

5 Previsão de desempenho e análise dos resultados

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos durante o tratamento dos dados de desempenho medidos nos períodos de julho de 2002 a janeiro de 2003, para as Seções de Multiplexação, e os resultados finais obtidos para o período de junho de 2003 a janeiro de 2004, para as Seções de Multiplexação e para as Seções de Regeneração.

Os resultados foram agrupados em tabelas com os valores de SESR referentes aos piores meses dos períodos de medição para cada Seção de Multiplexação e para cada Seção de Regeneração.

5.1. Análise do tronco rádio baseado nas medições realizadas nas Seções de Multiplexação (SMS)

Inicialmente foi feita uma análise do desempenho do tronco rádio com os dados obtidos das Seções de Multiplexação.

A tabela 8 abaixo apresenta os valores de SESR medidos nos períodos de julho de 2002 a janeiro de 2003 e de junho de 2003 a janeiro de 2004, a média de SESR nos dois períodos e o valor de SESR calculado. Estão destacados também, para cada período de medição, os meses e as Seções com piores resultados

MEDIDO NO ADM - SEÇÃO MUX	PIOR MÊS	PIOR SEÇÃO	VALOR PIOR MÊS	VALOR TOTAL TRONCO
SESR MEDIDO (jul/02 a jan/03)	dez/02	CBA - JTI	6,27E-03	6,28E-03
SESR MEDIDO (jun/03 a jan/04)	out/03	CBA-JTI	1,15E-03	1,32E-03
MEDIA SESR MEDIDO			3,71E-03	3,80E-03
SESR CALCULADO				4,99E-03

Tabela 8: Análise dos dados medidos nas Seções de Multiplexação

Como pode ser observado da tabela 8, a seção de Multiplexação com pior desempenho é a CBA-JTI, em ambos os períodos de medição.

Esse resultado já era esperado por ser a Seção com maior comprimento total, 572km, possuindo 12 Seções de regeneração, totalizando 13 Estações rádio.

No período de julho de 2002 a janeiro de 2003, o mês com pior desempenho foi o de dezembro e no período de junho de 2003 a janeiro de 2004 foi outubro.

O valor médio medido de SESR para o tronco foi de $3,80 \times 10^{-3}$ e o valor calculado através da aplicação da metodologia de predição de desempenho proposta na Recomendação ITU-R P.530-10, foi de $4,99 \times 10^{-3}$.

Quando esses valores são comparados verifica-se uma boa aproximação entre eles, ou seja, a diferença entre os dois valores é pequena. Portanto, numa primeira análise, foi verificado que existe uma boa precisão do modelo de predição de desempenho.

Entretanto ainda é necessária uma avaliação mais consistente desse modelo para podermos concluir se pode ser aplicado também em regiões com clima tropical ou equatorial. Para isso iremos utilizar os resultados obtidos nas medições realizadas nesse mesmo tronco, só que nas Seções de Regeneração.

5.2. Análise do tronco rádio baseado nas medições feitas nas Seções de Regeneração (SRS)

As medições feitas nas Seções de Regeneração apresentam uma quantidade bem maior de valores de SESR, permitindo uma melhor avaliação da precisão e aplicação do modelo em uma região com clima tropical ou equatorial.

O anexo M apresenta uma tabela com os valores de SESR medidos no período de junho de 2003 a janeiro de 2004, por Seção de Regeneração.

Nesta tabela estão indicados os valores medidos e calculados, destacando-se o mês com o pior resultado, o percentual de tempo de medição válido neste mês e o sentido em que foi obtido o pior valor de SESR.

5.2.1. Cálculo do desempenho total do tronco rádio através dos resultados das Seções de Regeneração

Para o cálculo do desempenho total do tronco rádio foi gerada uma tabela com os valores medidos em cada Seção de Regeneração no mês de outubro de 2003. Este mês foi o de pior desempenho do tronco rádio como um todo, e portanto será utilizado para o cálculo do desempenho do tronco no pior mês do período.

A tabela 9 abaixo mostra os valores de SESR medidos no mês de outubro de 2003 para todas as Seções de Regeneração do tronco rádio.

SEÇÃO REGENERAÇÃO	SESR MEDIDO OUT/03
CBA-CGI	4,03E-06
CGI-SJDS	1,00E-06
SJDS-PSTA	5,03E-07
PSTA-ROIFS	0,00E+00
ROIFS-PXP	1,00E-05
PXP-SVIA	8,05E-06
SVIA-ALT	1,91E-05
ALT-ALU	1,51E-05
ALU-PEZ	4,93E-05
PEZ-MNI	4,23E-05
MNI-SZWL	1,02E-03
SZWL-JTI	6,40E-04
JTI-BNCF	4,02E-06
BNCF-RVD	6,19E-05
RVD-SAAB	2,42E-05
SAAB-AEU	3,77E-05
AEU-IDR	3,27E-05
IDR-PSLD	4,18E-05
PSLD-GNA	8,11E-05

Tabela 9: SESR medido em outubro 2003 por Seção de Regeneração

Utilizando esses valores foi possível calcular o desempenho do tronco no pior mês de medição fazendo o somatório dos valores de todas as Seções de Regeneração.

$$\text{Logo : } SESR_{\text{Tronco}} = \sum_{i=1}^n SESR_i$$

O valor obtido para o tronco rádio foi $2,0945 \times 10^{-3}$

Entretanto essa forma de cálculo adiciona um erro, pois os SES ocorridos simultaneamente nas seções adjacentes são somados duas vezes.

