



# Tecnologia de faixa para falha

---

White Paper

Por Tom Bell e John Nankivell

## Índice

1. Introdução	1
2. Equipamento de teste / processo de teste de PIM existente	2
3. Nova análise de RTF / limitações técnicas	3
4. Fluxograma de teste de PIM, inclusive RTF	5
5. Exemplo de dados de localização	6
6. Conclusão	9

## 1. Introdução:

A intermodulação passiva (Passive intermodulation - PIM) tem sido reconhecida como um problema em sistemas de comunicação por quase 50 anos. O fenômeno ocorre quando dois ou mais sinais se encontram numa junção não linear e frequências "secundárias" são geradas e estão matematicamente relacionadas com os sinais "primários". Com o advento das comunicações por celular, o PIM começou a se destacar como uma preocupação devido ao impacto da qualidade do serviço que esses sinais indesejados podem ter pela interferência ou bloqueio de canais de uplink (receptor) da estação base.

A produção de equipamentos de teste PIM foi introduzida pela Kaelus (ex-Summittek Instruments) em 1996 para permitir que os fabricantes de equipamentos de RF verificassem o desempenho do PIM de seus produtos. Em 2005 a Kaelus introduziu equipamento de teste de PIM portátil, que deu aos operadores de rede a capacidade de realizar testes de PIM em campo. Estes testes de campo têm se mostrado eficazes na identificação de componentes danificados no transporte e de questões de fabricação de instalação de infraestrutura de RF. Como resultado, o teste de PIM no campo tem sido cada vez mais adotado pelas operadoras de telefonia móvel em todo o mundo como um teste essencial para certificação de desempenho de sistema ideal.

O teste de PIM é diferente do teste de VSWR tradicional, onde este estímulo mecânico (por toque ou flexão) precisa ser aplicado durante o teste para garantir um teste significativo. Se os picos de PIM ficarem acima do valor limite durante o teste dinâmico, o componente ou conexão frouxa deve ser reparada ou substituída. Na maioria dos casos a determinação da localização da falha de PIM é relativamente simples; a falha está localizada onde você está tocando.

Ocasionalmente as falhas de PIM ocorrerão se não produzirem grandes picos em magnitude quando dinamicamente testados. A determinação da localização dessas fontes de PIM "não responsivas" ou "estáticas" se torna mais desafiadora e muitas vezes pode ser demorada. Para resolver este problema a Kaelus desenvolveu a tecnologia Faixa para Falha (Range to Fault - RTF) semelhante à usada em testes de VSWR para ajudar a identificar a localização dessas fontes de PIM estáticas. Este artigo discute a capacidade e as limitações desta nova tecnologia, além do método de teste recomendado para a implantação de análise de RTF no campo.



## 2. Equipamento de teste / processo de teste de PIM existente

O equipamento de teste de intermodulação passiva transmite dois sinais de teste de 20W (+43 dBm) na Linha ou dispositivo em teste. Se os sinais de teste encontrarem uma junção não Linear, a mistura ocorre e faz com que as frequências de PIM seja geradas. O equipamento de teste de PIM mede a magnitude do PIM gerado pelos sinais de teste e exibe essa informação ao operador do teste.

O produto de 3ª ordem (IM3) é usado para caracterizar o desempenho de PIM na fábrica e no campo. O sinal de IM3 gerado por uma junção não Linear é geralmente de maior magnitude do que os outros produtos de PIM, o que permite maior precisão de medição. Os produtos de ordem superior (IM5, IM7, IM9, etc) normalmente tem menor magnitude.

5 a 10dB para cada produto de PIM sucessivos. Ao controlar o IM3 do sistema em um nível especificado, os produtos de ordem superior (que são mais propensos a cair na banda de Rx própria dos operadores) serão mantidos bem abaixo do nível de IM3 especificado.

