

Como o ruído produzido pela batedeira é bastante intenso, a figura 5.19 ilustra a comparação realizada da medida efetuada com o analisador de espectro entre os sinais do ruído obtido pela batedeira onde a curva esta representada na cor verde e o liquidificador com a curva na cor amarela.

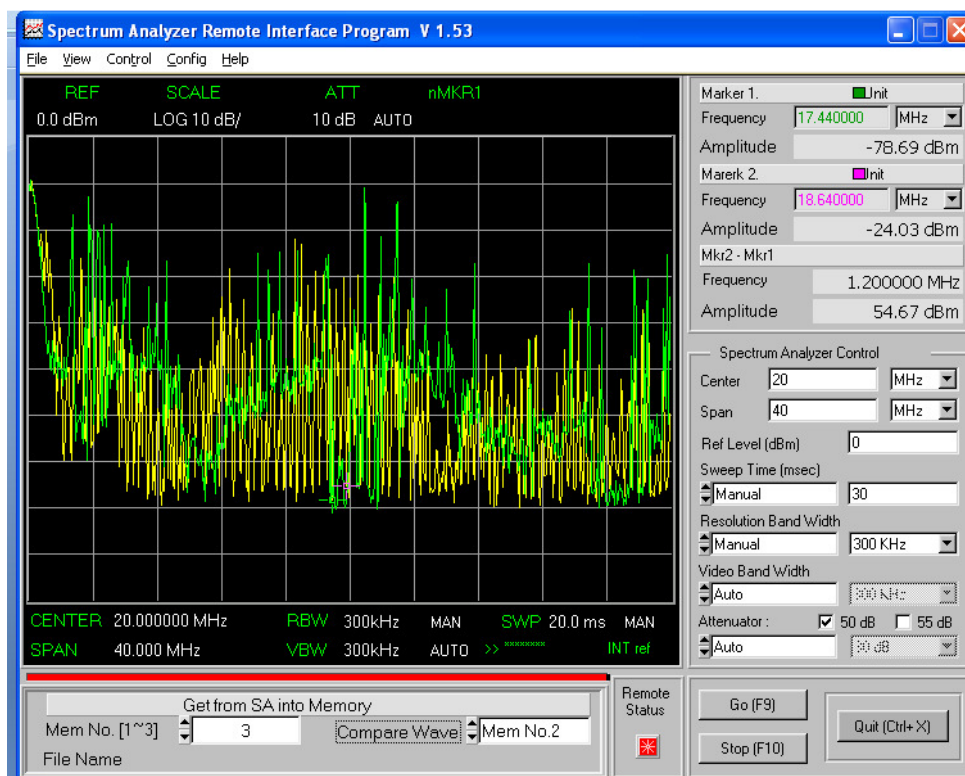


Figura 5.19- Comparação do sinal de ruído entre a batedeira e o liquidificador.

Analisando a figura 5.19 constata-se que o ruído produzido pelo liquidificador é mais significativo que o ruído gerado pela batedeira. Por último é realizado a medição do sinal de ruído produzido pelo barbeador conforme mostrado na figura 5.20. O valor da tensão de pico medido com o osciloscópio foi de 50 mV que pode ser visto na figura 5.20 (b). Observando o espectro do sinal do ruído do barbeador medido com o analisador de espectro pode-se ver que o mesmo não produz uma intensidade de ruído significativa na rede elétrica como está apresentado na figura 5.20 (b). Com relação a medida realizada com o analisador de sinais vetoriais o pico de amplitude (PSD) como a persistência apresenta resultado muito semelhante a medição realizada apenas da rede elétrica sem carga.

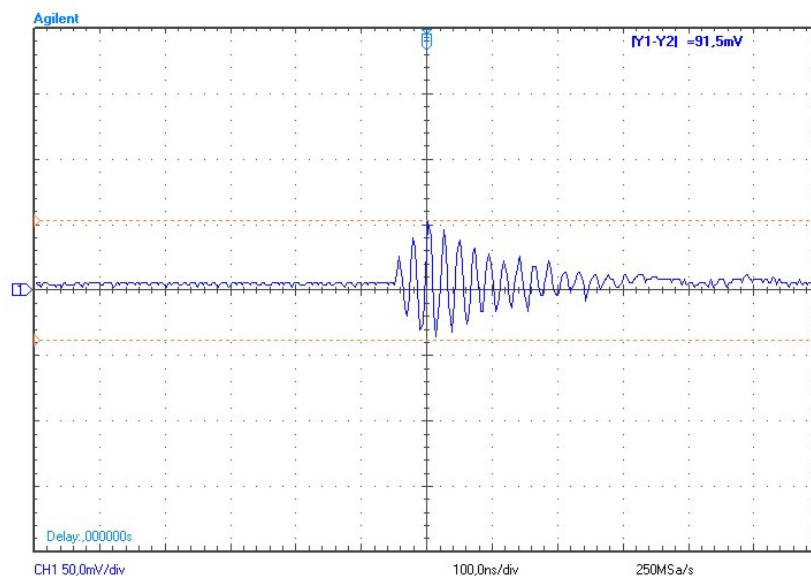


Figura 5.20 (a) - Ruído provocado pelo barbeador elétrico ligado medido com o osciloscópio.

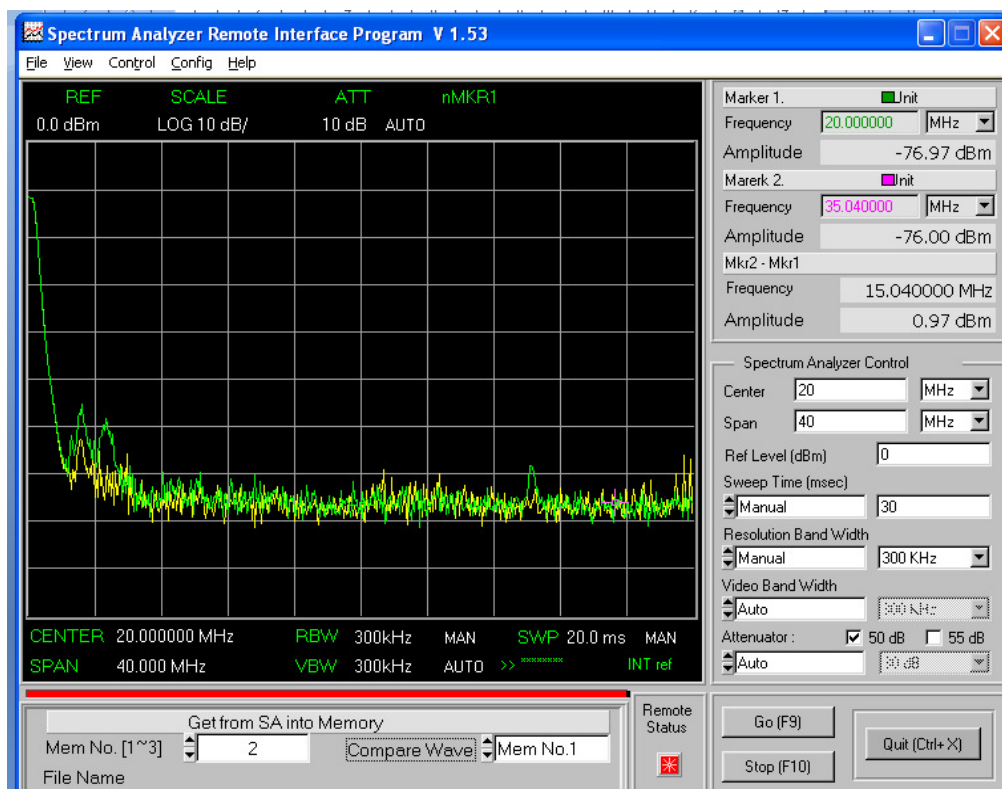


Figura 5.20 (b) - Ruído provocado pelo barbeador elétrico ligado, medido com o analisador de espectro.

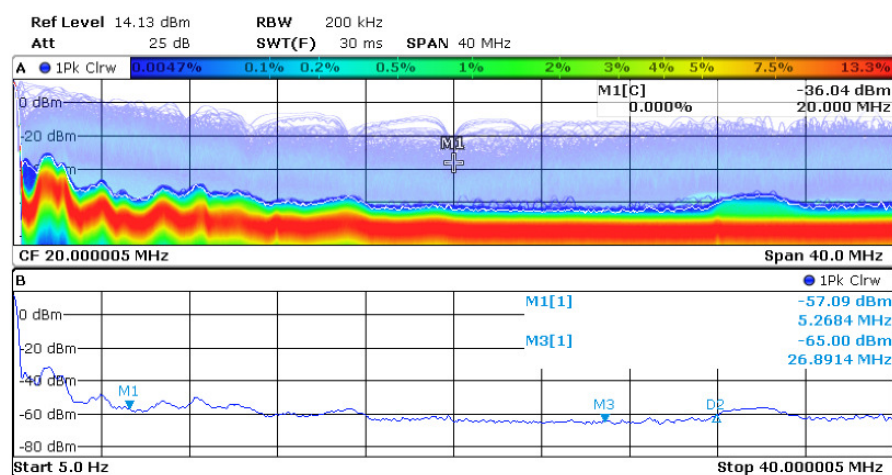


Figura 5.20 (c) - Ruído provocado pelo barbeador elétrico ligado medido com o analisador de sinais vetoriais.

Tabela 5.1 – Medida dos sinais de ruídos dos principais eletrodomésticos.

Medidas secador	Resultado	Medidas ventilador + TV	Resultado	Medidas liquidificador	Resultado
CH1 -2 V/div - 500 ns/div		CH1 - 5 mV/div 500 ns/div		CH1 - 2 V/div 500 ns/div	
V _{pp}	*****	V _{pp}	1,94E-02 V	V _{pp}	6,48 V
V _{max}	4,32 V	V _{max}	8,80E-03V	V _{max}	3,84 V
V _{min}	-8,080 V	V _{min}	-1,06E-02 V	V _{min}	-2,64 V
V _{avg}	4,696E-02 V	V _{avg}	-5,96E-04 V	V _{avg}	3,14E-02 V
V _{amp}	*****	V _{amp}	1,94E-02 V	V _{amp}	6,48 V
V _{top}	2,42E-02 V	V _{top}	8,80E-03 V	V _{top}	3,84 V
V _{base}	*****	V _{base}	-1,06E-02 V	V _{base}	-2,64 V
V _{rms}	7,376E-01 V	V _{rms}	2,32E-03 V	V _{rms}	5,06E-01V
V _{over}	*****	V _{over}	28,90%	V _{over}	55,60%
V _{pre}	*****	V _{pre}	19,60%	V _{pre}	91,40%
Frequência	*****	Frequência	2,91E+05 MHz	Frequência	>1,000e+07
Rise Time	*****	Rise Time	6,59E-06 s	Rise Time	1,08E-05 s
Fall Time	*****	Fall Time	5,77E-06 s	Fall Time	1E-07 s
Período	*****	Período	3,44E-06 s	Período	<1E-07 s
Pulse Width+	*****	Pulse Width+	3,28E-06	Pulse Width+	<1,000e-07
Pulse Width-	*****	Pulse Width-	1,60E-07	Pulse Width-	<1,000e-07
Duty+	*****	Duty+	95,30%	Duty+	*****
Duty-	*****	Duty-	4,70%	Duty-	*****