A nova orientação do ITU-R recomenda que o cálculo do SESR do tronco seja feito pelo somatório dos resultados de cada Seção de Regeneração subtraindo os valores de SES que ocorreram simultaneamente nas Seções adjacentes.

Dessa forma o cálculo atual fica:

$$SESR_{\text{Tronco}} = \sum_{i=1}^n SESR_i - \sum_i SESR_i \times SESR_{i+1}$$

O valor obtido para o desempenho total do tronco rádio com essa nova abordagem foi $2,0937 \times 10^{-3}$.

Pode-se observar que os valores são praticamente iguais, não havendo diferença significativa entre a abordagem anterior e a nova orientação do ITU-R para o cálculo do desempenho total do tronco rádio.

5.2.2. Análise do desempenho do tronco através das Seções de Regeneração

Neste item será feito um estudo dos valores individuais medidos por Seção de Regeneração visando a análise propriamente dita do tronco.

Através do anexo M, que apresenta os resultados medidos e calculados de SESR por Seção de Regeneração, podem ser feitas as seguintes observações, quanto ao desempenho, qualidade do tronco rádio CBA-GNA :

- O sentido com pior desempenho é de leste (Goiânia) para oeste (Cuiabá)
- O mês que mais vezes aparece como sendo o de pior desempenho é o mês de outubro de 2003, 11 vezes, seguido dos meses de agosto, 5 vezes, julho, 2 vezes e junho com apenas 1 vez.
- Os cinco piores lances em ordem decrescente, em termos de desempenho medido (SESR medido) são: SZWL-MNI, SZWL-JTI, PXP-SVIA, ROIFS-PXP e SVIA-ALT.

Todos esses lances apresentaram resultados de SESR medidos muito elevados, variando de 2,74 a 26,35 vezes o valor do Objetivo de desempenho calculado para todo o tronco rádio, na época do seu projeto e implantação.

A Recomendação do ITU-R adotada na época para a determinação do objetivo de desempenho desse tronco rádio foi a ITU-R F.1092 e o valor obtido para SESR foi de $3,87 \times 10^{-5}$

- Fazendo uma alocação do desempenho total pelos 19 lances, adotando como critério para cada lance o produto do valor total do objetivo do tronco pela razão entre o comprimento do lance e o comprimento total do tronco, verificamos que todos os lances obtiveram resultado de SESR medidos acima do valor alocado para cada lance, sendo que o melhor valor obtido foi 1,33 vez o valor do objetivo e o pior valor foi de 533,56 vezes o valor do objetivo alocado para o lance.

Portanto, fica claro que o tronco CBA-GNA apresentou durante o período de medição (junho de 2003 a janeiro de 2004) um desempenho quanto à qualidade que não atende ao objetivo de desempenho para o qual foi projetado.

Ressalte-se que em virtude da grande variação que ocorre nas condições de propagação de um período para o outro (mensal, anual), o ideal seria avaliar o desempenho do tronco por um período maior, em torno de 5 anos.

Quanto à disponibilidade, o valor calculado pelo programa “Wings Planner” para todo o tronco é de 99,985%. Esse valor é melhor do que o valor do objetivo de desempenho calculado através da Recomendação ITU-R F.695, 99,930%, que foi a utilizada durante o projeto do tronco.

Como alternativas para a melhoria do desempenho do tronco, seguem as sugestões abaixo listadas, que podem ser implementadas isoladamente ou em conjunto, após a avaliação individual de cada caso:

- Implantar, se possível, diversidade de espaço em todos os lances que ainda não a possuem, ou seja, nos lances CBA-CGI, PSTA-ROIFS, ROIFS-PXP, PXP-SVIA, SVIA-ALT, PEX-MNI, BNCF-RVD, RVD-SAAB, SAAB-AEU e AEU-IDR.

Caso este procedimento não seja viável (alto custo), priorizar, em ordem decrescente de importância, a implantação de diversidade de espaço nos lances com os piores desempenhos, ou seja, PXP-SVIA, ROIFS-PXP, SVIA-ALT, BNCF-RVD e PEZ-MNI.

- Aumentar a inclinação dos lances através da diminuição da altura da antena em uma das pontas do lance. Este procedimento deverá ser realizado, se possível, em todos os lances. Caso contrário, deverão ser priorizados os lances com os piores desempenhos.

Os 5 lances com as menores inclinações, em ordem crescente são:

PSLA-GNA, MNI-SZWL, PSTA-ROIFS, JTI-BNCF e RVD-SAAB.

