

PREDIÇÃO DE SÉRIES TEMPORAIS DE PARÂMETROS DE REDE WCDMA – HSPA

T. S. BEZERRA¹ e A. L. P. S. CAMPOS²Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
tiagocentral@ig.com.br¹ – antonio.luiz@pq.cnpq.br²

Artigo submetido em janeiro/2013 e aceito em fevereiro/2014

RESUMO

Em telecomunicações, com o crescimento da demanda de tráfego de dados nas redes de terceira geração (3G), as operadoras de telefonia móvel têm atentado para o direcionamento dos recursos em infraestrutura nos locais onde se identifica maior necessidade. O direcionamento desses investimentos tem o objetivo de manter a qualidade do serviço prestado, principalmente, em regiões urbanas densas. Neste trabalho, é realizada a predição de séries temporais em redes HSPA – WCDMA dos parâmetros: potência recebida (Rx Power), potência de código do sinal recebido (Received Signal

Code Power – RSCP), relação energia por chip em função da interferência (Energy per chip/Interference – E_c/I_0) e taxa de transmissão (throughput) na camada física. A coleta dos valores dos parâmetros foi realizada numa rede em pleno funcionamento através de um drive test na cidade de Natal/RN. O modelo utilizado para predição das séries temporais foi o Modelo de Alisamento Exponencial de Holt. O objetivo das predições das séries temporais é verificar para quais parâmetros da rede HSPA – WCDMA o modelo de Holt melhor se adequou.

PALAVRAS-CHAVE: Séries Temporais, Predição, Modelo de Holt, HSPA, WCDMA.

TIME SERIES PREDICTION OF PARAMETERS OF WCDMA NETWORK - HSPA

ABSTRACT

In telecommunications, with the growing demand of data traffic in the networks of third generation (3G), the mobile operators have attempted to focus resources on infrastructure in places where it is identified a greater need. The channeling investments have the goal of maintaining quality of service, especially in dense urban areas. In this work, the prediction of time series in WCDMA networks is carried on for the parameters: received power (Rx Power), Received Signal Code Power

(RSCP), Energy per chip/Interference (E_c/I_0) and throughput at the physical layer. The collection of parameters values was performed on a fully operational network through a drive test in Natal/RN. The model used to predict the time series was the model of Holt exponential smoothing. The objective of the predictions of the series is to check which parameters HSPA network - WCDMA model best adapted Holt.

KEYWORDS: Time Series, Prediction, Holt Model, HSPA, WCDMA.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação em prever demandas, manter e melhorar o desempenho dos serviços prestados pela rede tem estimulado estudos de predições para alguns parâmetros nas redes HSPA-WCDMA. Áreas urbanas dos grandes centros brasileiros têm crescido de forma acelerada, com construção de novos prédios, gerando obstruções da cobertura móvel celular e com ocupação concentrada de áreas populosas, o que gera altos índices de congestionamentos comprometendo a qualidade do serviço prestado pelas operadoras de telefonia móvel celular.

Predições de parâmetros de redes móveis têm sido investigadas por diversos autores (CUI, 2010), (KLOCKAR, 2009), (TOUHEED, 2008) e (ZHENG, 2012), sendo que em nenhum destes trabalhos foi realizada predição com modelos de séries temporais para parâmetros da interface aérea em redes HSPA-WCDMA. A maioria dos trabalhos de predição neste tema utiliza simuladores ao invés de medições reais. Investigações teóricas com os mais variados tipos de modelos de predições para séries temporais podem ser encontradas na literatura (WEI, 2006), (MORETTIN, 1981), (MONTGOMERY, 2008), (CHATFIELD, 2000), (BOX, 1994) e (BOX, 1976). A predição para séries temporais de parâmetros da rede HSPA-WCDMA pode ser utilizada pela operadora de telefonia celular como uma ferramenta que objetiva antecipar investimentos de infraestrutura em trechos de cidades que indiquem degradação na rede. Isto é importante porque a operadora pode evitar uma possível percepção negativa do cliente em relação ao serviço prestado por ela, em locais específicos das grandes cidades.

Desta forma, o objetivo principal deste trabalho é realizar predições de parâmetros em rede HSPA-WCDMA para serem utilizadas como um dos itens de suporte, sobre o qual a operadora de telefonia móvel possa tomar decisões em relação ao direcionamento de investimentos de infraestrutura em áreas consideradas críticas em termos de cobertura de radiofrequência. Neste trabalho, foi realizado *drive test*, em trechos predefinidos, para coleta de amostras de quatro parâmetros da rede HSPA-WCDMA e posterior tratamento utilizando um modelo de série temporal para predições. O modelo utilizado para predição das séries temporais foi o Modelo de Alisamento Exponencial de Holt. A principal contribuição deste trabalho é identificar quais parâmetros de rede coletados do *drive test* melhor se adequa ao modelo de Holt.

2 PARÂMETROS DE REDE WCDMA – HSPA

Existem alguns parâmetros para avaliar o desempenho de uma rede celular móvel HSPA que são os indicadores de desempenho chave (*Key Performance Indicator – KPI*). Os valores dos *KPIs* podem ser obtidos por meio das estações rádio base (*NodeB*) e dos controladores da rede de rádio (*RNC - Radio Network Controller*) ou pela realização de um *drive test*. Na seção IV será detalhado o procedimento de *drive test* adotado neste trabalho.

Durante o *drive test* são utilizados vários terminais especializados que são capazes de coletar parâmetros de rede durante uma trajetória pré-definida. Os terminais são equipados com um *Global Positioning System (GPS)*, para que se tenha a posição onde cada medição foi realizada. Por exemplo, quando alguns comportamentos estranhos da rede são identificados, pode ser realizado um *drive test* na área suspeita a fim de obter mais informações sobre as

condições de funcionamento da rede. No entanto, os *drive tests* também podem ser executados regularmente para gerar uma base de controle de qualidade da rede sendo utilizado como ferramenta para o processo de otimização da rede. Um *drive test* realizado com um *scanner* de frequência pode ser muito útil por ser capaz de capturar as verdadeiras predições de cobertura da rede. É interessante notar que os contadores de rede são capazes de capturar principalmente o comportamento do *uplink* (HSUPA – *High Speed Uplink Packet Access*), ao passo que os relatórios de medição são capazes de coletar o status de *downlink* (HSDPA - *High Speed Uplink Packet Access*). Medições do *drive test* ilustram principalmente o status do *downlink* para a trajetória específica do veículo de testes. Portanto, é importante aperfeiçoar essa trajetória do *drive test* para que ela garanta a aquisição de medições nas áreas onde uma considerável quantidade de tráfego está sendo gerado (SALLENT, 2011).

Neste trabalho, os dados utilizados do *drive test* foram o Rx Power (nível de sinal na recepção recebido no terminal móvel celular), RSCP (Received Signal Code Power), E_c/I_o (*Energy per chip/Interference*) e a taxa de transmissão (*Throughput* - Kbps) na camada física (interface aérea).

O E_c/I_o é uma relação sinal-interferência onde (E) é a energia média do sinal, (c) é a energia para pontos de potência no tempo em *chips* e (I_o) é a interferência em banda larga e interferência co-canal incluindo a do próprio setor da célula correspondente (NOKIA, 2003). Uma métrica alternativa que pode ser usada para determinar as propriedades de uma célula (BLOGH, 2002) é mostrada na equação (1). Essa expressão calcula a relação sinal-interferência do canal piloto (CPICH) no enlace direto (*downlink*) e foi proposta na terceira geração de redes celulares da 3GPP *Specification*.

$$\frac{E_c}{I_o} = \frac{P_{pilot}}{P_{pilot} + N_0 + \sum_{k=1}^{N_{cells}} P_k T_k} \quad \text{equação (1)}$$

em que P_{pilot} é a potência do canal piloto, P_k é a potência total de transmissão da célula k , T_k é o ganho da transmissão incluindo o ganho da antena, N_0 é a densidade espectral de potência para o ruído térmico, para a perda de percurso e para o sombreamento, N_{cells} é o número de células da rede.