Medidas bateadeira	Resultado	Medidas dimmer	Resultado	Medidas barbeador	Resultado
CH1 - 500 mV 100 us/div		CH1 - 5 V/div 5 us/div		CH1 - 50mV/div-100ns	
V _{pp}	2,38 V	V _{pp}	*****	V _{pp}	8,80E-02V
V _{max}	8,20E-01 V	V _{max}	2,500e+01V	V _{max}	5,00E-02V
V _{min}	-1,56 V	V _{min}	-2,600e+01 V	V _{min}	-3,80E-02V
V _{avg}	3,06E-03 V	V _{avg}	-1,271e-01 V	V _{avg}	3,88E-03V
V _{amp}	1,57 V	V _{amp}	*****	V _{amp}	8,80E-02V
V _{top}	4,65E-03 V	V _{top}	*****	V _{top}	5,00E-02V
V _{base}	-1,56 V	V _{base}	*****	V _{base}	-3,80E-02V
V _{rms}	8,25E-02 V	V _{rms}	6,867 V	V _{rms}	9,59E-03V
V _{over}	94,60%	V _{over}	*****	V _{over}	18,20%
V _{pre}	0,00%	V _{pre}	*****	V _{pre}	27,30%
Frequência	*****	Frequência	*****	Frequência	4,55E+07Hz
Rise Time	<4,000e-06 s	Rise Time	*****	Rise Time	4,03E-06 s
Fall Time	<9,000e-06 s	Fall Time	*****	Fall Time	3,99E-06 s
Período	*****	Período	*****	Período	2,20E-08 s
Pulse Width+	*****	Pulse Width+	*****	Pulse Width+	<2,000e-08
Pulse Width-	1,10E-05	Pulse Width-	*****	Pulse Width-	<2,000e-08
Duty+	*****	Duty+	*****	Duty+	45,50%
Duty-	*****	Duty-	*****	Duty-	63,60%

Medidas Fonte chaveada	Resultado	Medidas lâmpada halogena	Resultado
CH1 - 1 V/div 50 us/div		CH1 - 50 mV/div 20 us/div	
V _{pp}	3,16 V	V _{pp}	2,78E-01 V
V _{max}	1,44 V	V _{max}	1,28E-01 V
V _{min}	-1,72 V	V _{min}	-1,50E-01V
V _{avg}	8,36E-03 V	V _{avg}	-7,24E-04V
V _{amp}	3,16 V	V _{amp}	2,78E-01V
V _{top}	1,44 V	V _{top}	1,28E-01V
V _{base}	-1,72 V	V _{base}	-1,50E-01V
V _{rms}	5,67E-01 V	V _{rms}	3,91E-02V
V _{over}	36,70%	V _{over}	38,80%
V _{pre}	16,50%	V _{pre}	9,40%
Frequência	1,67E+05 Hz	Frequência	6,35E+03Hz
Rise Time	1,60E-04 s	Rise Time	4,39E-04s
Fall Time	3,10E-05 s	Fall Time	4,94E-05s
Período	6,00E-06 s	Período	1,57E-04s
Pulse Width+	<5,000e-06	Pulse Width+	1,31E-04
Pulse Width-	<5,000e-06	Pulse Width-	2,60E-05
Duty+	41,70%	Duty+	83,50%
Duty-	58,30%	Duty-	16,50%

5.4 EQUIPAMENTOS PLC

Para a avaliação do desempenho da rede PLC indoor foram utilizados adaptadores PLC, filtros de bloqueio de ruído que atuam na faixa de 100 kHz até 100 MHz, com nível de atenuação de ruído acima de 50 dB bem acima da norma da ANATEL, que exige 20 dB para frequências menores que 30 MHz e 10 dB para frequências superiores [6], computadores, cabo UTP categoria 5 para interligar um adaptador PLC ao computador e softwares de medição do desempenho.

5.4.1 Características do Adaptador PLC

Os adaptadores PLC utilizados para a realização da avaliação de desempenho de uma rede PLC indoor foram o modelo AV200 [140] com conexão Ethernet. Os filtros de ruído PLC também utilizados foram da marca Corinex. Este modelo de adaptador PLC suporta distribuição de vídeo, VoIP e Internet em banda larga via interconexão com modem ADSL. Equipamentos como computadores, vídeo games, câmeras IP e impressoras podem ser conectados ao adaptador PLC. As principais características do adaptador PLC são:

- Interface fast Ethernet 10/100 Mbps;
- Taxa de transmissão de 200 Mbps a distância máxima de 300 m;
- Possibilidade para interligação a repetidores no caso de distâncias superiores a 300 m;
- Protocolo CSMA/CARP;
- Multiplexação OFDM;
- Oito níveis de prioridade de enfileiramento dos pacotes com classificação de prioridade;
- Arquitetura TCP/IP;
- Sistema de segurança utilizando DES-3;
- Faixa de frequência de 2 MHz - 34 MHz quando o acesso da rede é detectado e de 13.3 MHz até 33.3 MHz durante a transmissão de dados pela rede elétrica;

- Tensão de alimentação de 85 V até 265 V AC 50/60 Hz;
- Compatibilidade eletromagnética baseada na norma FCC parte 15, EM 55022.

5.4.2 Configuração da Rede PLC

De modo a avaliar o desempenho da rede PLC, utilizou-se uma rede local conforme ilustrado na figura 5.21 (a). A figura número 5.21 (b) representa a instalação da rede PLC utilizando o filtro PLC que bloqueia os ruídos provenientes de eletrodomésticos para dentro da rede PLC. A primeira análise para avaliação do desempenho da rede PLC foi realizado utilizando a configuração da rede local apresentada na figura 5.22, de modo a verificar e certificar que o filtro PLC realmente bloqueia o ruído fornecido pelos eletrodomésticos na rede elétrica.

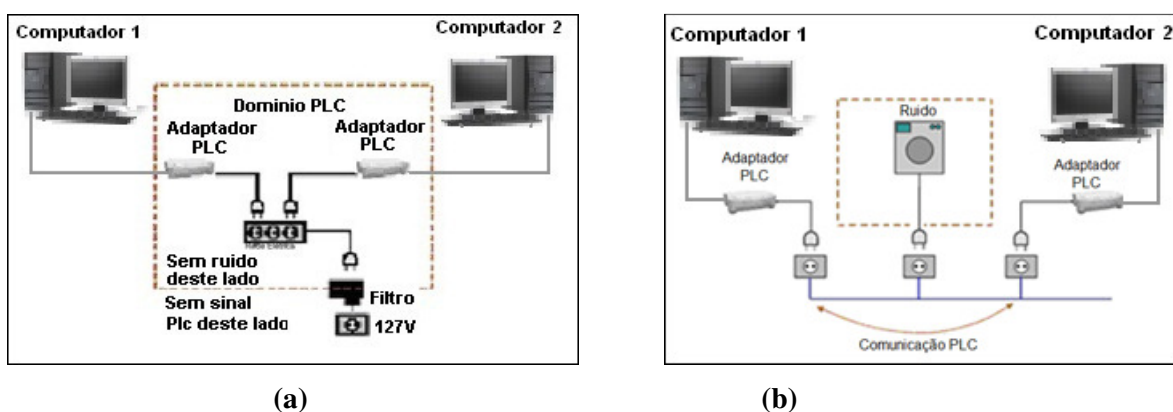


Figura 5.21 - Configuração de uma rede local PLC: (a) com filtro, (b) sem filtro isolador da rede PLC.

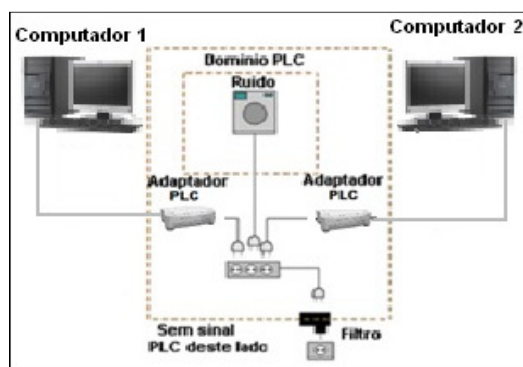
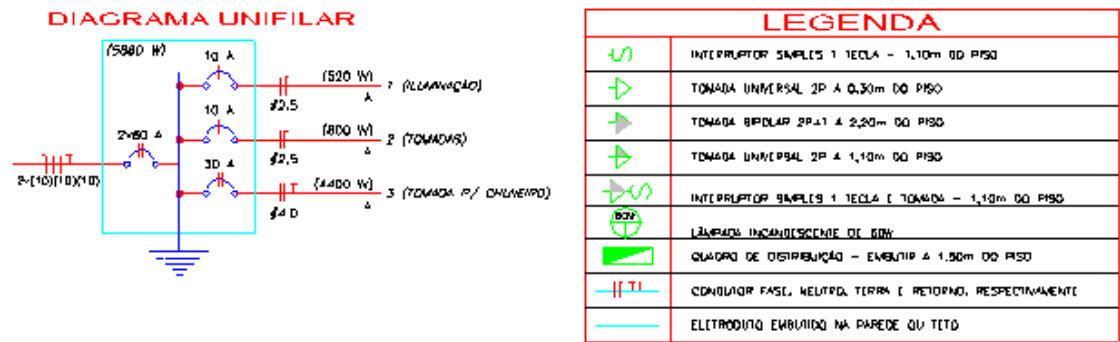


Figura 5.22 - Configuração da rede PLC com aplicação de ruído e com filtro PLC.

141



QUADRO DE CARGA

CIRCUITO	DESCRIÇÃO	LÂMPADAS	TOMADAS			POT. TOTAL (W)	ESQUEMA	TENSÃO	SEÇÃO (mm²)	DIST. (A)	FASES
		60 W	100 W	300 W	4400 W						
1	ILUMINAÇÃO	02	04			520	F+N	127 V	2,5	10,0	A
2	TOMADAS		05	01		800	F+N	127 V	2,5	10,0	A
3	TOMADA P/ CHUVEIRO				01	4400	F+F+T	220 V	4,0	30,0	B
	TOTAL					5720			10,0	2x80,0	

Figura 5.23 (b) - Instalação elétrica da casa popular: diagrama unifilar e quadro de carga.



Figura 5.24 - Casa popular.

Para a avaliação do desempenho da rede PLC foi utilizado dois computadores configurado com 2 GHz e memória de 2 GB de RAM. A distância utilizada entre os adaptadores PLC foi de 4 m. A distância entre cada computador e o adaptador PLC foi de 2 m. Todos os equipamentos estão ligados na rede elétrica de 127 V AC 60 Hz. O tamanho da janela TCP utilizada foi de 512 KB. Os computadores utilizaram o sistema operacional Windows 7. Para realizar as medidas de desempenho na rede PLC foram utilizados três arquivos do tipo FTP de 3 GB cada. Os três arquivos foram utilizados para transmissão simultânea de dados de um computador para o outro. Para medir a eficiência da rede PLC

foram utilizados dois softwares analisadores de rede, simultaneamente. O primeiro software é o analisador de rede da Agilent [141] e o segundo analisador é o Commtraffic [142]. O motivo da utilização de dois analisadores simultaneamente foi garantir que as respostas das medidas efetuadas estivessem confiáveis durante a transferência dos arquivos e também para validar os analisadores.

5.5 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO

Para apresentar os resultados do estudo da rede PLC indoor foi realizada primeiramente a avaliação do desempenho da rede PLC na melhor condição possível utilizando um filtro PLC bloqueador de ruído de modo a isolar a rede PLC de interferências externas. Em seguida foi aplicado na rede PLC ruídos provenientes de alguns eletrodomésticos para avaliar o desempenho da rede sobre a influência de excessivos ruídos [142, 143, 146].