- Verificar a possibilidade de ajustar as posições das antenas atuais, buscando um novo posicionamento das antenas nas torres. Este procedimento busca a ótima escolha da altura das antenas e diminuir a interferência de ondas refletidas na superfície na onda direta.
- Após a implementação de modificações no tronco, realizar novas medições de desempenho e verificar se houve melhora suficiente para o atendimento dos objetivos de desempenho. O tempo ideal para a avaliação é de um ano.
- Caso nenhuma das alternativas anteriores surtam efeito suficiente para fazer com que o desempenho do tronco atenda aos objetivos de desempenho do ITU-R, ainda é possível verificar a viabilidade de inserir novas estações repetidoras no tronco.

Esta solução é extremamente onerosa e só deve ser adotada no último caso.

5.2.3. Comparação dos resultados medidos e calculados para as Seções de Regeneração

Para fins de análise não será considerado o resultado calculado para a Seção PXP-SVIA pois o seu perfil de enlace, obtido do mapa digitalizado da América do Sul, não está correto, indicando erradamente que este lance está obstruído. Com essa condição, o cálculo da predição de desempenho foi realizado com uma margem líquida do lance muito menor que a verdadeira, levando a um resultado muito pior do que o que seria obtido com o enlace desobstruído.

A tabela 10 abaixo apresenta um resumo dos resultados mostrados no anexo M, sem a Seção PXP-SVIA.

SEÇÃO DE REGENERAÇÃO	SESR MEDIDO PIOR MÊS	SESR CALCULADO PIOR MÊS
CBA-CGI	4,03E-06	4,11E-06
CGI-SJDS	3,86E-06	5,67E-06
SJDS-PSTA	3,47E-06	1,14E-06
PSTA-ROIFS	1,00E-05	1,14E-05
ROIFS-PXP	1,12E-04	1,15E-05
PXP-SVIA	1,16E-04	-
SVIA-ALT	1,06E-04	2,87E-06
ALT-ALU	4,01E-05	2,07E-06
ALU-PEZ	4,93E-05	5,08E-06
PEZ-MNI	4,23E-05	6,59E-06
MNI-SZWL	1,02E-03	4,10E-07
SZWL-JTI	6,40E-04	3,23E-06
JTI-BNCF	4,63E-05	3,29E-07
BNCF-RVD	6,19E-05	4,41E-06
RVD-SAAB	2,42E-05	1,18E-05
SAAB-AEU	3,77E-05	1,21E-05
AEU-IDR	3,27E-05	3,29E-06
IDR-PSLD	4,18E-05	1,28E-06
PSLD-GNA	8,11E-05	3,58E-07

Tabela 10: Comparação SESR medido x SESR calculado pior mês.

Como pode ser observado, os resultados medidos e calculados apresentam valores próximos. Nos lances CBA-CGI, CGI-SJDS, SJDS-PSTA, PSTA-ROIFS, RVD-SAAB e SAAB-AEU, a diferença é muito pequena, estando os resultados na mesma ordem de grandeza.

Nos demais lances a diferença aumenta, mostrando uma boa diferença entre os resultados medidos e calculados.

Para facilitar a comparação entre os valores de SESR medidos e calculados, o logaritmo dos resultados são mostrados na Figura 18, em escala linear, permitindo uma boa visualização das diferenças entre valores para todos os enlaces.

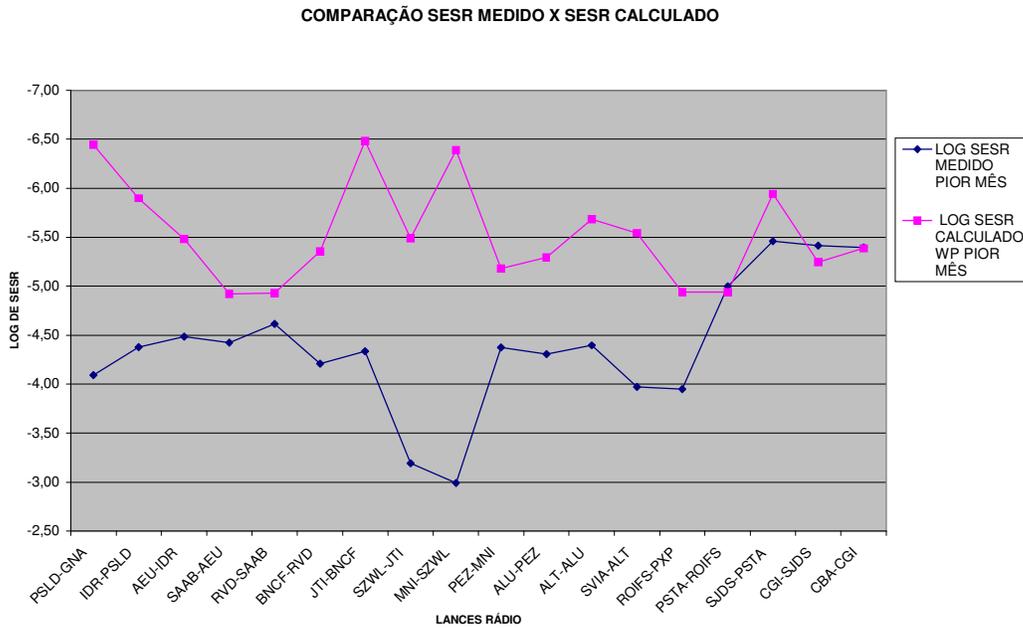


Figura 18: Gráfico linha SESR medido x SESR calculado por SRS.