A camada física da interface de rádio tem sido o tema principal de discussões quando diferentes sistemas celulares são comparados. As estruturas de camada física referem-se diretamente a desempenho ao observar um enlace entre estação terminal móvel e estação rádio base. A camada física tem um grande impacto no que diz respeito à complexidade no processamento da potência da banda base do terminal móvel e estação base (KAARANEN, 2005). Na terceira geração dos sistemas celulares o foco passa a ser serviços de banda larga, assim, a camada física não mais é utilizada por apenas um único serviço como anteriormente e uma maior flexibilidade é necessária para a introdução dos novos serviços.

A taxa de transferência na camada física depende do número de códigos utilizados, perdas de percursos, ruído e a potência para tráfego, isso significa que a taxa pode ser variada. De acordo com a equação (2), a taxa de transferência máxima na camada física é de 0,96 Mbps por código HS-PDSCH (*High Speed Physical Downlink Shared Channel*), sendo 4,8, 9,6 e 14,4 Mbps para 5, 10 e 15 códigos, respectivamente. Na prática, apenas 14 códigos HS-PDSCH são usados para dados, já que, geralmente, dois códigos HS-SCCH (*High Speed Shared Control Channel*) são reservados para

sinalização e controle. Assim, a taxa de transferência máxima no nível físico é de 13,44 Mbps (KAARANEN, 2005).

$$SF = \frac{\text{Chip rate}}{\text{Symbol rate}} \Leftrightarrow 16 = \frac{3.84}{\frac{p_p}{4}} = 0.96 \text{ Mbps} \quad \text{equação (2)}$$

Considerando-se uma taxa de codificação de 75%, a taxa de transferência máxima na camada de controle do enlace de rádio (*Radio Link Control* – RLC) é de 3,6; 7,2 e 10,08 para 5, 10 e 15 códigos HS-PDSCH, respectivamente. A máxima taxa de transferência permitida no nível de aplicação é de 3,36; 6,72 e 9,4 Mbps para 5, 10 e 15 códigos HS-PDSCH, respectivamente, considerando 93,3% de 3,6; 7,2 e 10,08, devido à sobrecarga nas camadas MAC (*Medium Access Control*) e RLC. Na prática, estas taxas de transferências estão entre 3,6 e 8,46 Mbps, considerando-se a razão de erro de bloco (*Block Error Ratio* – BLER) e aplicações com sobrecargas de 10%. Para usuário único na rede UMTS/HSDPA, apenas o número de códigos HS-PDSCH é o fator limitante que restringe a taxa de transferência máxima disponível para a aplicação (KAARANEN, 2005). A taxa de transmissão coletada pelo *drive test* realizado para este trabalho é na camada física de uma rede HSPA.

RSCP (*Received Signal Code Power*) é o nível de potência do código recebido (dBm), refere-se à potência de um código específico entre os símbolos de um piloto recebido (CPICH) e a medição da potência recebida sobre o código. O RSCP é utilizado como parâmetro em conjunto com CPICH para várias funções como *handover* e a decisão de reSeleção de novas células pelo terminal móvel celular na rede WCDMA – HSPA.

RSCP é a soma do RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) com E_c/I_o em (dBm), ou seja:

$$\text{RSCP (dBm)} = \text{RSSI (dBm)} + E_c/I_o \text{ (dBm)} \quad \text{equação (3)}$$

Maiores detalhalhes do RSCP podem ser consultados na especificação técnica 3GPP TS 25.215.

Rx Power é o nível de sinal na recepção do terminal móvel celular recebido da estação móvel celular (*NodeB*) expressa em dBm. Este parâmetro reflete bem a percepção do cliente no uso dos serviços da rede WCDMA-HSPA.

3 MODELO DE ALISAMENTO EXPONENCIAL DE HOLT

Série Temporal é um conjunto de observações ordenadas no tempo (não necessariamente igualmente espaçadas), e que apresentam dependência serial (isto é, dependência entre instantes de tempo). De uma maneira um pouco mais formal, dizemos que uma série temporal é uma realização de um processo estocástico. Na prática, a não ser que estejamos lidando com séries simuladas, a série temporal que está sendo analisada é a única realização disponível do processo estocástico subjacente. Por exemplo, se Z_t indica as vendas de sabão em pó de uma marca qualquer no mês t , a série temporal $\{Z_1, Z_2, \dots, Z_t\}$ que contém os valores efetivamente observados das vendas é a única trajetória disponível do processo estocástico que gerou aquela série (BARROS, 2004).

Um processo estocástico é dito ergódico se uma única realização do processo é o suficiente para caracterizá-lo. Na análise de séries temporais existe apenas uma realização do

processo disponível e, portanto precisamos supor que o processo subjacente é ergódico, pois iremos usar apenas uma de suas realizações para caracterizá-lo (BARROS, 2004).

Há basicamente, dois aspectos considerados na análise de séries temporais:

- Análise e Modelagem da Série Temporal - descrever a série, verificar suas características mais relevantes e suas possíveis relações com outras séries;
- Previsão da Série Temporal - a partir de valores passados da série, encontrar boas previsões (de curto prazo) de valores futuros da série.

A modelagem de uma série temporal permite mapear toda a estrutura de dependência existente na série. Pode se observar que o resíduo (diferença entre o valor real e o valor da previsão ajustado pelo modelo) não resta nenhuma estrutura, pois já foi coletada pela própria modelagem do modelo. Se o modelo é considerado bom, os resíduos não possuem correlação serial (isto é, correlação entre os resíduos em diferentes instantes de tempo). A modelagem pode explicar um comportamento da série com o menor número de parâmetros o que se pode chamar de parcimônia.

A previsão da série temporal utiliza o histórico dos dados passados para descrever a trajetória da série para o futuro. Os valores passados na maioria das vezes contêm informações relevantes sobre o que ocorrerá no futuro devido à existência da correlação entre as variáveis em diversos instantes de tempo. O conhecimento do passado não quer dizer que será encontrado o valor exato do futuro, mas dar uma boa idéia de quais serão os valores futuros (BARROS, 2004).

Os modelos de alisamento exponencial, como a maioria dos métodos de previsão de séries temporais, se baseiam no princípio que os dados observados no passado contêm informações sobre como a esta série temporal se comportará no futuro (WRIGHT, 1996). As técnicas de alisamento exponencial assumem que valores extremos são causados por ruídos aleatórios e com a suavização das curvas em relação a estes extremos podem ser identificados os padrões básicos do comportamento da série. As grandes vantagens destes métodos são a sua simplicidade, eficiência computacional e a razoável precisão obtida [6].

Existem inúmeras variações de métodos de amortecimento exponencial. Todas elas, na verdade, têm uma característica comum: a informação atual (representada pelo último valor observado) é ponderada com a informação contida nos instantes anteriores. A existência de uma ou mais constantes de amortecimento irá determinar como funciona este mecanismo de ponderação ou, em outras palavras, o quão rapidamente decai a influência das observações passadas. Os parâmetros do modelo sofrem uma atualização sequencial, e a chegada de uma nova observação resulta numa nova estimativa dos parâmetros (BARROS, 2004).