As frequências de teste específicas usadas para excitar os defeitos de PIM em um Local de célula não são críticas, desde que os critérios a seguir sejam atendidas:

- Todos os componentes de RF no caminho (Cabos, Antenas, TMAs, etc) devem ser capazes de passar as duas frequências de teste e serem capazes de passar a frequência de IM3 que você está medindo.
- As duas frequências de teste **devem** estar dentro do espectro Licenciado do operador ou serem frequências de banda de proteção entre os blocos de espectros Licenciados para evitar a interferência com outros operadores. Isso se aplica a todos os testes de nível de sistema, onde as frequências de teste serão transmitidas pela antena.
- As duas frequências de teste precisam ser selecionadas de forma que elas produzam IM3 dentro da banda de recebimento para esse sistema. Isso especificamente exigirá tons de teste com espaçamento de frequência maior do que aquele que pode ser alcançado dentro do bloco de frequência Licenciado para um

determinado mercado. Por esta razão, pelo menos uma frequência de banda de proteção terá de ser selecionada.

Durante o teste de PIM todos os componentes e conexões de RF da linha devem ser submetidos a condições de teste dinâmico. Se um componente ou conexão de RF gerar níveis inaceitáveis de PIM quando submetido a tensões mecânicas de luz, ele precisa ser reparado. A aprovação em teste de PIM dinâmico garante que a infraestrutura de RF é robusta e funcionará corretamente quando exposto a tensões normais ambientais causadas pelo vento e temperaturas extremas.

Ao testar um local de célula é recomendado que um teste preliminar de PIM estático seja conduzido para avaliar a condição inicial do sistema. Se o sistema for aprovado no teste estático, o operador passará diretamente para o ensaio dinâmico. Se o sistema falhar no teste estático, o operador deve desligar o sistema de alimentação da antena e instalar uma carga de PIM baixa no fim da linha. Este método permite que a equipe de teste isole o sistema de alimentação para resolver problemas de PIM independente da antena e dos

objetos irradiados pela antena. Após a linha de alimentação ter sido aprovada no teste dinâmico, ele pode ser reconectada à antena para verificar o desempenho do sistema.

Em alguns locais, especialmente em instalações no último piso, a fonte de PIM pode ser localizada além da antena. Como geralmente não é responsabilidade da equipe de instalação resolver fontes externas de PIM, os operadores geralmente aceitam as seguintes três peças de informação como evidências de que o local foi construído de acordo com as especificações, mesmo quando o sistema de teste de PIM falha:

- 1) Teste de linha de alimentação dinâmica de passagem (em carga de PIM baixa)
- 2) Teste de antena de passagem (antena apontada para o céu)
- 3) Falha do teste do sistema quando a antena de passagem e a linha de passagem são colocadas juntas

### 3. Nova análise de RTF / limitações técnicas:

Tecnologia de faixa para falha (Range to Fault - RTF) da Kaelus é uma ferramenta de análise desenvolvida para aprimorar, em vez de substituir, o padrão fixado de teste de PIM por tom. A solução RTF inclui hardware e software de processamento de sinal adicionais necessário para transformar a informação de frequência em pontos no domínio do tempo usando a Transformação Rápida de Fourier (Fast Fourier Transform - FFT) inversa e os algoritmos de aprimoramento digital. A tecnologia RTF é semelhante à familiar função de Distância para falha (Distance to Fault - DTF) amplamente utilizada em locais de células para identificar locais de falha de VSWR.

A RTF funciona através da transmissão de duas frequências de teste de 20W (+43 dBm) para o sistema em teste. Uma frequência de teste é fixa, enquanto a segunda frequência é de varredura em uma faixa de frequências para produzir produtos de IM na banda receptora do sistema em teste. Como a análise de RTF exige sinais de alta potência para fazer a varredura fora do espectro licenciado do operador, este teste deverá ser realizado apenas em sistemas que terminam em carga de PIM baixa para evitar interferência.

O algoritmo de FFT inverso é usado para reconstruir pulsos na faixa de domínio de tempo através da soma digital da fase quantizada e componentes de amplitude de cada frequência envolvida computação. Quanto mais largura de banda estiver disponível para a análise, mais nítidas bordas de pulso matemático serão fornecidas com resolução aprimorada de fontes de PIM mais proximamente espaçadas.