5.5.1 Análise de Desempenho da Rede PLC na Melhor Condição Possível

A configuração utilizada para análise do resultado da rede PLC de modo a realizar a transferência dos arquivos na melhor condição possível foi o da figura 5.21 (a) sem a presença de qualquer fonte de ruído e utilizando o filtro PLC (melhor condição possível). A figura 5.25 apresenta o resultado obtido na rede PLC para a casa popular e a figura 5.26 ilustra o valor do desempenho da rede PLC obtido numa residência de classe média.

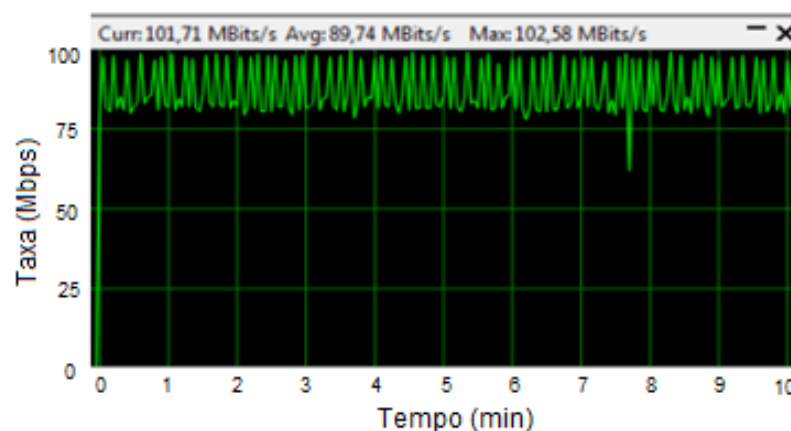


Figura 5.25 - Vazão na rede PLC sem a presença de ruído e com filtro: casa popular.

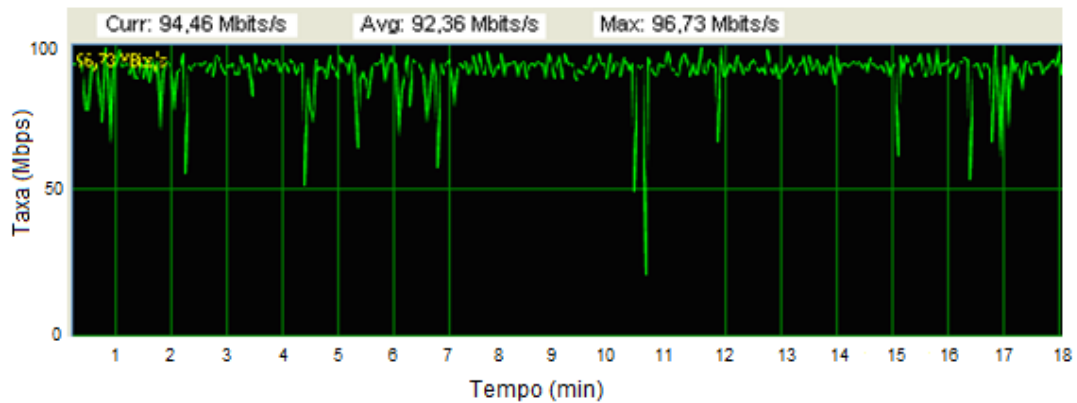


Figura 5.26 - Vazão na rede PLC sem a presença de ruído e com filtro: casa de classe média.

Analisando o gráfico da figura 5.25 é possível ver que a vazão na rede PLC na casa popular foi de 89,74 Mbps e a taxa máxima obtida foi de 102,58 Mbps. Desse modo a eficiência média da rede para a transmissão dos três arquivos foi de 89,74 %. A taxa de transmissão entre os adaptadores PLC é de 200 Mbps, entretanto, a taxa de transmissão do adaptador PLC com o computador é de 100 Mbps. Desse modo a taxa máxima possível na condição ideal é de 100 Mbps. A taxa de transmissão obtida considerada boa ocorre porque o filtro é realmente capaz de bloquear as interferências externas provocadas pelos eletrodomésticos. Entretanto, a mesma avaliação foi realizada numa casa de classe média onde a vazão alcançada foi de 92,36 Mbps com uma taxa máxima de 96,73 Mbps. Pela comparação dos gráficos das figuras 5.27 e 5.28 pode-se observar que a diferença de desempenho obtido entre as 2 residências é mínima e com uma alta taxa de transmissão.

Em seguida, avaliando o desempenho da casa popular, ligou-se na rede PLC alguns eletrodomésticos como batedeira, TV, ventilador, liquidificador, barbeador, secador de cabelo, dimmer, lâmpada fluorescente compacta e fonte chaveada. A configuração da rede PLC utilizada foi o da figura 5.22 com a presença do filtro para tentar bloquear o ruído externo fornecido por outros eletrodomésticos na rede PLC. Os resultados obtidos da vazão e da máxima taxa de transmissão são mostrados nas figuras 5.27 até 5.35.

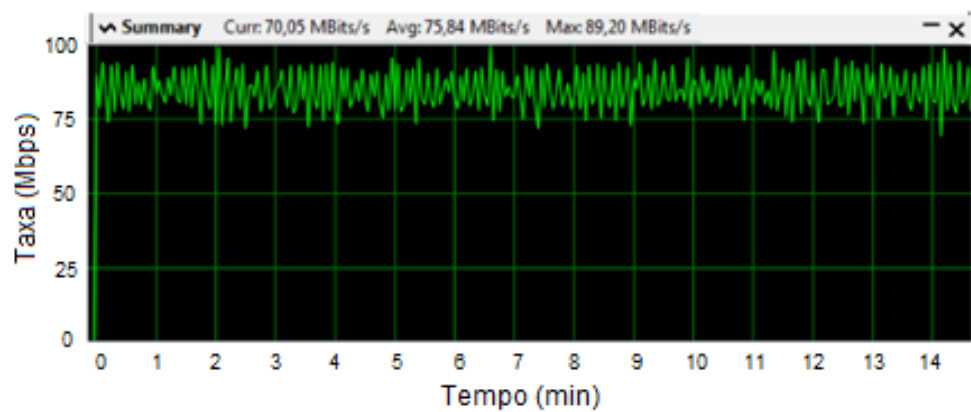


Figura 5.27 - Vazão na rede PLC sem presença de ruídos e com filtro: período vespertino.

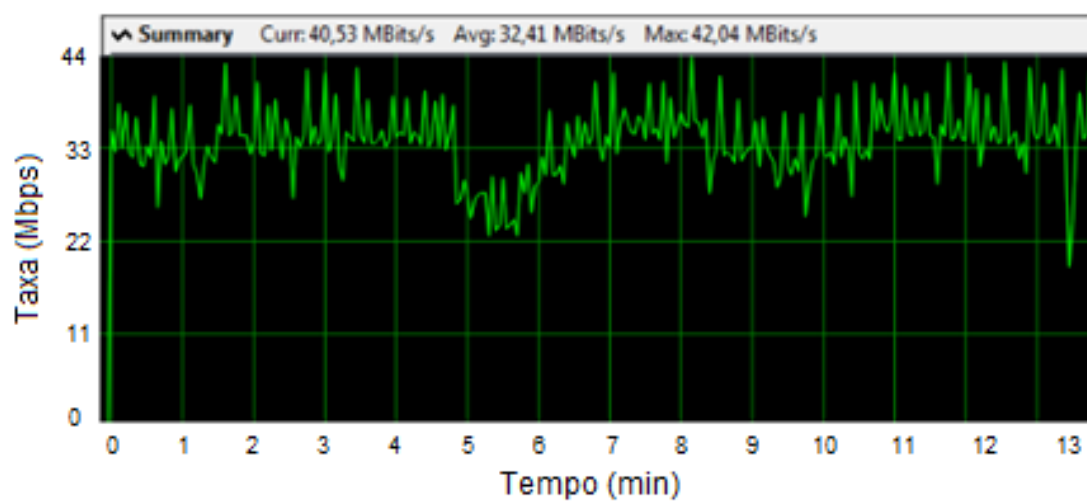


Figura 5.28- influência do barbeador na transmissão de dados pela rede PLC com filtro.

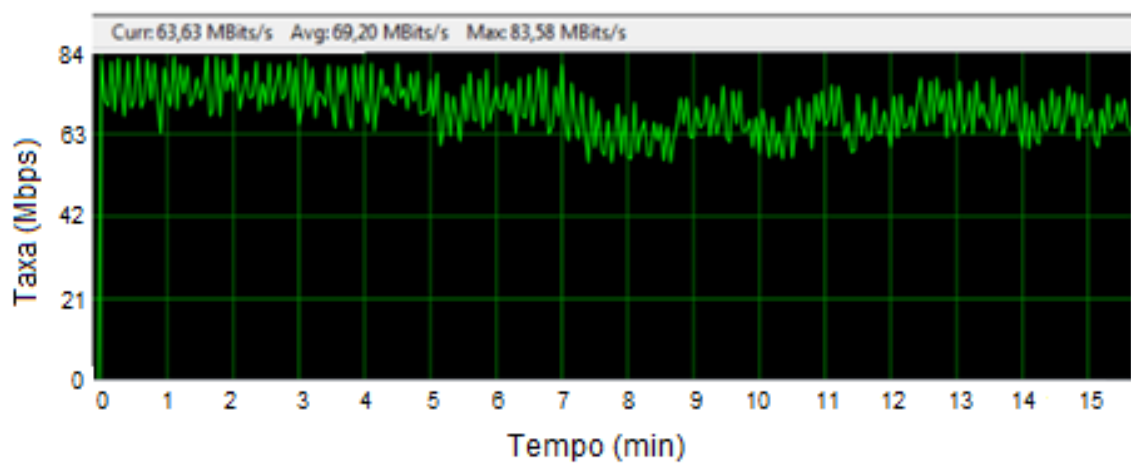


Figura 5.29- influência da bateadeira na transmissão de dados pela rede PLC com filtro.

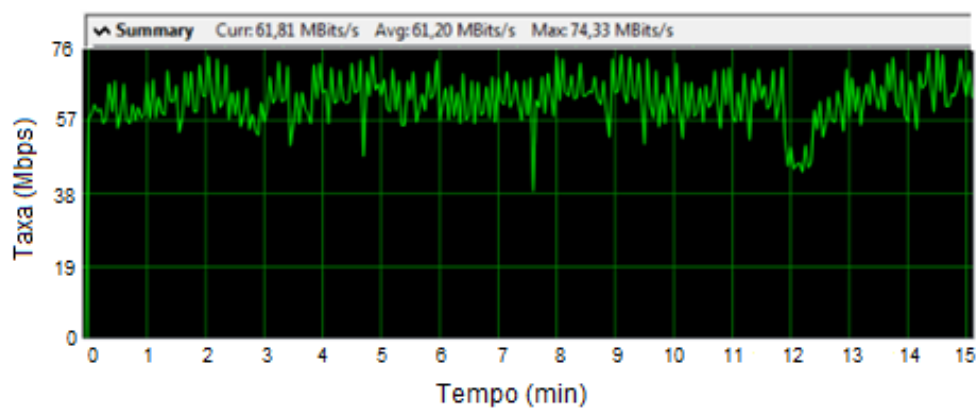


Figura 5.30 - Influência do dimmer na transmissão de dados pela rede PLC com filtro.