O modelo de Holt é mais adequado para séries temporais que há uma tendência linear e não existe sazonalidade. Os seus parâmetros de alisamento são os de nível e de tendência da série. O modelo de Holt é representado pelas equações (4), (5) e (6) (BARROS, 2004):

$$M_t = \alpha Z_t + (1 - \alpha) \cdot (M_{t-1} + \hat{a}_2(T - 1)) \quad \text{equação (4)}$$

$$\hat{a}_2(T) = \beta \cdot (M_t - M_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot \hat{a}_2(T - 1) \quad \text{equação (5)}$$

$$\hat{a}_1(T) = M_t \quad \text{equação (6)}$$

em que: α e β são as constantes de amortecimento de nível e tendência respectivamente, os valores das constantes variam entre 0 e 1; M_t é a estimativa do nível da série; e $\hat{\alpha}_2$ é a taxa de tendência (crescimento) estimada.

As constantes de amortecimento usadas para cálculo do nível e tendência são diferentes. Na equação de atualização do nível, o novo nível é função de três variáveis: a observação mais recente (Z_t), a estimativa anterior do nível (M_{t-1}) e a taxa de crescimento estimada no instante anterior ($\hat{\alpha}_2 (T - 1)$). A taxa de crescimento atualizada é função da taxa de crescimento no instante anterior e também depende da diferença entre os níveis nos instantes $T - 1$ e T (BARROS, 2004).

Assim como ocorre no modelo de alisamento simples, é necessário ter valores iniciais dos parâmetros para que se possa dar início à série prevista. Os valores iniciais podem ser estimados pelas equações (7) e (8) (MAKRIDAKIS, 1998).

$$\hat{\alpha}_1(1) = Z_1 \quad \text{equação (7)}$$

$$\hat{\alpha}_2(1) = \frac{(Z_2 - Z_1) + (Z_4 - Z_3)}{2} \quad \text{equação (8)}$$

4 MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS EM DRIVE TEST

As medições dos parâmetros foram realizadas através de um *drive test* numa rede HSPA-WCDMA em pleno funcionamento na cidade de Natal – RN nos bairros de Lagoa Nova, Nossa Senhora de Nazaré, Quintas, Ribeiras e bairros adjacentes como mostra a Figura 1. Os equipamentos utilizados no *drive test* foram um aparelho celular do fabricante LG modelo Optimus ME P350 para chamadas de voz, um aparelho celular e modem Motorola RAZR HD XT925 para trafegar dados em HSPA e um *Scanner* DRT4301A GSM/WCDMA (806/2500 MHz) modelo MPLVDB800/1900S para coleta de dados de parâmetros oriundos da rede WCDMA/HSPA. Também foi utilizado o *software* comercial X-CAL versão D3.3.1.50, da Empresa Accuver e um servidor FTP (*File Transfer Protocol*) para execução de *downloads* de arquivos. O *software* é uma solução baseada em tempo real para medição de desempenho e otimização de redes sem fio. O XCAL coleta mensagens das camadas 1, 2, 3 do modelo OSI e pacotes TCP/IP. As coletas são efetuadas na interface aérea e também na interface de dados em todas as tecnologias comercialmente disponíveis (CDMA IS95A/B, 1XRTT, EVDO (Rev. 0 e Rev. A), GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA e HSUPA). A Tabela 1 exibe a legenda para os níveis de sinal (Rx Power) do *drive test* mostrado na Figura1.

Tabela 1 - Legenda dos níveis de sinal do *drive test*.

LEGENDA	Rx POWER (dB)
	- 200 <= Rx Power (dBm) < -100
	- 100 <= Rx Power (dBm) < -90
	- 90 <= Rx Power (dBm) < -80
	- 80 <= Rx Power (dBm) < -60
	- 60 <= Rx Power (dBm) < -100



Figura 1 - Mapa mostrando o drive test realizado em Natal.

A coleta dos valores dos parâmetros foi realizada com auxílio de um veículo automotivo em deslocamento, com a velocidade média em torno de 21,13 Km/h no dia 17/09/2013 entre os horários de 09h 40min 47seg e 13h 16min 58seg num de total 3h 36min 11seg. A cada segundo foi realizado uma amostra de medição dos parâmetros com um total de 12.971 amostras coletadas.

5 ANÁLISE DAS SÉRIES TEMPORAIS DOS PARÂMETROS ANALISADOS

Para manipulação dos dados e melhor visualização dos gráficos, foram separadas 2880 (22,20% do total) amostras e segmentadas em onze séries de para análise, modelagem e previsão utilizando o modelo de Alisamento Exponencial de Holt conforme Tabela 1.

Para avaliação do modelo das séries foram utilizadas as medidas de acurácia que são estatísticas que traduzem numericamente a precisão de um dado modelo. Por possuírem esta propriedade, estas medidas são utilizadas na construção dos modelos, de modo que sejam minimizadas, ou então na escolha de um modelo dentro de um grupo de modelos disponíveis (ARMSTRONG, 1992). Para ter um controle destes erros é importante que se defina uma função de perda (MORETTIN, 1981). Com o passar do tempo, o uso dos métodos absolutos, o MAD (*Mean Absolute Deviation*) equação (8) e o MSD (*Mean Squared Deviation*) equação (9) têm sido os mais populares devido as suas relevâncias teóricas no modelamento estatístico (HYNDMAN, 2006). Já dentre as medidas relativas, a mais utilizada é o MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*), equação (10), pois esta medida é bem interpretativa e muito apropriada no planejamento (FADER, 2003).

No Minitab foram calculadas as três medidas de acurácia do modelo ajustado: MAPE, MAD e MSD para cada uma das previsões do modelo de Alisamento Exponencial de Holt. Para todas as três medidas, quanto menor o valor, melhor o ajuste do modelo. Foram utilizadas essas estatísticas para comparar os ajustes dos modelos das diferentes amostras. Neste trabalho, caso haja o empate na escolha da melhor série, por exemplo, três séries distintas cada uma com apenas uma medida de acurácia com menor valor dentre as demais, a série que tiver o menor MAPE será escolhida para ser realizada a predição. O MAPE é uma medida interpretativa e mais apropriada para realização de planejamentos (FADER, 2003).

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{Z_t - \hat{Z}_t}{Z_t}}{n} \quad \text{equação (9)}$$

$$MSD = \frac{\sum_{t=1}^n \left(\frac{Z_t - \hat{Z}_t}{Z_t} \right)^2}{n} \quad \text{equação (10)}$$

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{Z_t - \hat{Z}_t}{Z_t}}{n} \cdot 100, (Z_t \neq 0) \quad \text{equação (11)}$$

em que, Z_t é o valor atual da série temporal, \hat{Z}_t valor atual previsto da série e n é o número de observações.

Na Tabela 2 constam os dados da modelagem com o modelo de Alisamento Exponencial Duplo de Holt do parâmetro *Rx Power* utilizando o software estatístico Minitab® 16.2.2.0 - © 2010 Minitab Inc. Os valores de α (constante de amortecimento de nível) e β (constante de amortecimento de tendência) são estimados durante o ajuste dos modelos pelo próprio *software* Minitab Inc.

Tabela 2 – Índices do Modelo de Holt para o parâmetro Rx Power.

ÍNDICE	AMOSTRAS	α	β	MAPE	MAD	MSD
1	250	1,1268	0,0045	3,4912	2,3792	11,1031
2	230	1,1006	0,0200	4,6204	2,7867	15,943
3	300	1,0849	0,0095	4,5799	2,9288	15,7957
4	250	1,0947	0,0085	3,8204	2,6004	15,1365
5	250	1,0750	0,0135	6,4174	3,6918	24,1871
6	250	1,1476	0,0068	4,9942	3,3087	18,9706
7	250	1,1157	0,1559	5,0588	3,5542	20,2150
8	290	1,0642	0,0123	5,2828	3,2162	17,6230
9	270	1,1709	0,0103	6,1035	3,3558	20,8544
10	250	1,1859	0,0106	6,2310	3,8643	22,8321
11	280	1,1554	0,0111	6,6479	3,7456	24,6944

A série temporal de número um das amostras *Rx Power* foi a escolhida para análise estatística e predição devido às medidas de precisão (MAPE, MAD e MSD) terem os menores valores comparados com as medidas de acurácia das outras amostras conforme apresentado na Tabela 2.