Quando a resolução é definida como a distância entre dois pulsos de igual amplitude separadas por um nulo de 6dB, a resolução em metros que pode ser obtida utilizando esta análise é expressa pela seguinte equação:

$$\Delta d = 150 \text{ vf} / \text{BW}$$

Onde:  $\Delta d$  = resolução em metros  
 $\text{vf}$  = fator de velocidade (% da velocidade da luz)  
 $\text{BW}$  = Largura de banda de varredura de PIM, em MHz

Usando o espectro de PCS como exemplo (Tx = 1930-1990 MHz e Rx = 1850-1910 MHz) o intervalo de varredura máximo de IM3 que pode ser alcançado na banda Rx de PCS usando dois tons de

PCS Tx é 40 MHz. Isto é conseguido mantendo uma frequência de teste fixada em 1930 MHz e fazendo a varredura da outra frequência de teste entre 1950 e 1990 MHz. Esta combinação de frequências gerará produtos de IM3 que vão de 1870 a 1910 MHz na banda de PCS Rx. Usando este 40 MHz de varredura de largura de banda de IM3 e um fator de velocidade do cabo de 0,88, a resolução máxima possível usando somente o espectro de PCS é 3,3 m. A Kaelus empregou técnicas de processamento de sinal proprietárias para aprimorar ainda mais a resolução, mas a precisão absoluta do algoritmo de previsão sofrerá quando múltiplas fontes de PIM estiverem localizados dentro da distância resolução mínima na linha.

A maneira mais eficaz de usar a análise de RTF é sistematicamente remover a maior magnitude da fonte de PIM identificada na linha. Repetir a análise e continuar removendo a maior fonte de PIM encontrada até que toda fonte significativa de PIM estática tenha sido removida. Independentemente de sua localização na linha, a distância até a maior fonte de PIM será prevista com mais precisão pelo algoritmo. Cada vez que uma fonte de PIM é reparada, a precisão para localizar a próxima maior fonte de PIM será aprimorada.

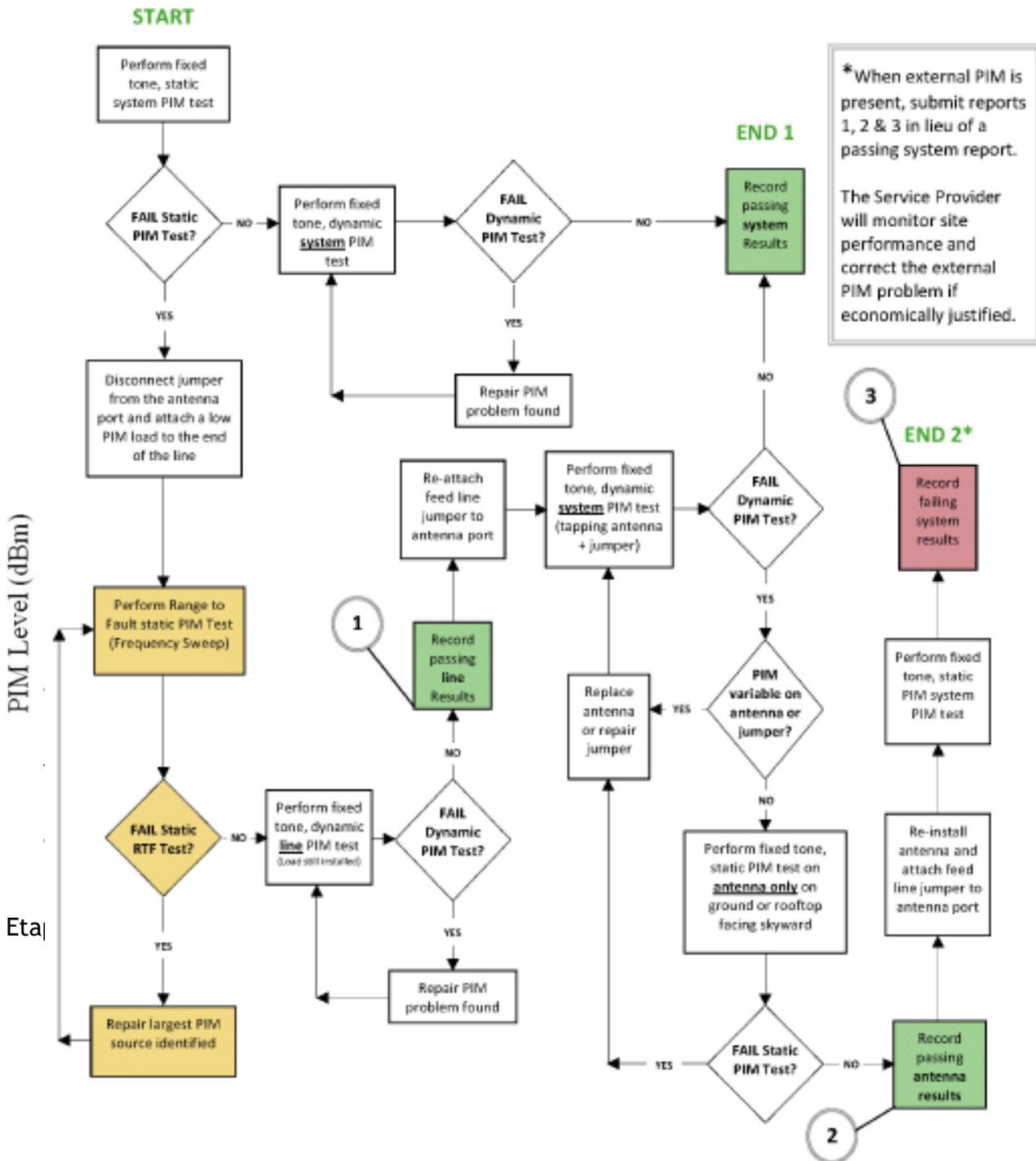
Como inicialmente indicado, a análise de RTF não é um substituto para o teste de PIM dinâmico. A análise de RTF aprimorará o teste do local e acelerará potencialmente a remoção de fontes de PIM estáticas no local da célula. Porém somente a análise não deve ser usada para certificar a qualidade da construção, porque:

- O conhecimento da faixa para falha fornece um ponto inicial útil mas não garante que não haja outras fontes de PIM ocultas no sistema de alimentação de RF
- O valor absoluto da magnitude de PIM RTF pode não ser preciso devido à distorção provocada por atraso no grupo sensível de frequência em dispositivos de RF, tais como surto de acumuladores, filtros, TMAs, etc.
- fontes de PIM "fantasmas" podem ser criadas como produto da matemática e/ou pelas incompatibilidades de impedância no sistema, que refletem PIM gerados em diferentes locais da linha

O fluxograma do processo mostrado na Seção 4 ilustra a maneira correta de utilizar a análise de RTF quando do teste de PIM em local de célula. As células destacadas em amarelo representam o circuito de teste de RTF para a remoção de fontes de PIM estáticas.

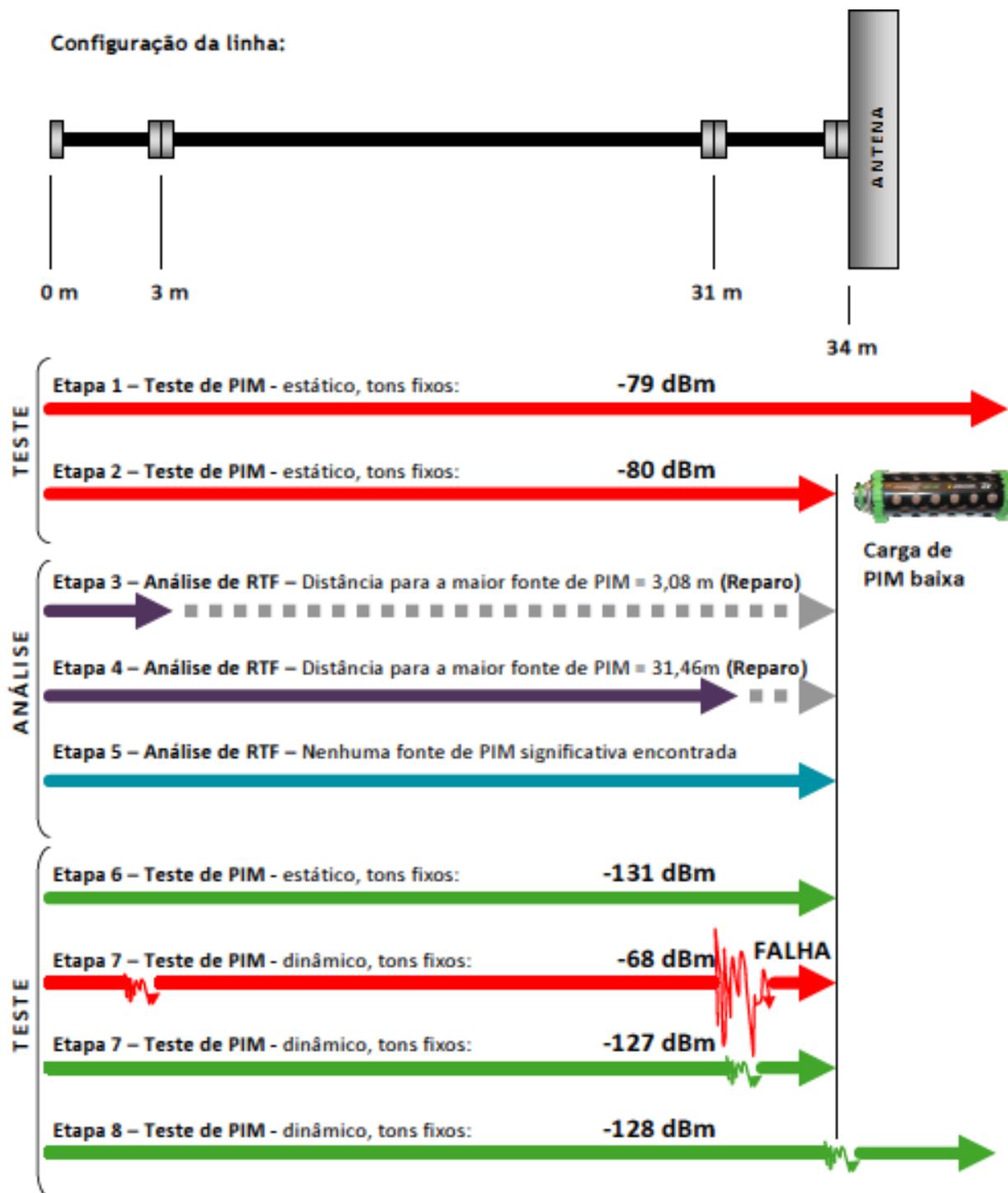
Os dados apresentados na Seção 5 mostram as medições reais gravadas durante o seguimento do fluxograma para reparar um sistema com múltiplos problemas de PIM estáticos e dinâmicos na linha.