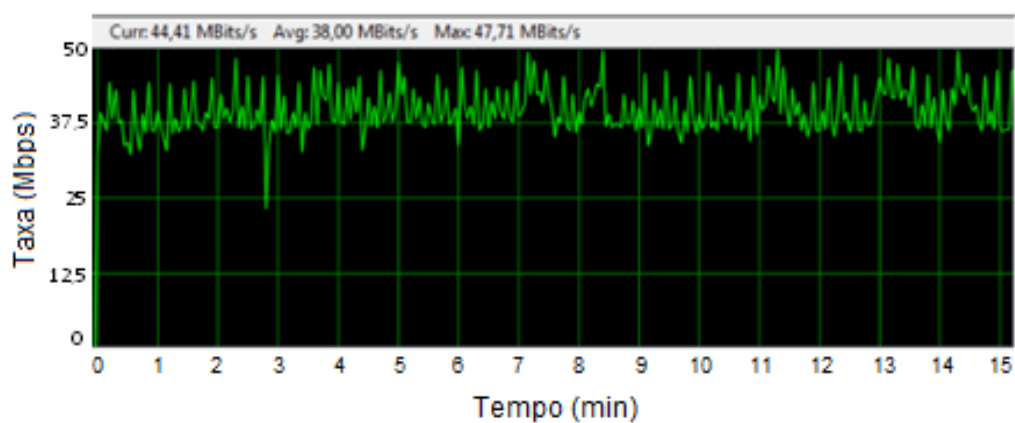


Figura 5.31 - Influência da fonte chaveada na transmissão de dados pela rede PLC com filtro.

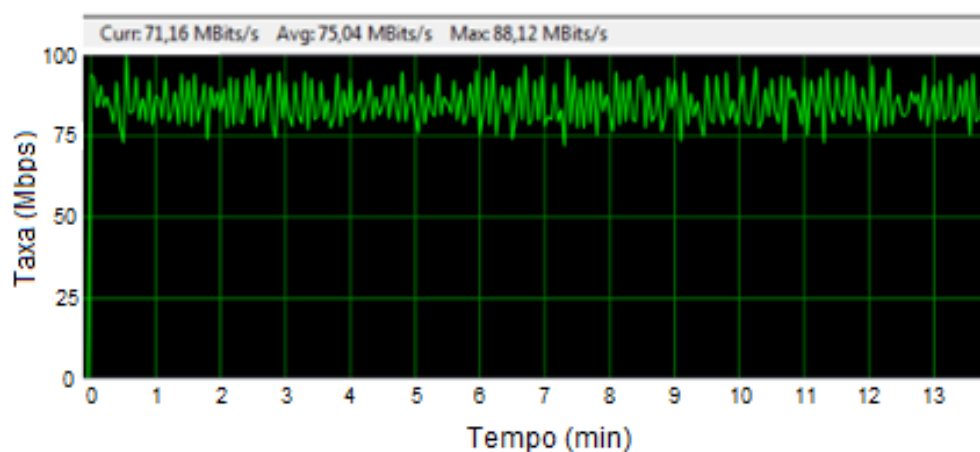


Figura 5.32 - Influência da lâmpada fluorescente compacta na transmissão de dados pela rede PLC com filtro.

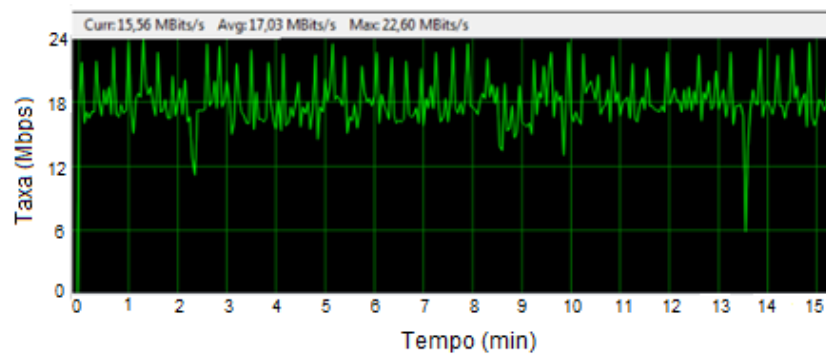


Figura 5.33 - Influência do liquidificador na transmissão de dados pela rede PLC com filtro.

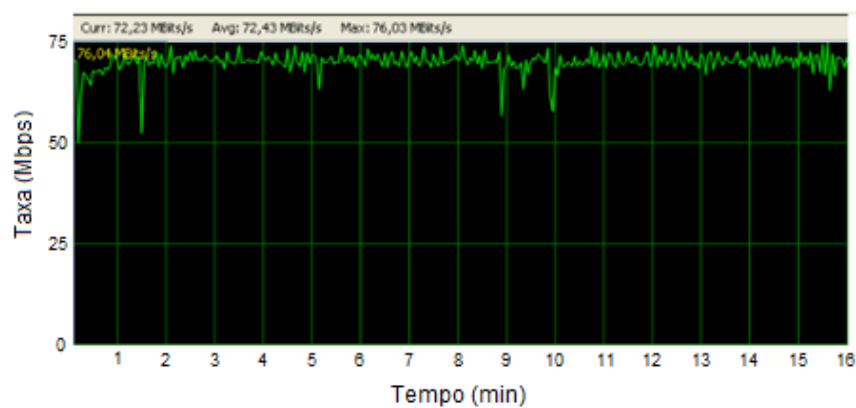


Figura 5.34 - Influência do secador na transmissão de dados pela rede PLC com filtro.

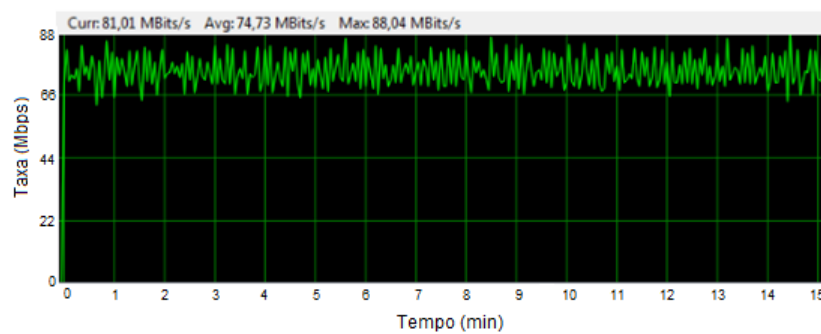


Figura 5.35 - Influência do ventilador e televisão na transmissão de dados pela rede PLC com filtro.

A figura 5.36 ilustra o desempenho da rede PLC na casa popular obtido em função do ruído produzido por cada eletrodoméstico avaliado num mesmo gráfico baseado na configuração da figura 5.22 com a utilização do filtro PLC.

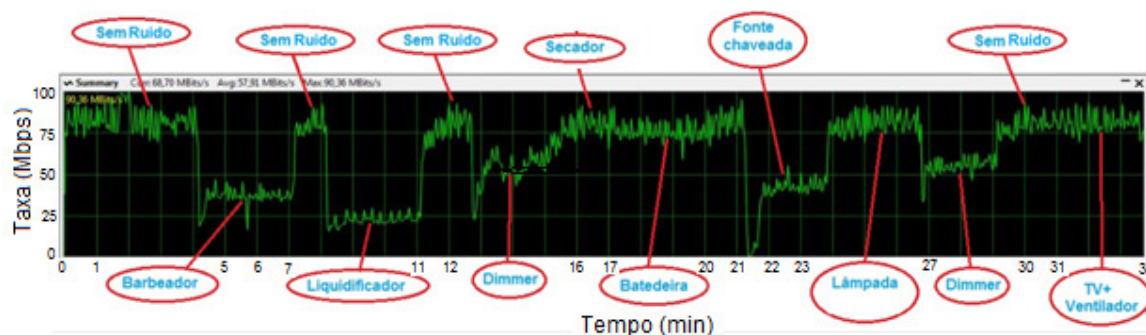


Figura 5.36 – Resultado comparativo da eficiência da rede PLC com filtro considerando a presença de ruídos dos eletrodomésticos.

A figura 5.37 apresenta um gráfico comparativo do desempenho de todos os eletrodomésticos avaliados num período de medição de 10 minutos na rede PLC indoor com a utilização de filtro.

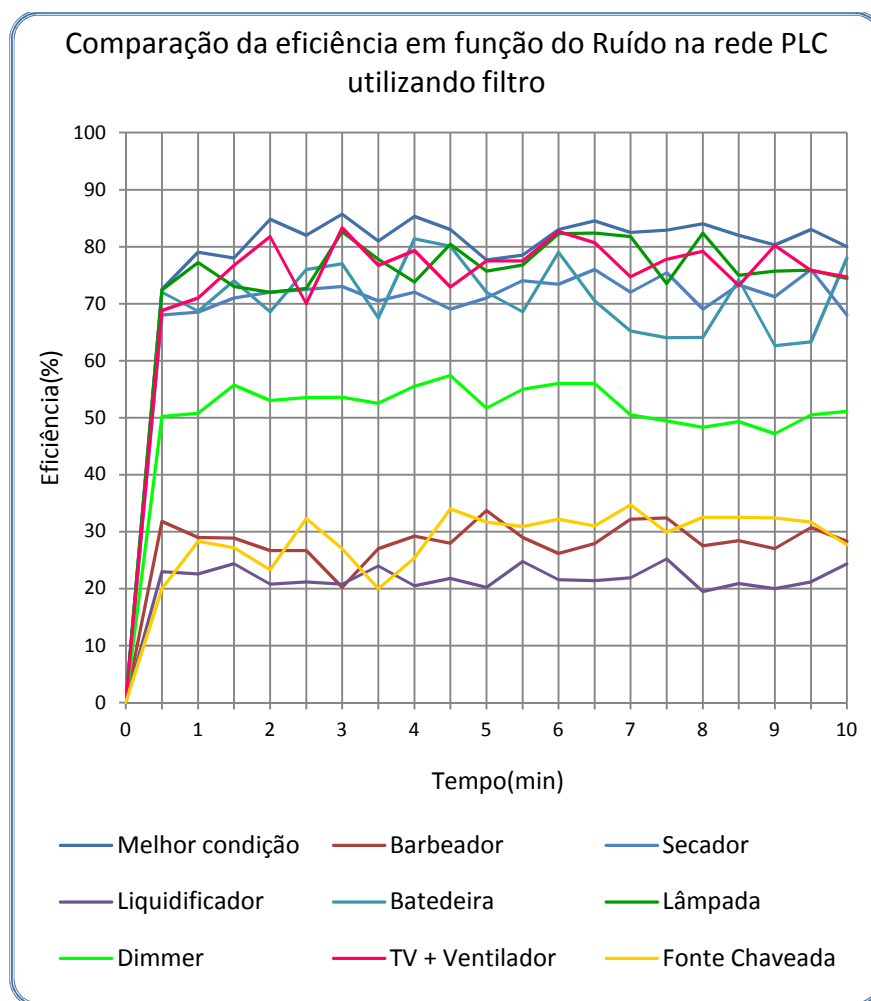


Figura 5.37 - Gráfico comparativo do desempenho de todos os eletrodomésticos.