A série temporal das amostras *Rx Power_1* se caracteriza pela estatística descritiva apresentada na Tabela 3 e figuras 2 e 3. Para essa série, pode-se observar que a potência média do sinal recebido foi de - 70 dBm, o que mostra que essa região de cobertura está satisfatória, uma vez que o limiar dos celulares é em torno de - 100 dBm. A variância foi de 16,77, o que confirma a natureza variável do ambiente de propagação. Os níveis mínimo e máximo da potência recebida foram - 77,17 dBm e - 55,17 dBm, mostrando a boa cobertura da rota considerada.

Tabela 3 – Estatística descritiva para o parâmetro Rx Power.

VARIÁVEL	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	VARIÂNCIA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	ASSIMETRIA	CURTOSE
Rx Power	-70,19	4,09	16,77	-77,17	-55,17	1,4	1,99

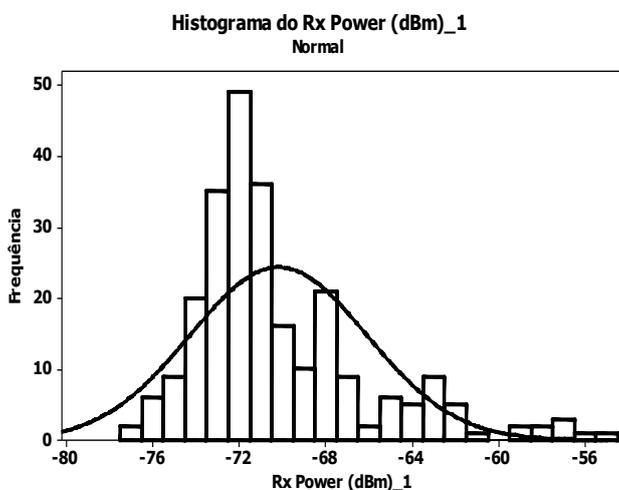


Figura 2 – Histograma do parâmetro Rx Power.

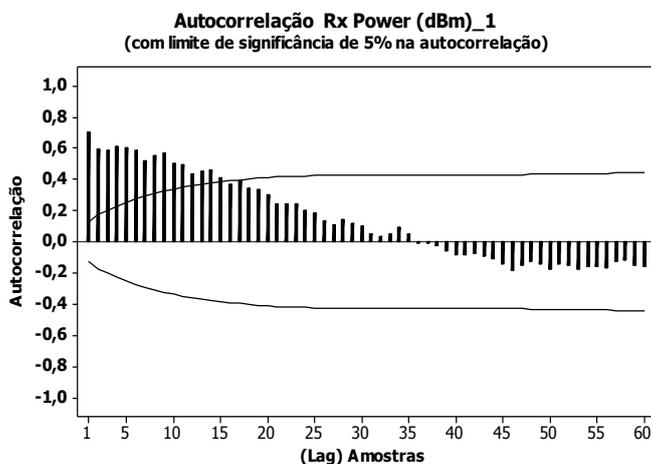


Figura 3 – Autocorrelação do parâmetro Rx Power.

A predição de 10% (25) do volume de amostras (250) da série temporal Rx Power_1 é apresentada na Figura 4.

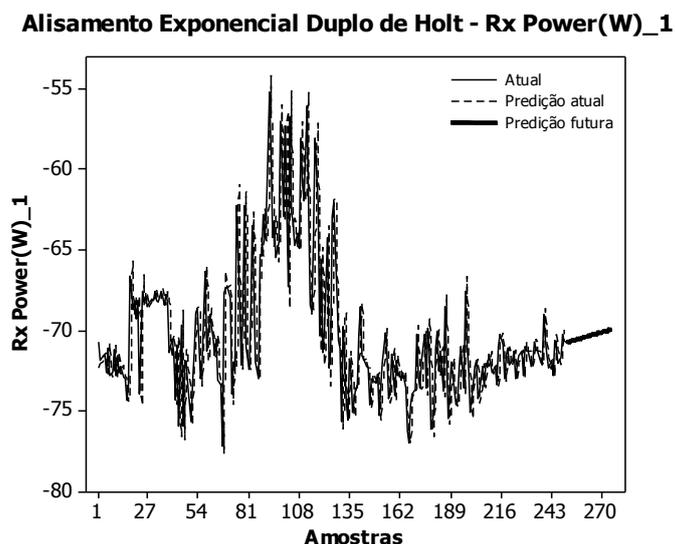


Figura 4 – Predição para Rx Power_1 usando o Modelo de Holt.

Os dados da análise e modelagem da série temporal do parâmetro RSCP (dBm) são apresentados Tabela 4. A série temporal de número um das amostras RSCP foi a escolhida para análise estatística e predição devido as medidas de acurácia terem os menores valores comparados com as medidas de acurácia das outras amostras conforme apresentado Tabela 4.

Tabela 4 – Índices do Modelo de Holt para o parâmetro RSCP.

ÍNDICE	AMOSTRAS	α	β	MAPE	MAD	MSD
1	250	1,9819	0,0125	2,4627	1,8541	6,1842
2	250	1,1172	0,0163	3,5826	2,3745	10,2858
3	300	1,1329	0,0088	3,1736	2,3194	9,5222
4	270	1,2398	0,0066	3,0201	2,2703	10,6503
5	300	1,1845	0,0092	2,8443	2,9879	15,7612
6	250	1,1487	0,0098	2,7088	2,3214	9,7116
7	280	1,1008	0,0122	3,6656	2,6617	12,1464
8	250	1,2085	0,0056	5,1168	3,3376	18,2620
9	280	1,1493	0,0133	3,7110	2,5225	8,7718
10	230	1,1513	0,0132	4,4077	3,1308	16,6547
11	219	1,2593	0,0003	4,6406	2,8463	13,7329

Tabela 5 – Estatística descritiva para o parâmetro RSCP.

VARIÁVEL	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	VARIÂNCIA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	ASSIMETRIA	CURTOSE
RSCP	-77,39	5,04	25,42	-84,47	-60,84	1,17	1,10

A série temporal das amostras RSCP_1 se caracteriza pela estatística descritiva apresentada na Tabela 5 e figuras 5 e 6. Para essa série, pode-se observar que a potência média de código recebida foi de - 77,39 dBm. A variância foi de 25,42, o que confirma a natureza variável do ambiente de propagação. Os níveis mínimo e máximo da potência recebida foram - 84,47 dBm e - 60,84 dBm, mostrando a boa cobertura da rota considerada. A predição de 10% (25) do volume de amostras (250) da série temporal Rx Power_1 é apresentada na Figura 4.

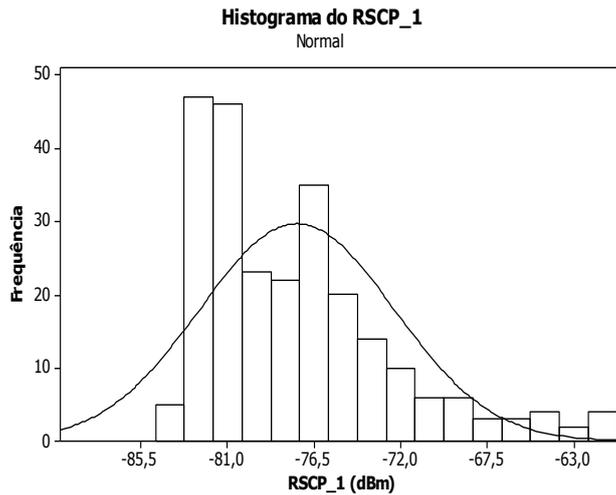


Figura 5 – Histograma do parâmetro RSCP.

