relação ao erro quadrático médio. Em relação à medida de precisão por erro total o Holt-Winters aditivo foi melhor. A análise de diagnóstico mostrou que ambos os modelos SARIMA estão bem especificados para representar os dados, mas levando em consideração as medidas de precisão o modelo SARIMA (1,1,1)x(0,1,1) foi o que apresentou melhor desempenho em relação ao SARIMA (0,1,1)x(0,1,1). As previsões foram realizadas 12 passos à frente, pois 10 passos à frente para ambos os métodos de previsão Holt-Winters e SARIMA, os valores foram superestimados na série original.

A fase crítica do modelo SARIMA é na primeira etapa de identificação dos parâmetros (p,d,q), mais em comparação a outros métodos de previsão é o mais preciso.

Espera-se que esses indicadores propostos e os métodos de previsão possam ajudar a empresa na definição de novos procedimentos para melhorar o seu processo, pois os modelos podem prever valores futuros, dando

informações eficientes para a empresa com precisão e qualidade, auxiliando na avaliação do seu desempenho ambiental.

Recomenda-se utilizar outras ferramentas estatísticas e avaliação da incerteza dos dados para se ter resultados mais confiáveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho gostariam de agradecer à Empresa e à Redes de Tecnologias Limpas da UFBA, que, juntamente coordenam este projeto. As contribuições dos pesquisadores do projeto e da estudante de Iniciação Tecnológica Gêssica Lacerda foram de grande importância para elaboração deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. TSOULFAS, G. T.; PAPPIS, C. P. A model for Supply Chains Environmental Performance Analysis and Decision Making. *Journal of Cleaner Productions*. V. 16, n.15, p. 1647-1657, 2008.
2. DA SILVA, A. R. E.; DA COSTA, S. R. R. Indicadores Ambientais: um estudo das práticas que os impactam em Companhias de Petróleo. *Revista Gestão Industrial*. v. 05, n. 04, p. 98-114, 2009.
3. JASH, C. Environmental performance Evaluation na Indicators. *Journal of Cleaner Productions*. p. 79-88, 2000.
4. CAMPOS, L. M S.; MELO, D. A.; MEURER, S. A. A Importância dos Indicadores de Desempenho Ambiental nos Sistemas de Gestão Ambiental (SGA). IX ENGEMA – ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE. 2007.
5. MORETTIN P.; TOLOI, C. Análise de Séries Temporais. ABE – Projeto Fisher. Editora BUCHER, 2006.
6. DIY'AUDDEEN, B.; DAUD, W.; AZIZ, A.; Treatment Technologies for Petroleum Refinery Effluents: A Review. Published by Elsevier B.V. p.95-105, 2010.
7. GOMES, A. S. Modelagem e Previsão da Arrecadação do Imposto de Renda no Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 2003.