Analisando os gráficos apresentados nas figuras 5.36 e 5.37, referentes às medidas realizadas nas casas populares são possíveis verificar que o uso da televisão em conjunto com o ventilador, o secador de cabelos e a lâmpada fluorescente compacta fornece baixa taxa de ruído na frequência de operação da rede PLC e, desse modo, a eficiência na rede alcança índices próximos da melhor condição possível onde de modo direto não ocorreram interferências diretas de eletrodomésticos. Enquanto a eficiência da rede na melhor condição possível das medições realizadas no período vespertino foi de 75,84 %, o resultado da eficiência na presença da TV em conjunto com o ventilador alcançou um valor médio igual a 74,73 %, a lâmpada fluorescente compacta obteve eficiência aproximada de 75 % e o secador de cabelos alcançou eficiência de 72,43%.

Desse modo, conclui-se que estes três eletrodomésticos e a lâmpada fluorescente compacta não prejudicam a velocidade de transmissão dos arquivos entre os computadores [142]. Pela figura 5.37 observa-se que a bateadeira influenciou na transmissão de dados na rede PLC, fornecendo uma eficiência de 69,2 %. Os demais eletrodomésticos afetam mais significativamente a eficiência da rede PLC pela alta incidência de ruído que injetam na rede. O pior resultado foi alcançado com o ruído provocado pelo liquidificador, onde a eficiência na rede foi menor que 18 %.

A análise realizada com o liquidificador, fonte chaveada e barbeador, comprova que estes eletrodomésticos afetam o desempenho da rede PLC porque a eficiência alcançada foi inferior a 30 %. Para estes eletrodomésticos nem a presença do filtro produziu resultado positivo, sendo necessário aumentar a ordem do filtro com intuito de melhorar o desempenho da rede PLC em casas populares. Quando o dimmer foi ligado na rede PLC, a eficiência alcançada na rede foi aproximadamente igual a 61,5 %. Com os resultados obtidos pode-se dizer que diversos eletrodomésticos causam degradação na eficiência da rede PLC indoor e se

existir alta incidência de interferência é necessário utilizar o filtro PLC para tentar bloquear os sinais de ruído para dentro da rede PLC.

5.5.2 Desempenho da Rede PLC sem a Presença de Filtros

Esta seção visa realizar a avaliação da rede local PLC baseado na configuração da figura 5.21 (a) sem utilizar filtros PLC e com o tamanho da janela TCP igual a 512 kB. Observando o gráfico da figura 5.38, referente às medidas realizadas numa casa popular, no período vespertino, a vazão obtida na rede foi de 61,77 Mbps e a taxa máxima de transmissão alcançada na rede foi de 72,85 Mbps. O resultado obtido foi aproximadamente 20 % menor do que na condição avaliada utilizando filtro PLC medido no período vespertino.

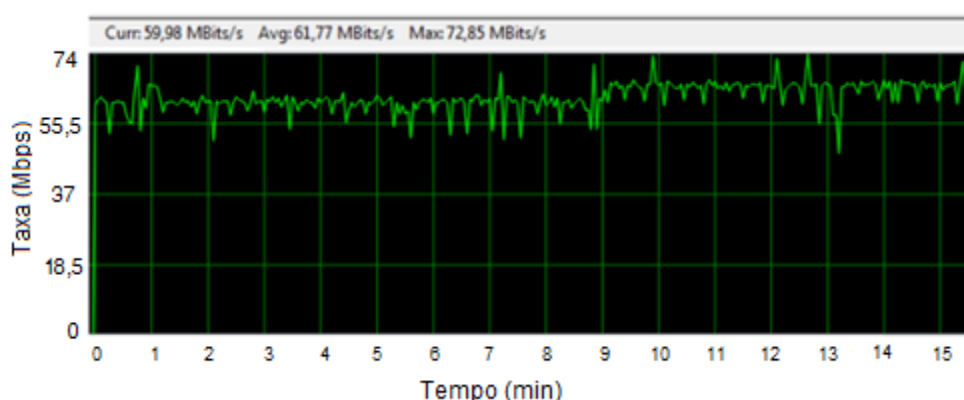


Figura 5.38 – Vazão na rede PLC sem a presença de filtros numa casa popular.

De modo a quantificar o desempenho da rede PLC numa casa popular, foi realizada uma comparação com as medidas realizadas numa casa de classe média. Para esta casa a vazão alcançada foi de 86,44 Mbps e a taxa máxima de transmissão atingiu 96,76 Mbps, conforme apresentado na figura 5.39. O desempenho obtido para a casa popular se deve ao fato de estar utilizando apenas a rede elétrica com uma única fase e a geladeira em todas as medições realizadas estava ligada. Para a casa de classe média a rede elétrica é trifásica e as fases são bem distribuídas entre os pontos de luz e as tomadas.

Desse modo, para a casa popular seria interessante ter as 2 fases de energia ligadas e bem distribuídas entre as poucas tomadas e pontos de luz.

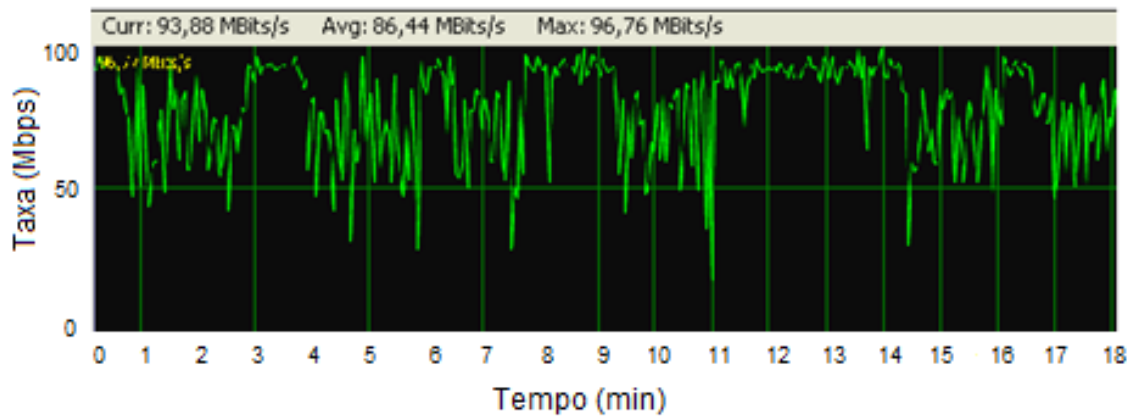


Figura 5.39 – Vazão na rede PLC sem a presença de filtros numa casa de classe média.

A seguir são apresentados os resultados dos valores da vazão e da taxa máxima de transmissão, obtidas das medidas realizadas na rede PLC sem a utilização de filtros e com a atuação dos ruídos produzidos pelos eletrodomésticos, conforme são mostrados nas figuras de 5.40 até 5.47.

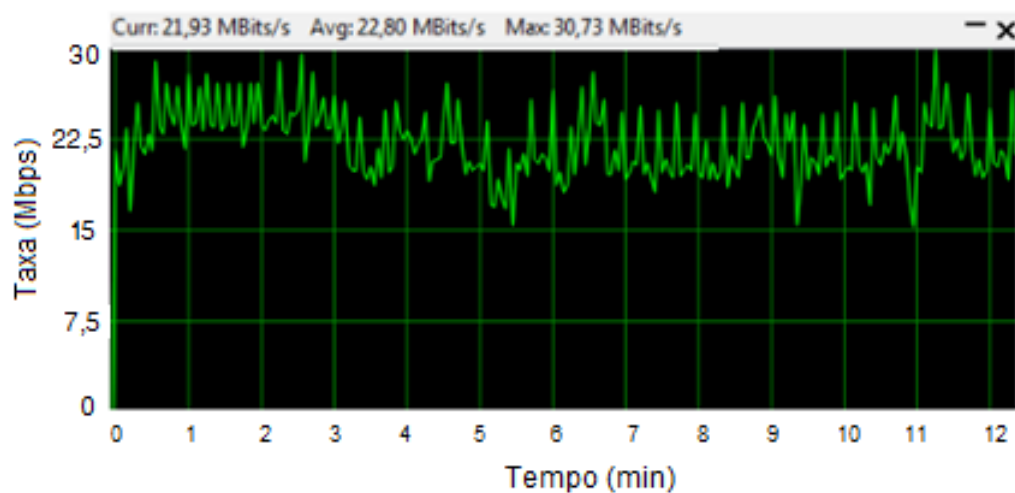


Figura 5.40 - Influência do barbeador na transmissão de dados pela rede PLC sem filtro.

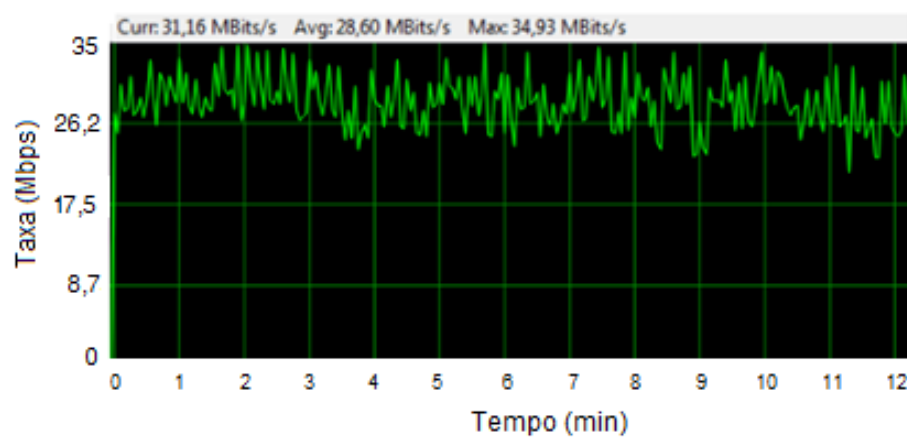


Figura 5.41 - Influência da batedeira na transmissão de dados pela rede PLC sem filtro.

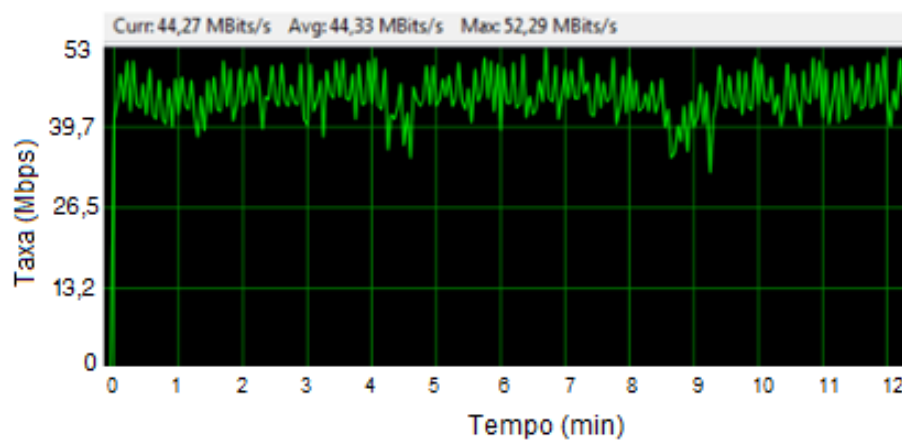


Figura 5.42 - Influência do dimmer na transmissão de dados pela rede PLC sem filtro.