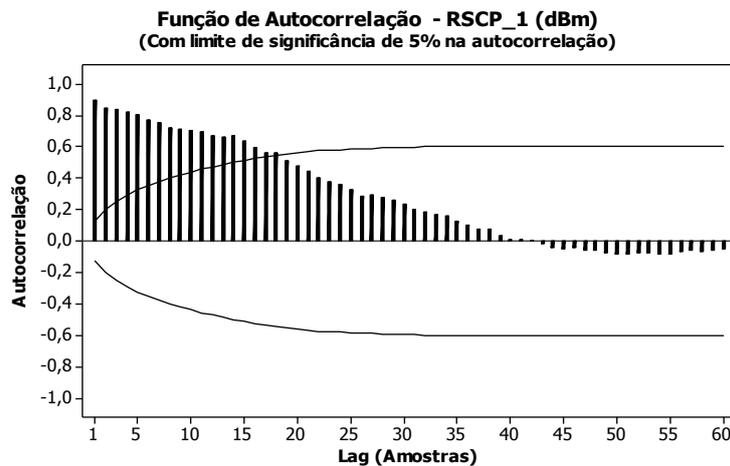


Figura 6 – Autocorrelação do parâmetro RSCP.

A predição de 10% (25) do volume de amostras (250) da série temporal RSCP_1 (dBm) é apresentada na Figura 7. Os dados da análise e modelagem da série temporal do parâmetro E_c/I_o são listados na Tabela 6. A série temporal de número um das amostras E_c/I_o tem o menor MAPE, a amostra de número quatro tem menor MAD e a amostra de número nove tem o menor MSD. A série de número um foi escolhida para análise estatística e predição pois a medida de acurácia MAPE foi definida como critério de desempate na escolha das amostras.

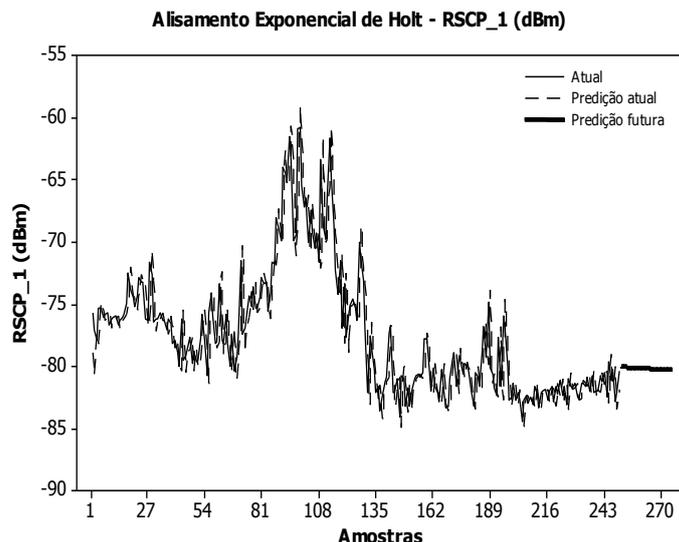


Figura 7 – Predição para RSCP_1 usando o Modelo de Holt.

Tabela 6 – Índices do Modelo de Holt para o parâmetro Ec/lo.

ÍNDICE	AMOSTRAS	α	β	MAPE	MAD	MSD
1	245	1,1230	0,0053	17,6805	1,0775	2,2854
2	290	1,0966	0,0114	32,5205	1,4583	3,8248
3	220	1,1235	0,0091	26,2244	1,5698	4,6733
4	250	1,2281	0,0096	17,994	1,0328	2,2163
5	270	1,0968	0,0129	32,1677	1,4699	4,2776
6	300	1,1803	0,0074	27,4336	1,4220	4,2751
7	250	1,1538	0,0087	34,5699	1,4503	4,8225
8	250	1,1414	0,0144	26,4966	1,5040	4,8268
9	300	1,2177	0,0059	18,3014	1,0560	2,1173
10	250	1,1773	0,0037	28,3986	1,5874	4,7857
11	254	1,0832	0,0108	20,4163	1,1153	3,0124

A série temporal das amostras Ec/lo_1 se caracteriza pela estatística descritiva apresentada na Tabela 7 e figuras 8 e 9. Para essa série, pode-se observar que a relação sinal-interferência média foi de - 7,314 dBm. A variância, nesse caso, foi mais baixa, sendo de 4,738. Os níveis mínimo e máximo do Ec/lo foram - 11,02 dBm e - 2,64 dBm, respectivamente.

Tabela 7 – Estatística descritiva para o parâmetro Ec/lo.

VARIÁVEL	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	VARIÂNCIA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	ASSIMETRIA	CURTOSE
Ec/lo	-7,314	2,177	4,738	-11,020	-2,640	0,40	-0,97

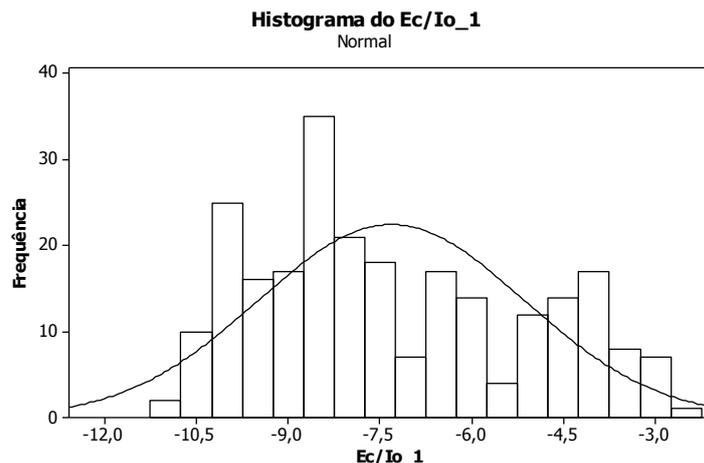


Figura 8 – Histograma do parâmetro Ec/Io.

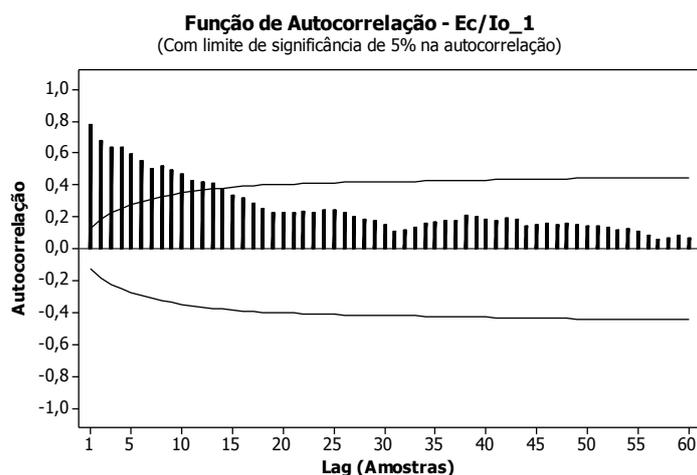


Figura 9 – Autocorrelação do parâmetro Ec/Io.

A predição de 10% (25) do volume de amostras (250) da série temporal *Ec/Io_1* é apresentada na Figura 10. Os dados da análise e modelagem da série temporal do parâmetro *Ec/Io* na Tabela 8. A série temporal de número um das amostras *Throughput* tem o menor valor do MAPE, mas a amostra de numero quatro tem menor valor de MAD e MSD. A amostra quatro foi a escolhida para análise estatística e predição por ter apresentado duas medidas de acurácia de menor valor conforme apresentado na Tabela 8.