#### 4. Fluxograma de teste de PIM, inclusive análise de RTF:



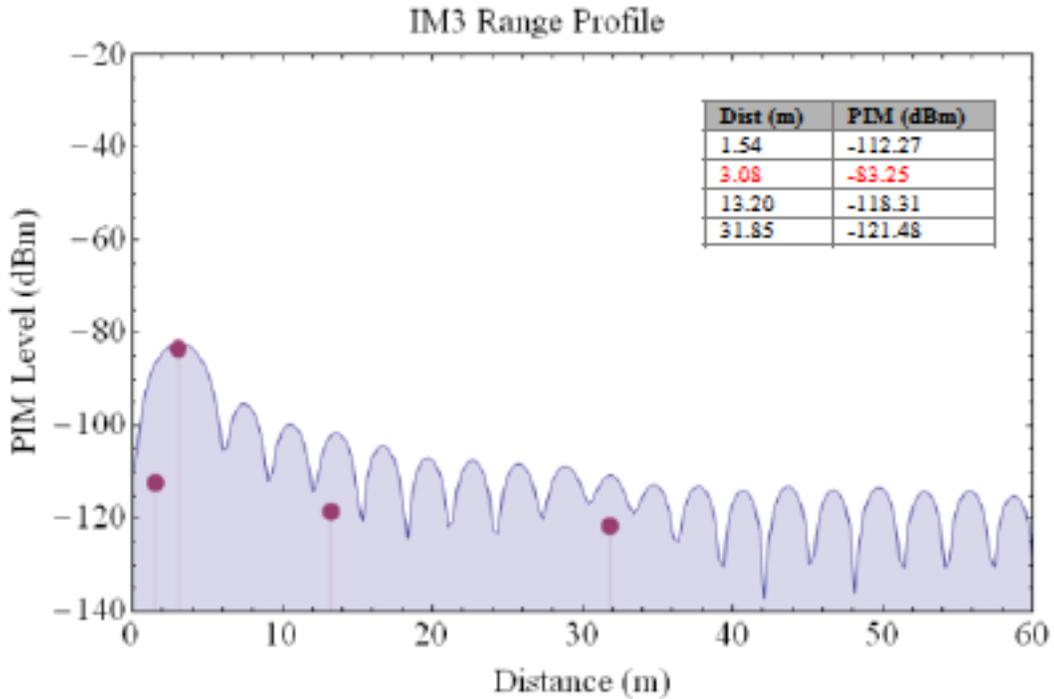
### 5. Exemplo de dados de localização:

O exemplo a seguir mostra os resultados de teste reais de uma linha de alimentação com vários problemas de PIM estáticos e dinâmicos. Os resultados mostram, além da vantagem de tecnologia de RTF, a confirmação da importância do teste de PIM dinâmico em local de célula.