A figura 19 mostra um gráfico de dispersão entre os valores medidos e calculados.

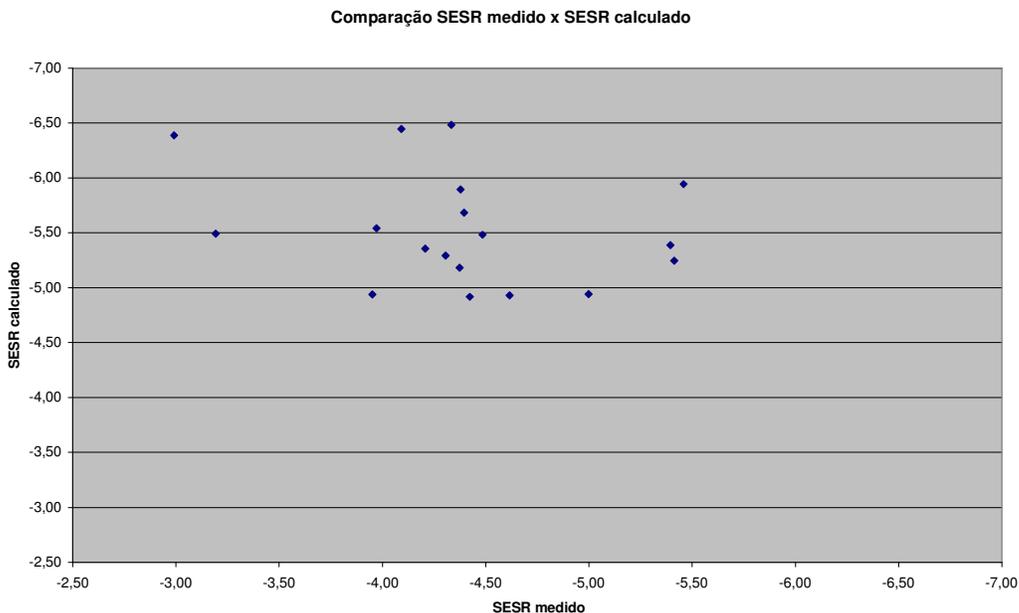


Figura 19: Gráfico de dispersão SESR medido x SESR calculado por SRS

Observa-se que, em 15 lances (maioria absoluta) os resultados calculados pelo modelo de predição de desempenho são bastante otimistas. Isto reflete o fato de que a região onde se encontram os enlaces é fortemente sujeita a efeitos anômalos de propagação.

Os resultados mostrados incluem tanto os enlaces com diversidade como os enlaces sem diversidade. Portanto, os erros de previsão refletem tanto a imprecisão do método de previsão de desempenho como do método de previsão da melhoria por diversidade. Foram gerados dois novos gráficos de dispersão, mostrados abaixo, dos valores de SESR medidos e calculados, um somente com os enlaces que não possuem diversidade e outro somente com os enlaces que possuem diversidade. Os resultados são apresentados abaixo:

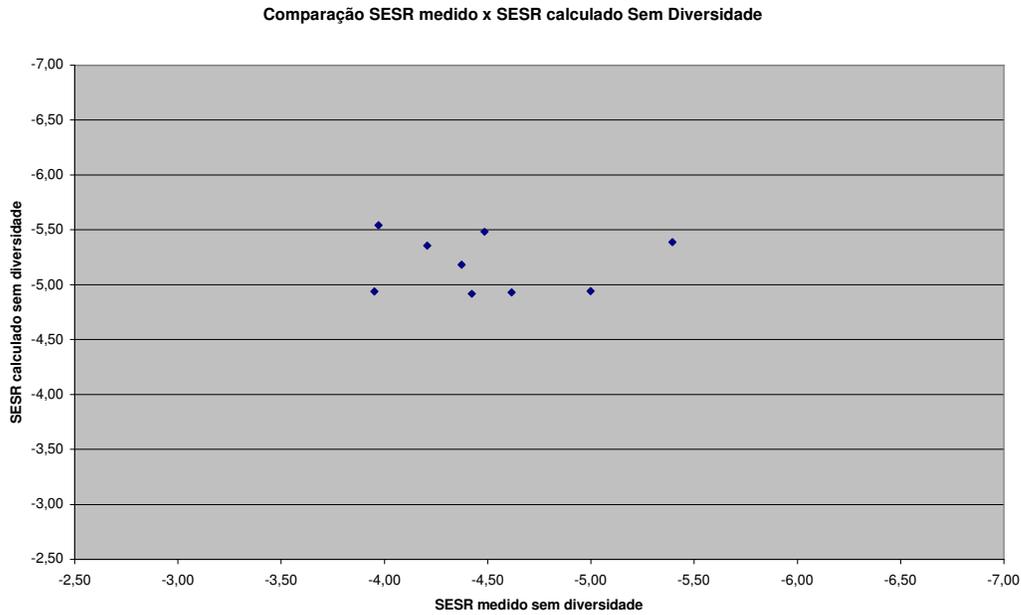


Figura 20: SESR medido x SESR calculado por SRS sem diversidade

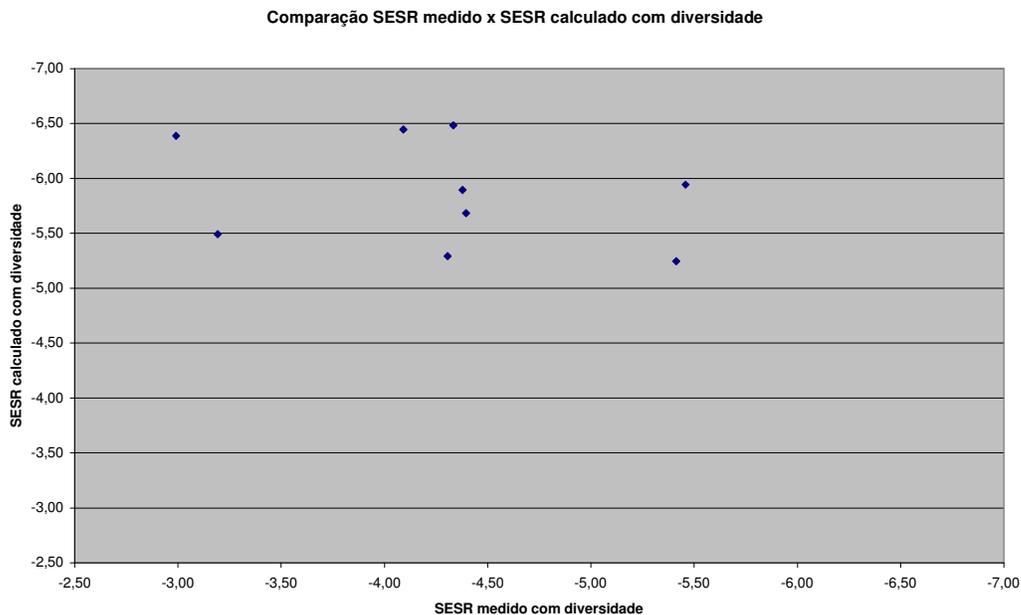


Figura 21: SESR medido x SESR calculado por SRS com diversidade

A observação dos gráficos das figuras 20 e 21 mostram que os resultados obtidos para os lances que possuem diversidade apresentam erros mais elevados do que os lances que não possuem diversidade.

5.3. Estudo de modificações no modelo de predição de desempenho

Como foi mostrado nos itens anteriores, o modelo de predição de desempenho desenvolvido pelo ITU-R na Recomendação P.530-10 foi desenvolvido em cima de medições realizadas em troncos rádios digitais implantados na Europa, ou seja, em regiões com o clima temperado.

Quando esse modelo foi aplicado a um tronco rádio digital implantado no Brasil, mais precisamente na região Centro Oeste do Brasil cujo tipo de clima é tropical – equatorial, os resultados comparativos entre os valores medidos de SESR e calculados através do modelo, mostraram que o modelo é otimista para estes climas.

Dessa forma, será feito um estudo visando à proposição de novos coeficientes para uma melhor adequação do modelo atual ao clima tropical – equatorial.

Como primeira etapa para a definição de um novo modelo foi criada uma tabela no Excel com o cálculo passo a passo do desempenho de cada Seção de Regeneração utilizando a metodologia proposta na Recomendação do ITU-R P.530.

A metodologia especifica que para o cálculo da probabilidade de falha seletiva (P_s) é necessário antes obter o valor do parâmetro de assinatura k_n , que é função das características do equipamento rádio.

Este valor deverá ser referente ao limiar da taxa de erro de bits correspondente ao evento de SES.

5.3.1. Objetivo de SESR

As especificações das Recomendações G826 e G828 baseiam-se em taxa de erro de blocos, o que dificulta o cálculo de desempenho porque todos os parâmetros dos equipamentos (limiar de recepção, curva de assinatura, etc.) são baseados em taxa de erro de bits.

Não existe uma correspondência direta entre a taxa de erro de blocos e a taxa de erro de bits, dependendo de diversos fatores, como a distribuição dos erros (aleatórios e em rajadas), tipo de modulação, utilização de códigos corretores de erro (FEC), características topológicas e climáticas do enlace, etc.

Estudos realizados por diversos organismos internacionais mostram que para os rádios de alta capacidade o limiar de TEB correspondente ao evento SES (TEB_{SES}) varia entre 10^{-4} e 10^{-5} , dependendo dos fatores citados.⁷

O ITU_R propôs uma fórmula preliminar para conversão aproximada do limiar de TEB correspondente ao evento de SES em SESR, considerando que os bits errados se distribuem uniformemente dentro dos blocos. Na realidade os erros ocorrem normalmente em rajadas e nesse caso, os valores de SESR serão menores que o do modelo preliminar.²

A fórmula específica que a probabilidade de uma TEB ser maior ou igual a TEB_{SES} é aproximadamente igual ao SESR, e é mostrada a seguir:

$$SESR \approx P(TEB \geq 0,36/\text{tamanho do bloco})$$

onde $0,36/\text{tamanho do bloco}$ é igual a limiar de TEB (TEB_{SES}) para a ocorrência de SES.