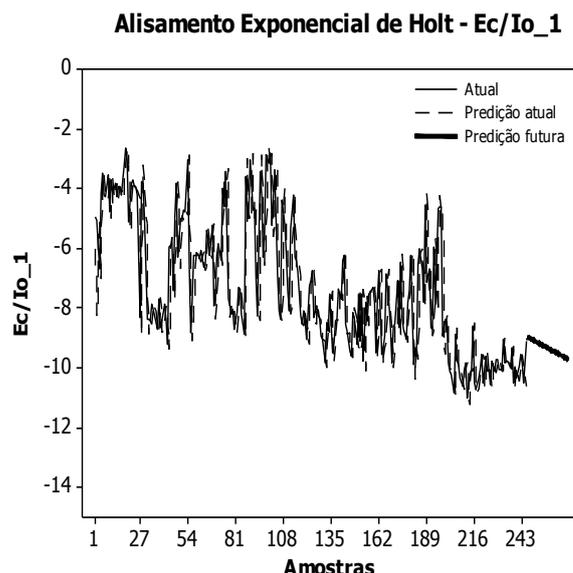


Figura 10 – Predição para Ec/Io_1 usando o Modelo de Holt.

Tabela 8 – Índices do Modelo de Holt para o parâmetro *Throughput*.

ÍNDICE	AMOSTRAS	α	β	MAPE	MAD	MSD
1	230	1,120	0,008	53	820	1278468
2	250	0,976	0,017	152	782	1697467
3	240	1,041	0,007	163	1049	2545927
4	250	1,242	0,010	88	370	467686
5	300	1,190	0,003	65	941	1890325
6	260	1,080	0,001	322	916	1811863
7	300	1,151	0,006	1067	1081	2987919
8	240	1,1972	0,010	853	987	2036691
9	200	1,1327	0,012	290	1089	2053908
10	300	1,1763	0,006	153	696	975151
11	299	1,0169	0,014	934	1218	3126556

A série temporal das amostras *Throughput_4* se caracteriza pela estatística descritiva apresentada na Tabela 9 e figuras 11 e 12. Para essa série, pode-se observar que a taxa de transmissão média foi de 1001,1 Kbps. A variância, nesse caso, foi muito alta, o que mostra que esse tipo de tecnologia não é muito apropriada para alguns tipos de aplicações. A taxa de transmissão máxima foi de 6190,6 Kbps.

Tabela 9 – Estatística descritiva para o parâmetro *Throughput*.

VARIÁVEL	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	VARIÂNCIA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	ASSIMETRIA	CURTOSE
<i>Throughput</i>	1001,1	1473,1	2169914,1	0,0	6190,6	1,62	1,94

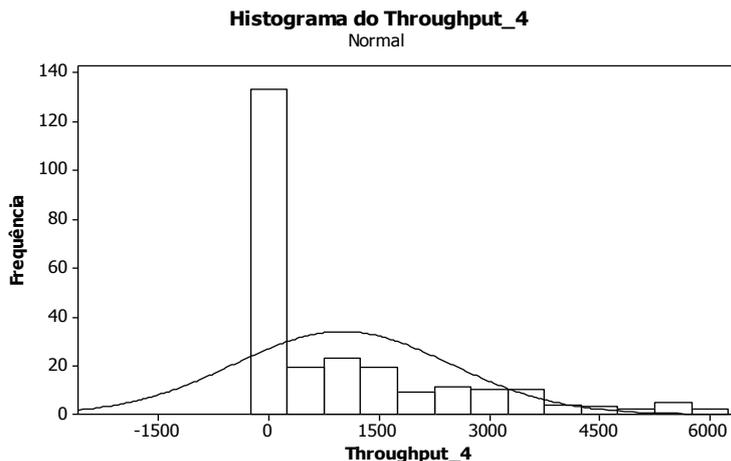


Figura 11 – Histograma do parâmetro *throughput*.

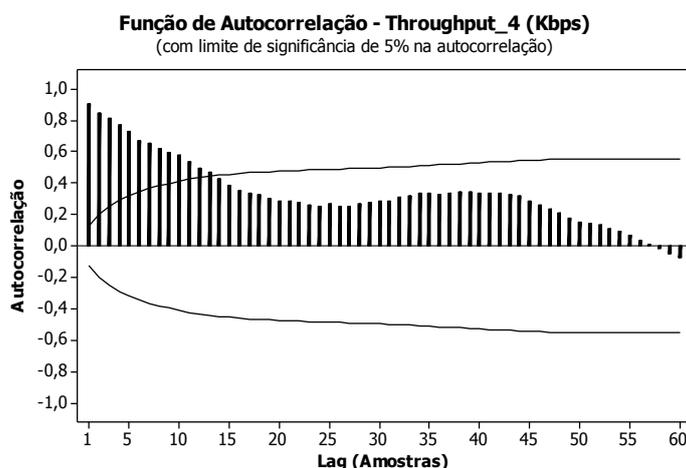


Figura 12 – Autocorrelação do parâmetro *throughput*.

Pode-se ver na Tabela 9 um valor muito elevado para o desvio padrão e, conseqüentemente, para a variância. Isso ocorre por que o *throughput* é medido na camada física, sendo a taxa de velocidade de *download* na recepção do aparelho móvel usado no *drive test*. Por se tratar de tráfego por rajada, essa taxa depende das solicitações do dispositivo móvel e tem momentos em que a rede HSDPA não transmite para o móvel por diferentes motivos. Tem momentos em que essa taxa é zero e de repente vai para 5000 Kbps. Então, muitas vezes o desvio da média é alto entre uma amostra e outra.

A predição de 10% (25) do volume de amostras (250) da série temporal *throughput_4* é apresentada na Figura 13.

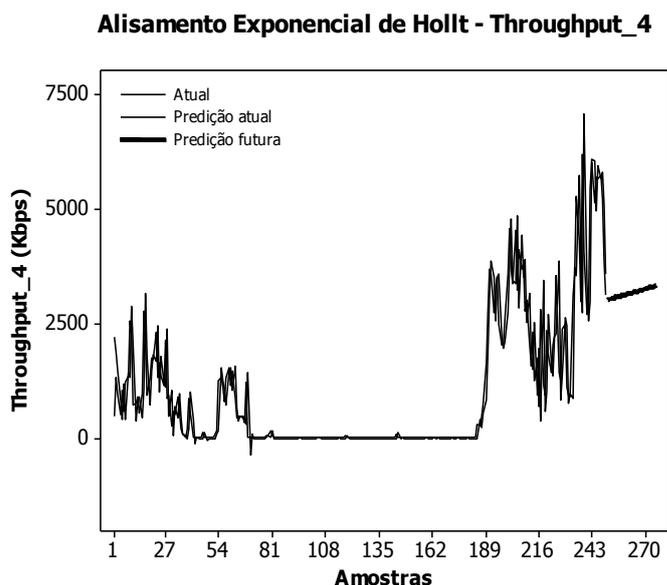


Figura 13 – Predição para throughput_1 usando o Modelo de Holt.

6 RESULTADOS DE PREDIÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS DOS PARÂMETROS ANALISADOS

Comparando as quatro séries trabalhadas na sessão anterior, o modelo ajustado de Alisamento Exponencial de Holt das séries temporais que apresentou o menor MAPE foi a RSCP_1, o menor MAD e MSD foi à série temporal Ec/lo_1 conforme listado na Tabela 10.

Foram calculadas as médias das constantes de nível α e tendência β das tabelas IV e VI dos parâmetros RSCP e Ec/lo para análise e modelagem de um novo modelo de Alisamento Exponencial de Holt obtendo novas medidas de acurácia para comparar com as medidas de acurácia de amostras externas que foram obtidas em novo *drive test*, distinto do *drive test* apresentado neste trabalho. Na Tabela 11 são apresentadas as medidas de acurácia da média das constantes de tendência e nível, na Tabela 12 são apresentadas as medidas de acurácia das amostras externas (novo *drive test*).