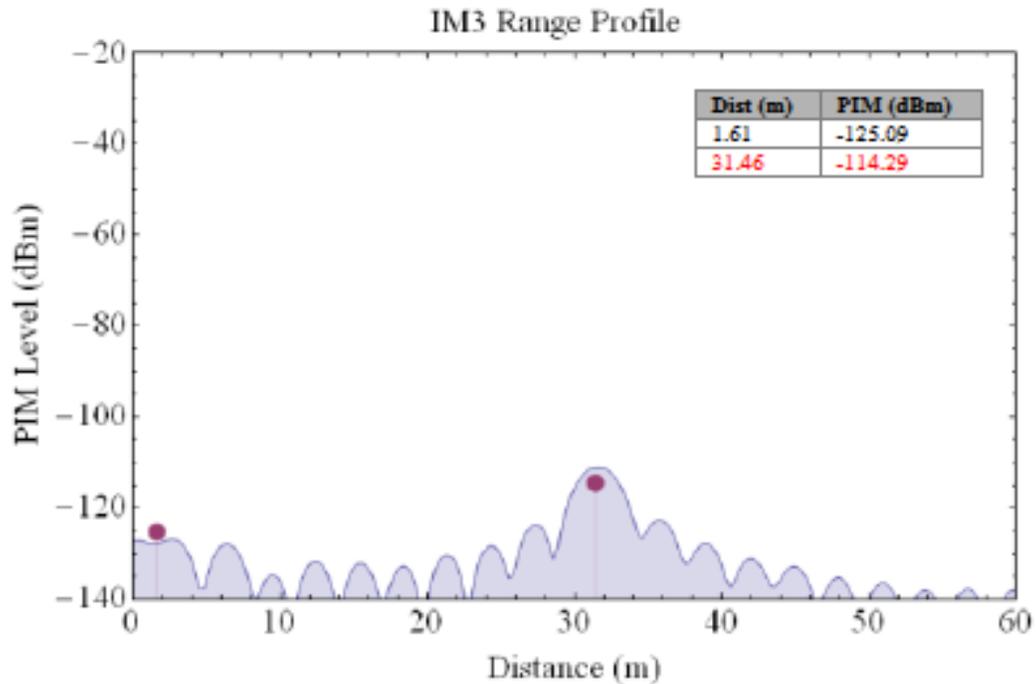


## Relatórios selecionados / capturas de

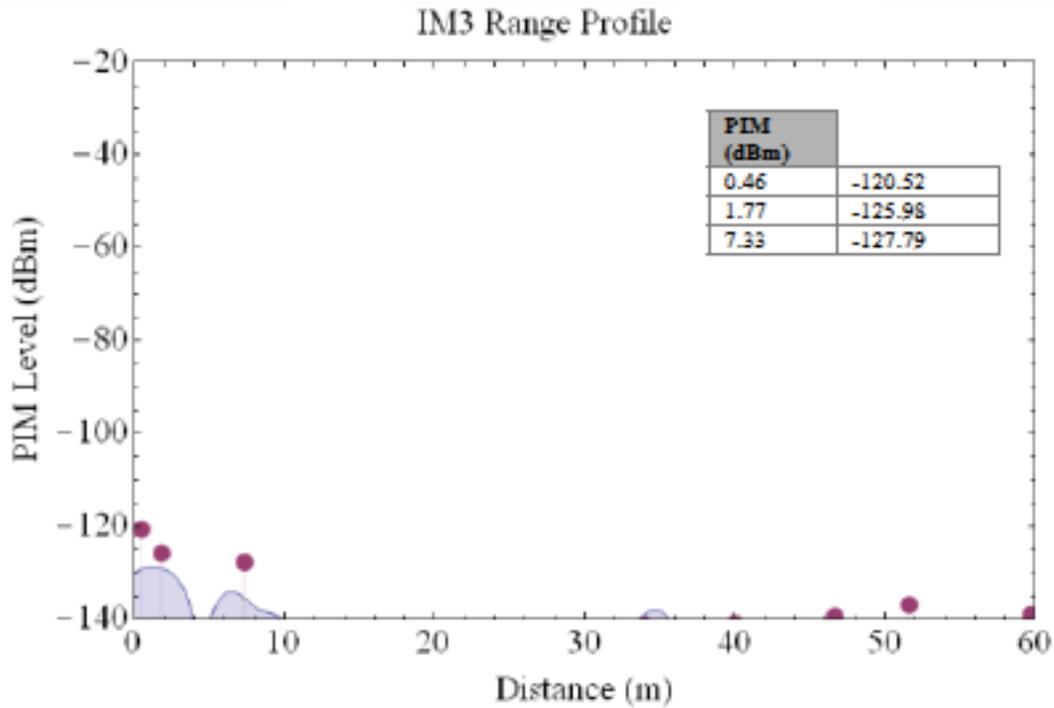
tela: Etapa 3 – 1ª análise de RTF:



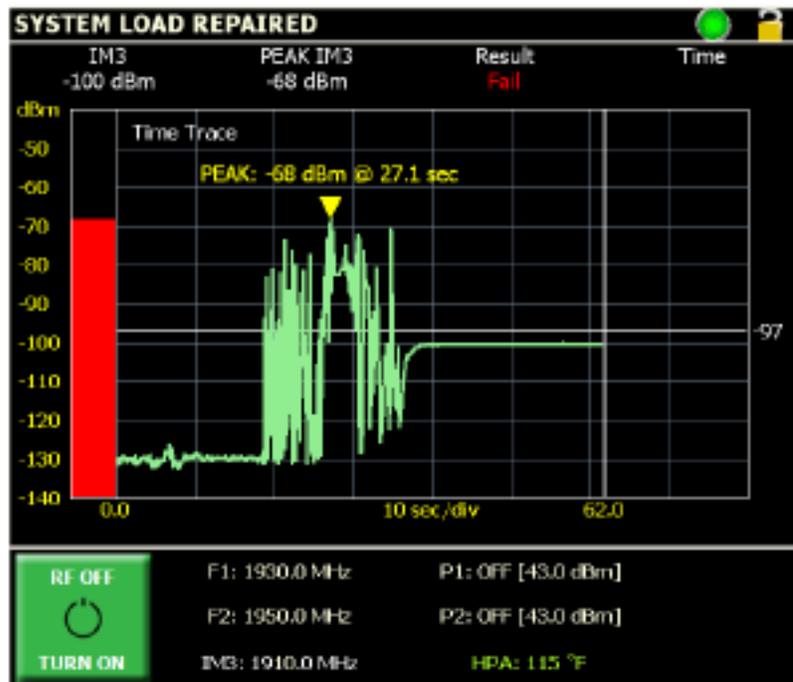
Etapa 4 – 2ª análise de RTF (após fonte de PIM há 3 m reparada)



**Etapa 5 – Análise de RTF final (após fontes de PIM há 3m e 31m reparadas)**



**Etapa 7 - Resultados de teste de PIM dinâmico (exibindo problema de PIM não encontrado pelo teste de PIM estático ou análise de RTF)**



## 6. Conclusão:

Como demonstrado no exemplo acima, a análise de RTF pode prever com precisão a localização de múltiplas fontes de PIM estáticas na infraestrutura de RF. A posse dessa informação e o seguimento do procedimento de teste prescritos permitem às equipes de teste de PIM serem capazes de reparar os locais mais rapidamente e reduzir a variabilidade de tempo de reparo de local para local.

Como também demonstrado no exemplo acima, a análise de RTF não substitui a necessidade de teste de PIM dinâmico do sistema de alimentação de RF. A análise de RTF preverá com precisão a localização de fontes de PIM estáticas que podem ser vistas, mas não identificará fontes de PIM que são apenas excitadas por estresse mecânico.

E, finalmente, a análise de RTF é um teste de frequência de varredura e só deve ser realizado em sistemas que são terminados em carga de PIM baixa. O teste em carga impedirá a transmissão de frequências de teste de alta potência além do espectro licenciado do operador e eliminará a possibilidade de interferência



Américas  
+1.303.768.8080

---