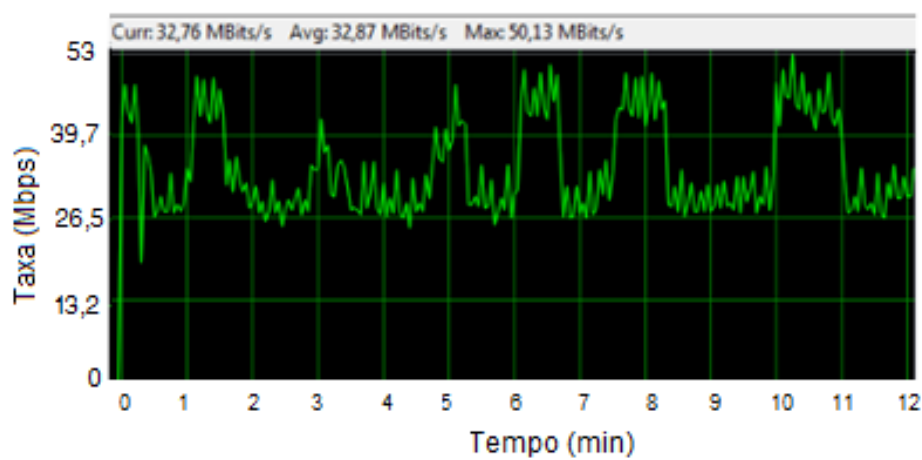


Figura 5.43 - Influência da fonte chaveada na transmissão de dados pela rede PLC sem filtro.

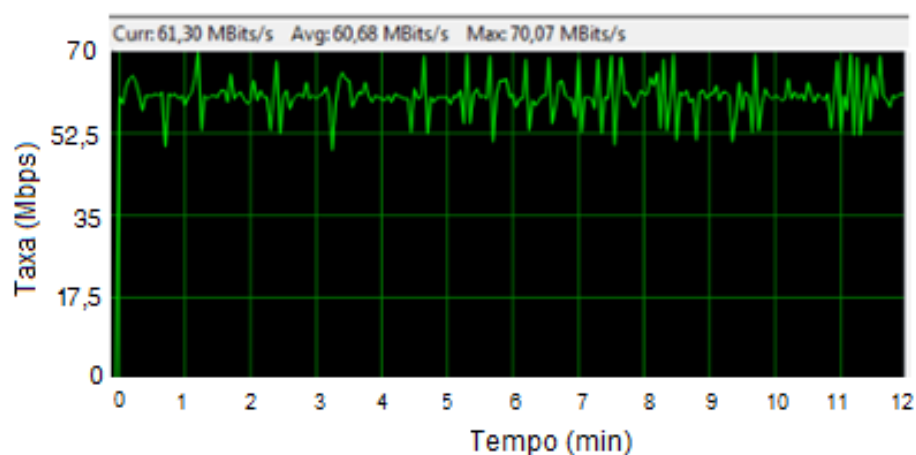


Figura 5.44 - Influência da lâmpada fluorescente compacta na transmissão de dados pela rede PLC sem filtro.

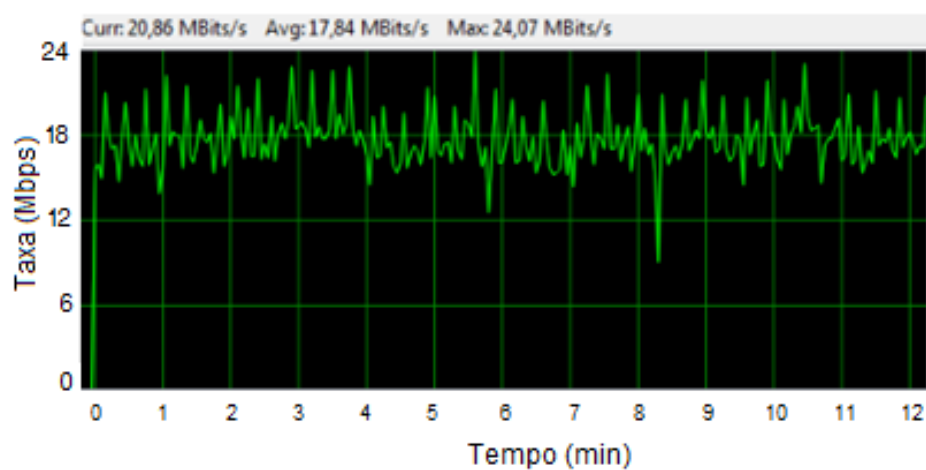


Figura 5.45 - Influência do liquidificador na transmissão de dados pela rede PLC sem filtro.

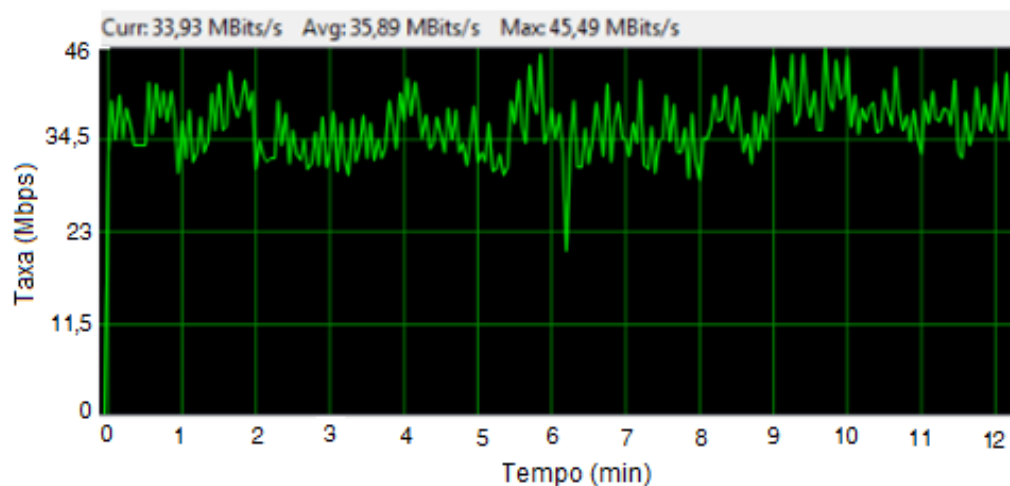


Figura 5.46 - Influência do secador na transmissão de dados pela rede PLC sem filtro.

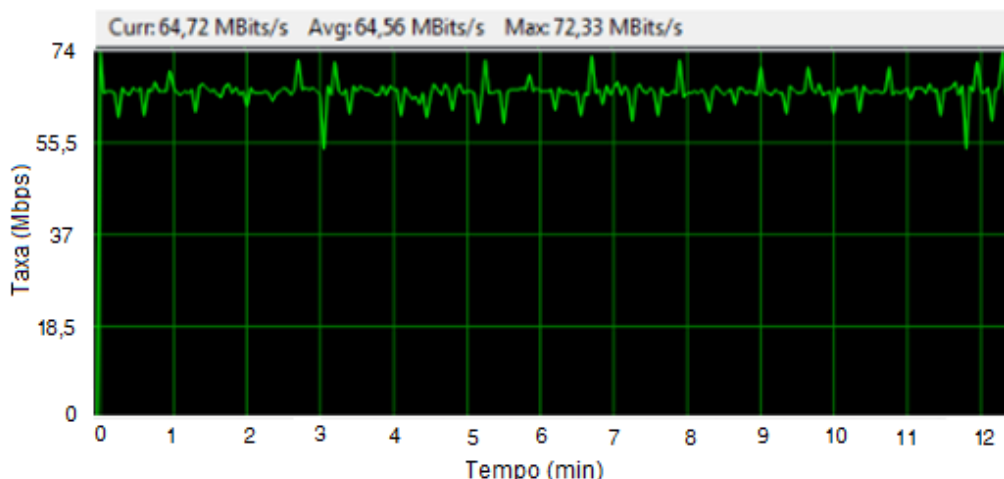


Figura 5.47 - Influência da TV e ventilador na transmissão de dados pela rede PLC sem filtro.

De modo a apresentar a comparação do desempenho da rede PLC sem a utilização de filtro em função dos ruídos provocados pelos eletrodomésticos as figuras 5.48 e 5.49 ilustram os resultados obtidos.

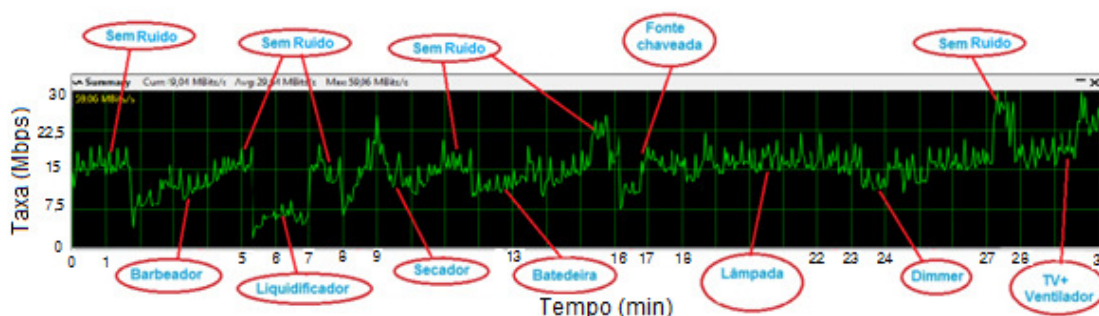


Figura 5.48 – Resultado comparativo da eficiência da rede PLC sem filtro considerando a presença de ruídos dos eletrodomésticos.

Analisando os gráficos das figuras 5.48 e 5.49, referentes às medidas realizadas nas casas populares, é possível verificar que o uso da TV em conjunto com o ventilador e a lâmpada fluorescente compacta confirma que fornecem baixa taxa de ruído na frequência de operação da rede PLC e desse modo a eficiência na rede alcança índices próximos da melhor condição possível, medido no período vespertino atuando apenas com o ruído produzido pela geladeira. Pela figura 5.49 observa-se que o ruído da batedeira influencia na transmissão de dados na rede PLC fornecendo uma eficiência de 28,6 %. O pior resultado foi alcançado com

o ruído provocado pelo liquidificador onde a eficiência na rede atingiu uma eficiência menor que 18 %.