Tabela 10 – Resultados finais para o Modelo de Holt.

PARÂMETRO	AMOSTRAS	α	β	MAPE	MAD	MSD
Rx Power_1	250	1,1268	0,0045	3,4912	2,3792	11,1031
RSCP_1	250	1,9819	0,0125	2,4627	1,8541	6,1842
Ec/lo_1	245	1,1230	0,0053	17,680	1,0775	2,2854
Throughput_4	250	1,2420	0,01036	88	370	467686
Rx Power_1	250	1,1268	0,0045	3,4912	2,3792	11,1031

Tabela 11 – Modelo de Holt – Médias das constantes α e β .

PARÂMETRO	AMOSTRAS	α	β	MAPE	MAD	MSD
RSCP	250	1,2431	0,0098	2,4868	1,8728	6,3261
Ec/Io	245	1,1474	0,0090	17,5990	1,0793	2,2896

Tabela 12 – Modelo de Holt – novo drive test.

PARÂMETRO	AMOSTRAS	α	β	MAPE	MAD	MSD
RSCP	250	0,990	0,009	2,4472	2,0268	7,4072
Ec/Io	245	1,1082	0,0096	13,1111	0,9807	2,2855

Comparando as séries temporais que constam as médias constantes de amortecimento de nível e tendência na Tabela 10 e as amostras do novo *drive test* na Tabela 11, foi observado que o parâmetro RSCP apresentou o melhor MAPE e o parâmetro Ec/Io apresentou os melhores MAD e MSD ambos oriundos do novo *drive test*. Diante dos resultados apresentados, será realizado o estudo das duas séries a seguir.

Conforme informado em seção anterior deste trabalho, os parâmetros das séries temporais escolhidos RSCP e Ec/Io relacionam-se matematicamente da seguinte forma: RSCP (dBm) = RSSI (dBm) + Ec/Io (dBm). A série temporal das amostras do Ec/Io se caracteriza pela estatística descritiva apresentada na Tabela 13 e figuras 14 e 15.

Tabela 13 – Estatística descritiva para o parâmetro Ec/Io da nova série.

VARIÁVEL	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	VARIÂNCIA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	ASSIMETRIA	CURTOSE
Ec/Io	-8,231	1,817	3,302	-15,390	-3,450	0,43	1,07

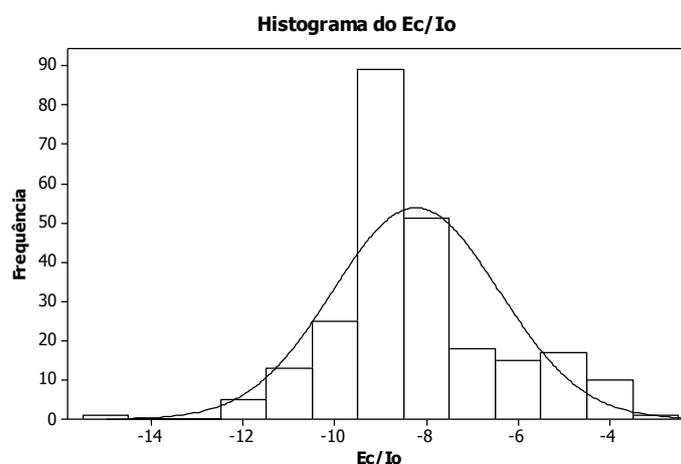


Figura 14 – Histograma do parâmetro Ec/Io.

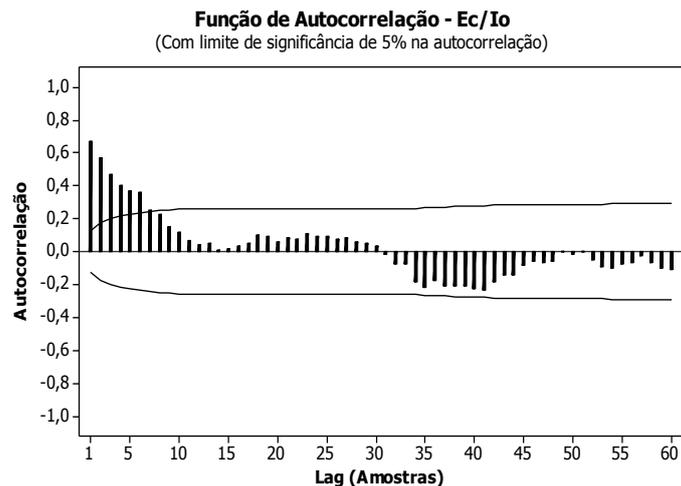


Figura 15 – Autocorrelação do parâmetro Ec/Io.

A predição de 10% (25) do volume de amostras (240) da nova série temporal Ec/Io é apresentada na Figura 16.

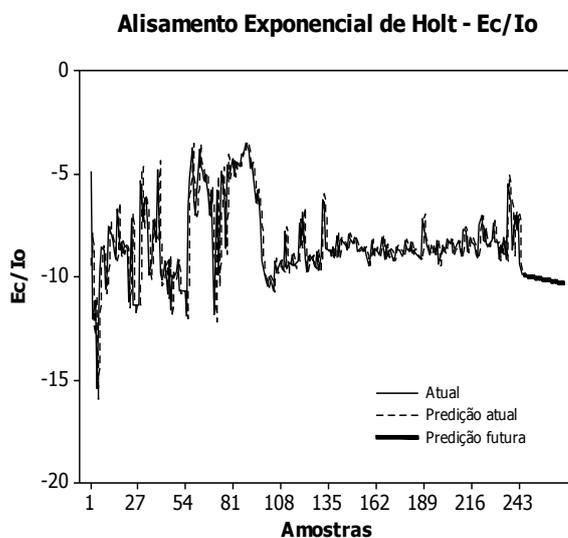


Figura 16 – Predição para a nova série de Ec/Io usando o Modelo de Holt.

A série temporal das amostras do RSCP se caracteriza pela estatística descritiva apresentada na Tabela 14 e figuras 17 e 18.

Tabela 14 – Estatística descritiva para o parâmetro RSCP da nova série.

VARIÁVEL	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	VARIÂNCIA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	ASSIMETRIA	CURTOSE
RSCP	-82,87	7,59	57,67	-104,97	-67,42	-0,57	0,44

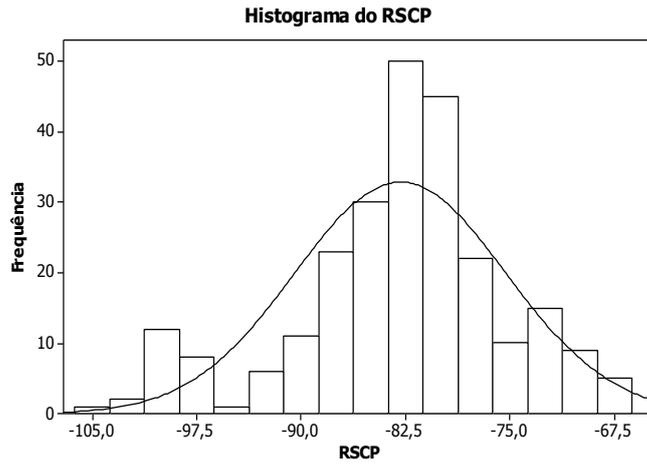


Figura 17 – Histograma do parâmetro RSCP.