Para a taxa de 155 Mbit/s na Hierarquia Digital Síncrona (SDH), o tamanho do bloco segundo a Recomendação G.826 é 18792 bits. Portanto pela fórmula acima, a TEB_{SES} em um sistema SDH operando em 155 Mbit/s é aproximadamente $1,9 \times 10^{-5}$. Esse valor está de acordo com o citado em [7].

A seguir é apresentada uma curva que mostra a relação entre a TEB e o percentual de blocos errados em rádios de alta capacidade, nesse caso 140 Mbps, de acordo com a Rec. ITU-R F 1397.

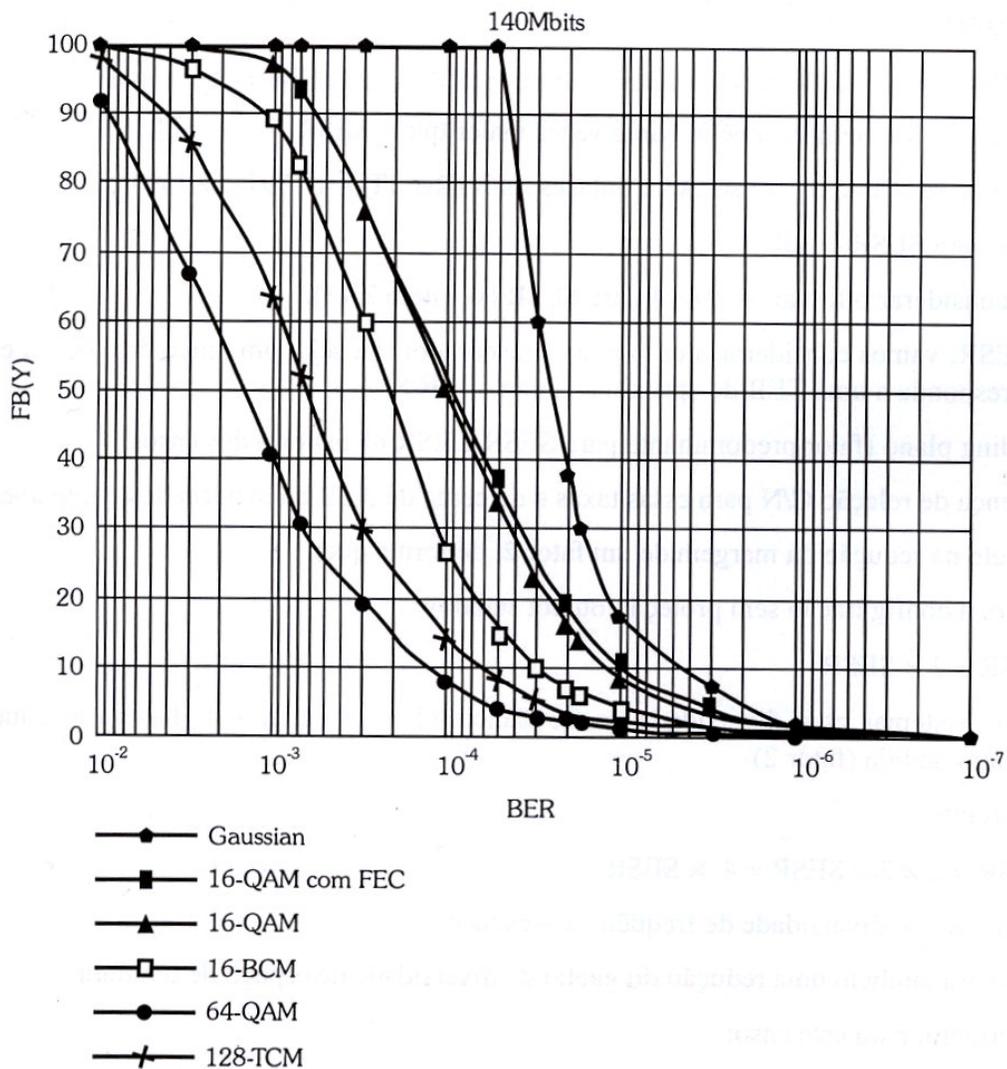


Figura 22: Relação entre TEB e percentual de blocos errados para vários tipos de modulação (Rádio de 140 Mbps)

Os cálculos de desempenho são realizados considerando os parâmetros do equipamento rádio (limiar de recepção, curva de assinatura, etc.) correspondente a TEB_{SES} (aproximadamente 10^{-4}). Em face ao exposto, foi utilizada a curva de assinatura abaixo, levantada no rádio Alcatel instalado e em operação no tronco rádio CBA-GNA, para a determinação do valor de kn . O valor obtido foi $kn = 0,446$.