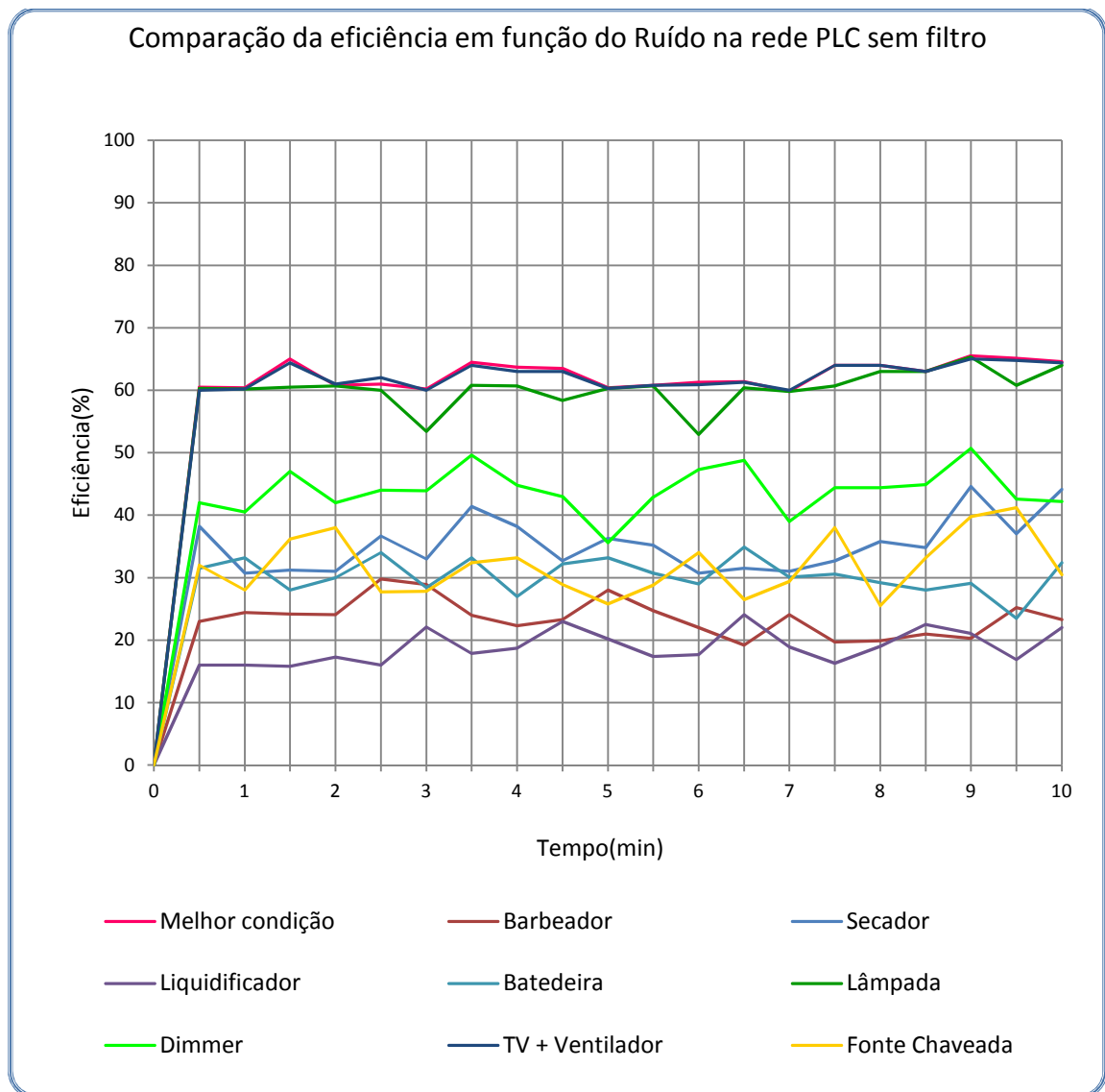


Figura 5.49 – Gráfico comparativo do desempenho de todos os eletrodomésticos numa rede PLC sem filtro.

A análise realizada com o liquidificador, fonte chaveada, batedeira e com o barbeador comprova que estes eletrodomésticos afetam drasticamente o desempenho da rede PLC. Então para estes eletrodomésticos é necessária a utilização de um filtro especial que possa bloquear o sinal de ruído para evitar a ocorrência de uma baixa taxa de transmissão na rede. Quando o dimmer foi ligado na rede PLC, a eficiência alcançada na rede foi aproximadamente igual a 44,33 %. Para o secador de cabelos a eficiência na rede alcançou valores próximos de 36 %.

Estes resultados comprovam que quando existe a alta incidência de interferência é necessário utilizar o filtro PLC para bloquear ou minimizar o efeito do ruído para dentro da rede PLC.

Outra avaliação realizada foi verificar o desempenho da rede PLC em três casas populares da mesma rua do bairro. Todas as medidas foram realizadas no período vespertino com alta temperatura ambiente próximo de 40 °C e umidade relativa do ar inferior a 20 %. A figura 5.50 ilustra a comparação do desempenho da rede PLC obtido das medições nas três casas utilizando a configuração da figura 5.21 (a) sem a presença de ruídos.

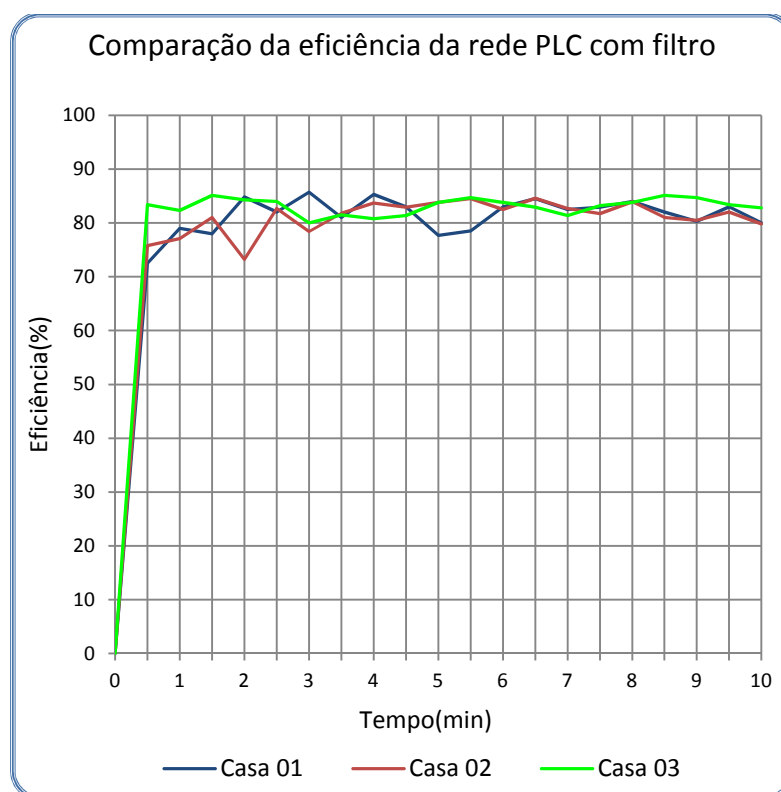


Figura 5.50 - Comparação do desempenho da rede PLC entre as três casas populares com filtro.

Observando a figura 5.50 pode-se concluir que o desempenho da rede PLC nas três casas populares foram bem próximos, confirmando que por serem casas novas com menos de 1 mês entregues às famílias e todas com o mesmo projeto elétrico, teriam que proporcionar resultados semelhantes como foi o que ocorreu. A figura 5.51 apresenta o resultado obtido do desempenho da rede PLC nas três casas populares sem a utilização de filtro.

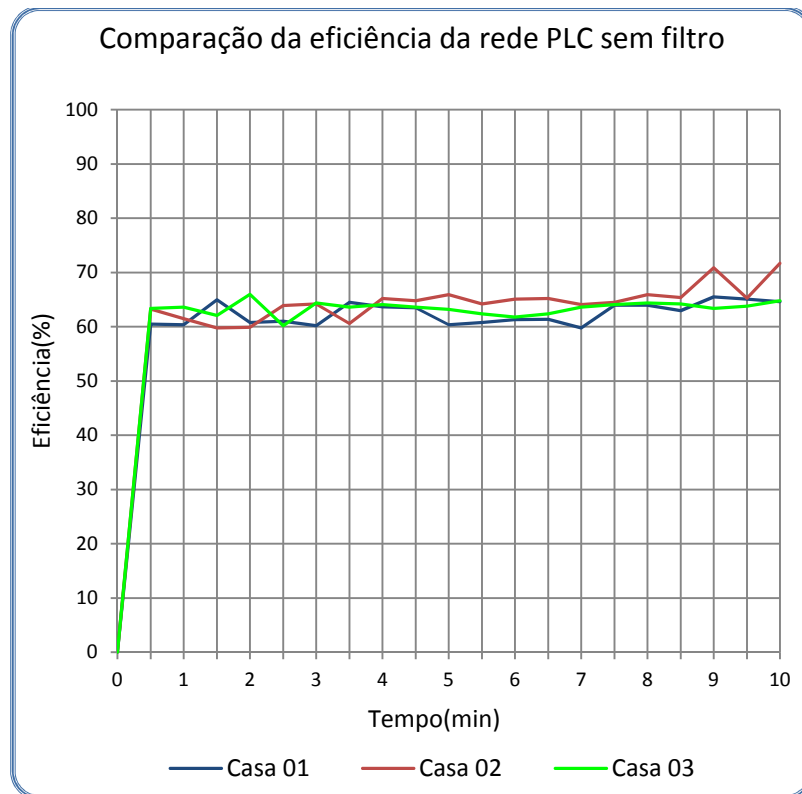


Figura 5.51 - Comparação do desempenho da rede PLC entre as três casas populares sem filtro.

Pela análise da figura 5.51 pode-se concluir que o desempenho da rede PLC nas três casas populares foram bem próximos mesmo sem a presença do filtro, o que de fato deveria ocorrer por serem casas novas e de projetos idênticos. Em seguida foi realizada a avaliação de desempenho da rede PLC comparando o período matutino, vespertino e noturno utilizando o filtro conforme a configuração da figura 5.21 (a), cujo resultado pode ser vista na figura 5.52.

Pela análise da figura 5.52 constata-se que no período noturno a eficiência da rede PLC foi superior ao período da manhã e da tarde. No período noturno a rede com a utilização do filtro proporcionou altíssimo desempenho, atingindo, por diversas vezes a taxa máxima de transmissão de 100 Mbps. Baseado neste resultado, resolveu-se verificar o excelente desempenho da rede PLC no período noturno por meio de uma comparação baseado em três visitas na casa popular durante a noite. Todas as medidas noturnas foram feitas na mesma casa e no horário entre 19 h até as 21 h.