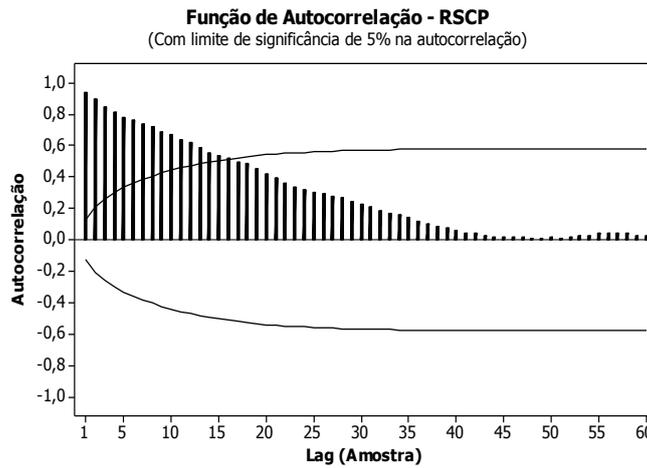


Figura 18 – Autocorrelação do parâmetro RSCP.

A predição de 10% (25) do volume de amostras (240) da nova série temporal Ec/Io é apresentada na Figura 19.



Figura 19 – Predição para a nova série de Ec/Io usando o Modelo de Holt.

7 CONCLUSÕES

As séries de RSCP e E_c/I_0 têm correlação de Pearson no valor de 0,177 (fraca correlação), portanto, indica que as séries quase não têm dependência linear uma da outra, mas pode existir uma dependência não linear que aqui não será analisada por não ser o foco deste trabalho. Para realização do cálculo da correlação de Pearson foram desconsideradas cinco amostras (2%) da série RSCP para ficar com a mesma quantidade de amostras (245) da série E_c/I_0 .

Armstrong & Collopy (1992), também ressaltam preferência de escolha das medidas MAD, MSD e MAPE em métodos de previsão.

Quanto menor o valor de MAPE melhor o ajuste do modelo. Para as duas séries externas RSCP (MAPE=2,44724) e E_c/I_0 (MAPE=13,1111) os resultados de precisão dos métodos (MAPE) são coerentes com estudos empíricos prévios [22] que variam entre 3% e 13%. Para os valores de MAD, em geral, compara-se o valor do erro acumulado com o valor de 4. Quando ultrapassar este valor, o problema deve ser identificado e o modelo deve ser revisto. Obtivemos modelos para a séries externas do RSCP com as medidas de acurácia (MAD=2,02680) e E_c/I_0 (MAD=0,9807).

A metodologia de suavização exponencial de Holt, um dos métodos de maior complexidade, foi abordado por ter a capacidade de modelar de forma satisfatória grande parte das séries temporais existentes em situações práticas (BIANCHI, 1993).

Diante das medidas de acurácia obtidas neste trabalho, podemos afirmar que o modelo de Alisamento Exponencial de Holt é indicado para análise, modelagem e previsão de boa parte de séries temporais de parâmetros (Rx Power, RSCP e E_c/I_0) WCDMA/HSPA aqui apresentadas e em especial as séries temporais RSCP e E_c/I_0 oriundas das amostras de no *drive test*.

O parâmetro *Throughput* tem as medidas de acurácia que divergem bastante das medidas de acurácia das séries temporais Rx Power, RSCP e E_c/I_0 , isso por ter características estatísticas bem distintas com altos valores para médias, variância e desvio padrão, também podemos observar que suas séries têm várias amostras com o valor zero durante alguns trajetos do *drive test*, se trata de um parâmetro que medi a velocidade de tráfego de dados que opera por rajadas de dados não determinísticas na rede WCDMA/HSPA.

A predição futura de parâmetros medidos através de drive test na rede WCDMA/HSPA em pleno funcionamento dar uma visibilidade antecipada de áreas críticas em regiões urbanas com coberturas problemáticas que apresentem tendências de degradação da qualidade do sinal em ritmo muita vezes acelerado. Ações antecipadas podem ser tomadas pelos responsáveis por Otimização e Planejamento de investimentos das redes WCDMA/HSPA, evitando perda de receita e reclamações de clientes usuários nas companhias que operam as redes móveis celulares.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARMSTRONG, J. S.; COLLOPY, F. Error Measures For Generalizing About Forecasting Methods: Empirical Comparisons. International Journal of Forecasting. v.8, p. 69-80, 1992.
2. BARROS, M., Processos Estocásticos, Papel Virtual, Rio de Janeiro 2004.
3. BIANCHI, L.; JARRETT, J. E.; HANUMARA, R. C. Forecasting incoming calls to telemarketing

- centers. *The Journal of Business Forecasting Methods & Systems*. v. 12, n. 2; p. 3-12, 1993.
4. BLOGH, J. S. and HANZO, L., *Third Generation Systems and Intelligent Wireless Networking—Smart Antennas and Adaptive Modulation*, John Willey & Sons, Chichester, 2002.
 5. BOX, G. E. P., JENKINS, G. M., *Time Series Analysis Forecasting and Control*. Holden Day, California, 1976.
 6. BOX, G. E. P., JENKINS, G. M. and REINSEL, G. C., *Time Series Analysis Forecasting and Control*. Prentice Hall, New Jersey, 1994.
 7. CHATFIELD, C., *Time-series forecasting*, Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, 2000.
 8. CUI, T., *et. al.*, First Order Adaptive IIR Filter for CQI Prediction in HSDPA, 2010, *IEEE Transactions on Education*, 1-5, 18-21.
 9. FADER, P. S.; HARDIE, B. G. S.; ZEITHAMMER, R. Forecasting new product trial in a controlled test market environment. *Journal of Forecasting*. v. 22, 2003, p. 391-410.
 10. HYNDMAN, R. J.; KOEHLER, A. B. Another Look at Measures of Forecast Accuracy. *International Journal of Forecasting*. v.22, p. 679-688, 2006.
 11. KAARANEN, Heikki *et al.*, *UMTS NETWORKS: Architecture, Mobility and Services*, John Wiley & Sons Ltd, Inc., West Sussex, 2005.
 12. KLOCKAR, L., SIMONSSON, A., GUNNARSSON, F., & Borg, A., 'Channel Characterization and HSDPA Bit Rate Prediction of a Dense City Network', 2009, *IEEE Transactions on Education*, 1-5, 26-29.
 13. MAKRIDAKIS, S.; WHEELRIGHT, S. C.; HYNDMAN, R. J. *Forecasting - Methods and Applications*. New York: John Wiley, 1998.
 14. MONTGOMERY, D. C., JERNINGS, C., L and KULAHCI, M., *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*, John Wiley & Sons, New Jersey, 2008.
 15. MORETTIN, P. A, TOLOI C. M. C., *Modelos para Previsão de Séries Temporais*, Instituto de Matemática Pura e Aplicada, Rio de Janeiro, 1981.
 16. NOKIA (2003), *HSDPA Solution*, Nokia Group, Finland. *http://www.itu.int/ITU-D/tech/NGN/Manual/ManualAddReferences/A_3_2_3.pdf
 17. SALLEN, O., *et. al.*, A roadmap from UMTS optimization to LTE self-optimization, *IEEE Transactions on Education*, 49 (6), 172-182, 2011.
 18. TOUHEED, H., QUDDUS, A.U. and TAFAZOLLI, R., Predictive CQI reporting for HSDPA, (2008). *IEEE Transactions on Education* 1-5, 15-18.
 19. ZHENG, Y., *et. al.*, A modified ARIMA model for CQI prediction in LTE-based mobile satellite communications, 2012, *IEEE Transactions on Education*, 822-826, 23-25.
 20. WEI, W. W. S., *Time Series Analysis – Univariate and Multivariate Methods*, Pearson Education, Boston, 2006.
 21. WRIGHT, G.; LAWRENCE, M.; COLLOPY, F. The Role of validity of Judgement in Forecasting. *International Journal of Forecasting*. v. 12, n. 1, p. 1-8, 1996.