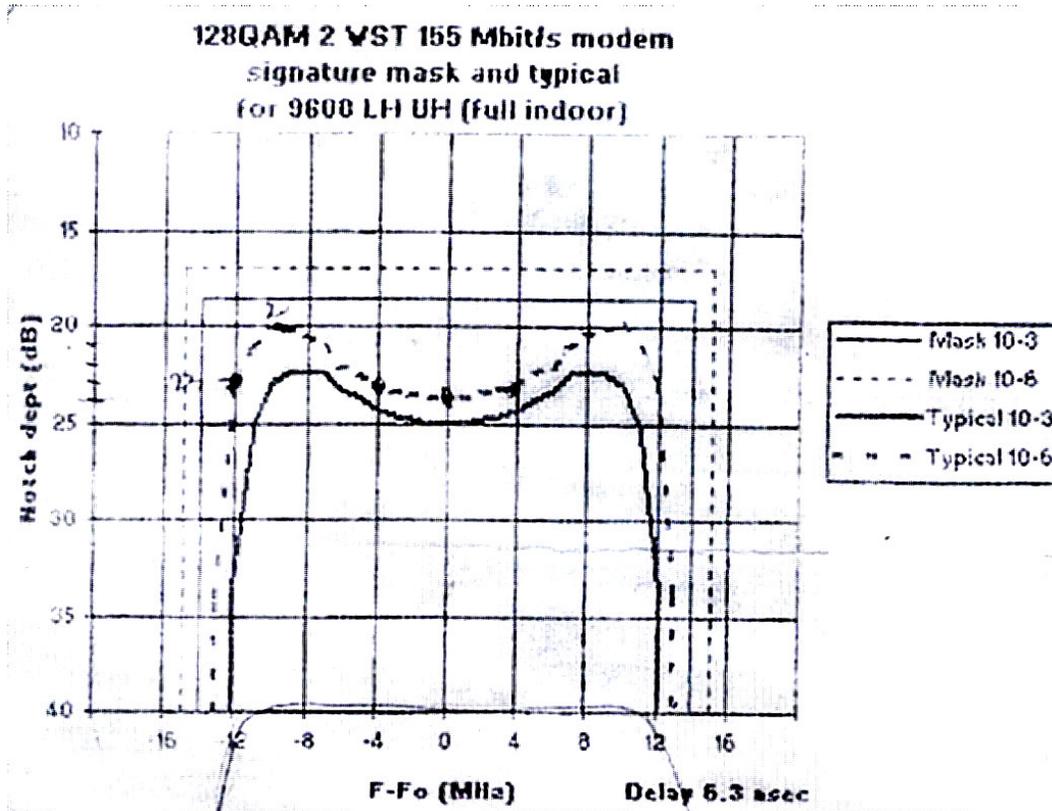


Figura 23: Curva de assinatura do rádio Alcatel 6G – 155 Mbps

5.3.2. Análise do fator geoclimático(K)

Como foi comentado anteriormente, o modelo de predição de desempenho desenvolvido pelo ITU-R na Recomendação P.530-10 foi desenvolvido com base em medições realizadas em troncos rádios digitais implantados na Europa, ou seja, em regiões com o clima temperado.

Quando esse modelo foi aplicado a um tronco rádio digital implantado no Brasil, mais precisamente na região Centro Oeste do Brasil cujo tipo de clima é tropical – equatorial, os resultados comparativos entre os valores medidos de SESR e calculados através do modelo, demonstraram boa aproximação apenas para alguns lances.

Dessa forma, foi feito um estudo visando a proposição de novos coeficientes para uma melhor adequação do modelo atual ao clima tropical – equatorial. Como primeira etapa foi criada uma tabela no Excel com o cálculo passo a passo do desempenho de cada Seção de Regeneração utilizando a metodologia proposta na Recomendação do ITU-R P.530-10. A partir dessa tabela foram calculados, para cada lance, os valores ideais do fator geoclimático K para

que os resultados de SESR calculados fossem iguais aos resultados de SESR medidos. Esses novos valores de K foram denominados K corrigido.

A fim de comparar os valores de K, obtido através do modelo, com o valor de K corrigido, foi gerado o gráfico de dispersão com o logaritmo dos valores, abaixo apresentado:

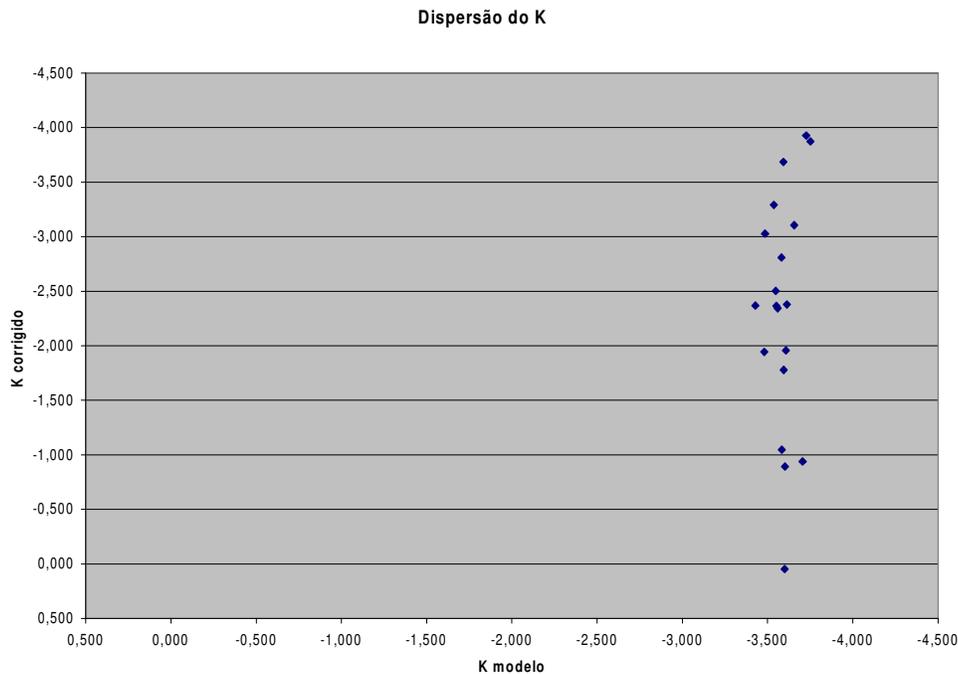


Figura 24: Comparação do fator geoclimático do modelo com o fator K corrigido

A observação desse gráfico mostra a grande dispersão existente entre os valores de K calculados pelo modelo de predição e o valor de K obtido pela comparação entre os valores medidos e calculados de SESR.

Utilizando os valores de K_{modelo} e K_{corrigido} e um software estatístico adequado foram recalculados os novos valores dos coeficientes da equação utilizada para o cálculo preciso do K (item 3.5.2.1.1), extraída do modelo de predição de desempenho atual, para que os resultados medidos ficassem o mais próximo possível dos calculados.

Os resultados obtidos permitem a proposição de um ajuste na equação atual para o cálculo de K, mais adequada para aplicações na região centro oeste do Brasil, utilizando novos expoentes para os termos Sa e dN.

A equação obtida é apresentada abaixo:

$$K = 10^{(-0,67 - 0,0016 \times dN1)} Sa^{-0,57}$$

Esta equação é mais adequada que a anterior, para aplicações na região centro-oeste do Brasil. Entretanto, o gráfico abaixo mostra ainda uma grande diferença entre os valores medidos e os valores ajustados por esta equação, indicando a importância de mais estudos sobre o tema.

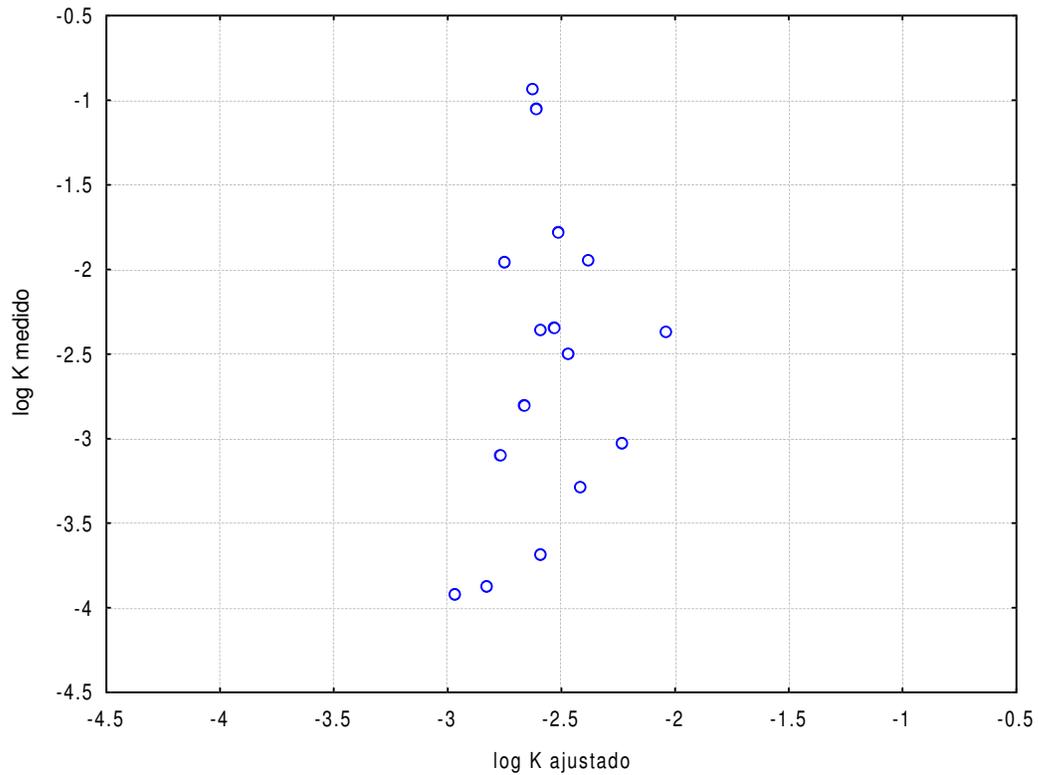


Figura 25: Comparação do fator geoclimático medido com o ajustado