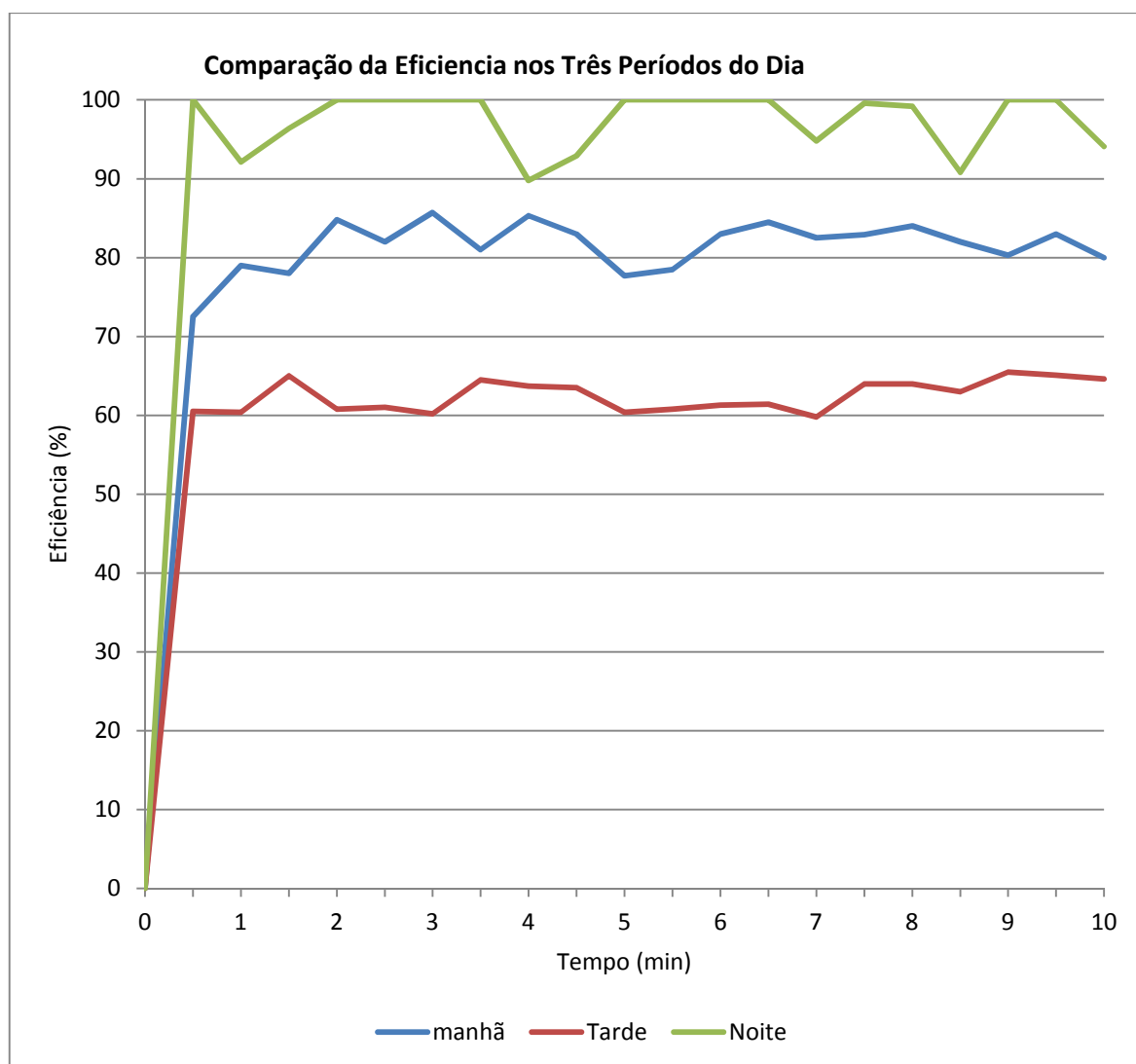


Figura 5.52 – Comparação da eficiência da rede PLC nos três períodos do dia.

A figura 5.53 ilustra o resultado comparativo entre as medições realizadas no período noturno na casa popular. Observando a figura 5.53 constata-se que o resultado obtido para o desempenho da rede PLC foi bastante próximo nos três dias de medição onde por diversos instantes de tempo a taxa de transmissão alcançou a taxa máxima de transmissão de 100 Mbps. É importante ressaltar que à noite a temperatura estava em torno de 30 °C, sendo assim aproximadamente 10 °C a menos que a temperatura no período vespertino.

Desse modo, constata-se que realmente durante o período noturno a transmissão de dados via rede elétrica é bastante superior aos demais períodos do dia.

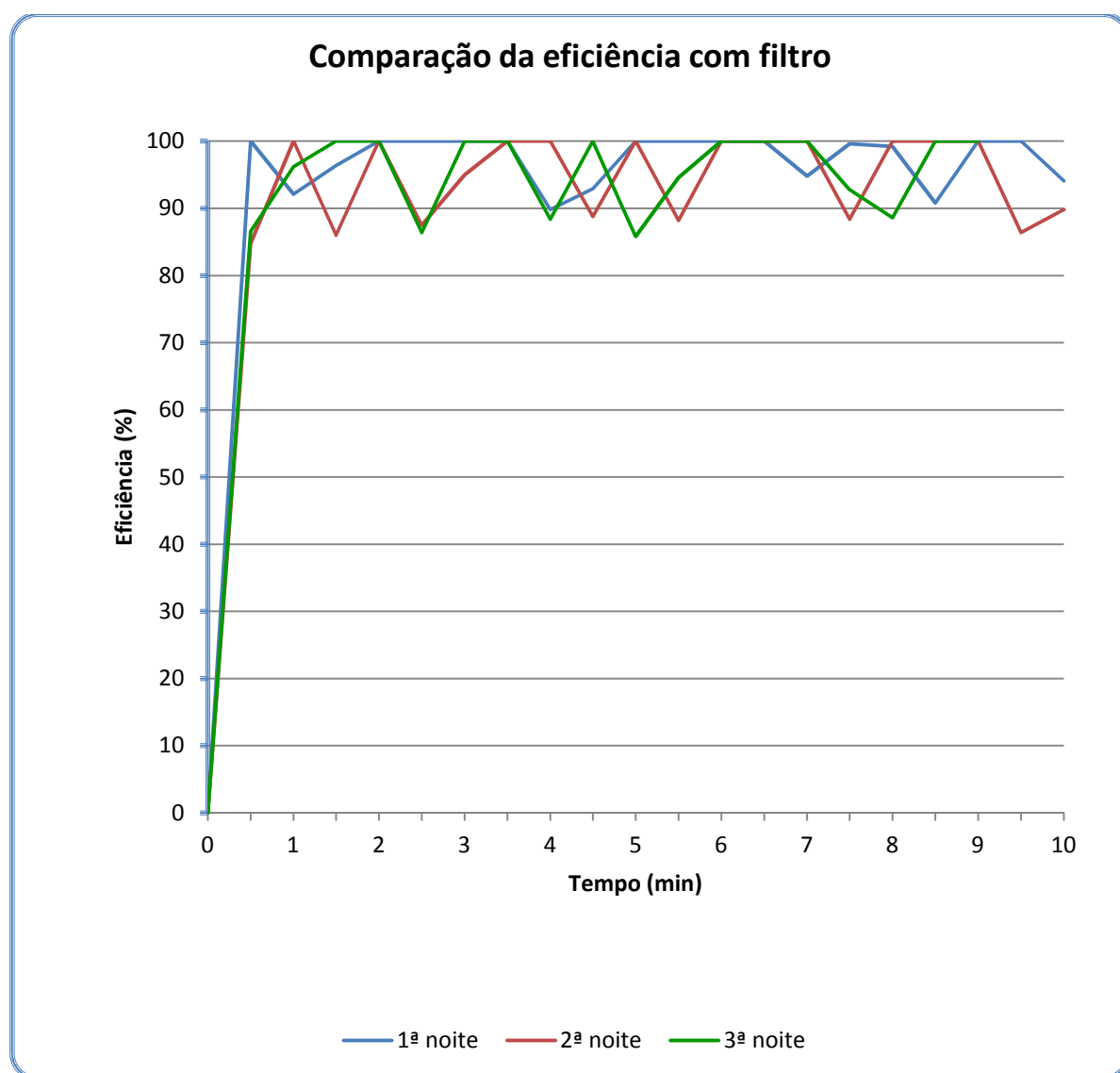
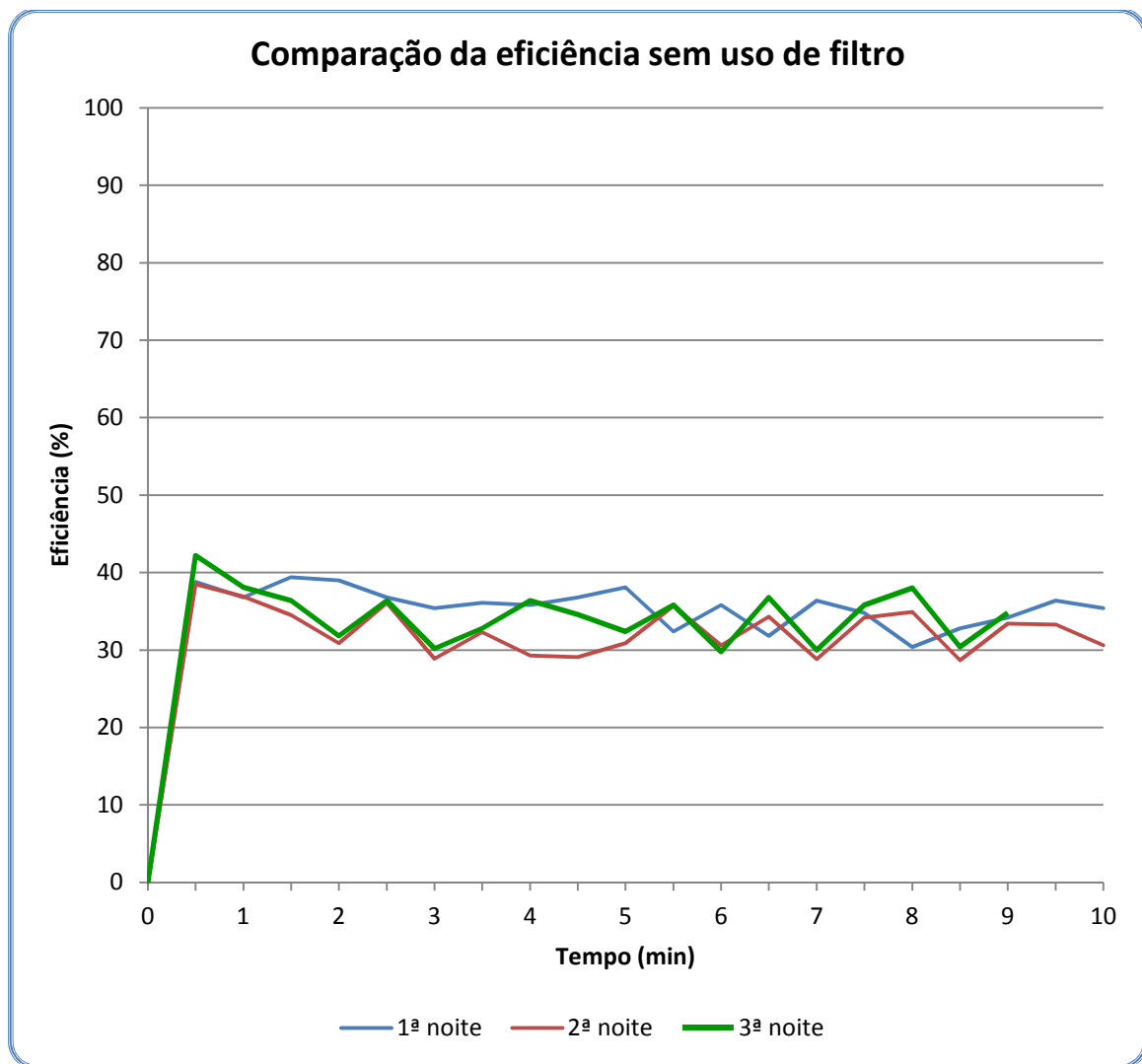


Figura 5.53 - Comparação da eficiência da rede PLC para os três dias de medição no período noturno com filtro.

De modo a entender melhor os resultados obtidos foi realizada a avaliação de desempenho da rede PLC sem a utilização de filtro, conforme montagem seguindo a configuração da figura 5.21 (b). O resultado obtido dessa comparação nos três dias de medição na casa popular é mostrado na figura 5.54.



5.54- Comparação da eficiência da rede PLC para os 3 dias de medição no período noturno sem uso de filtro.

Observando a figura 5.54 constata-se que o desempenho da rede PLC no período noturno sem a utilização de filtro apresentou resultados bem semelhantes nos três dias de realização das medições. De qualquer modo verifica-se no gráfico da figura 5.54 que a eficiência da rede sem a utilização do filtro cai para menos de 40 % e desse modo a solução mais adequada é utilizar o filtro de modo a tentar barrar os sinais indesejados de ruído e assim possibilitar à rede PLC alcançar uma eficiência bem alta para a transmissão de dados e acesso a Internet.

5.5.3 Avaliação da Rede PLC em Função do Aumento do Tamanho da Janela TCP

Um dos principais fatores da arquitetura TCP/IP sobre a rede PLC é a ampla disponibilidade de largura de banda, possibilitando aumentar o tamanho da janela de congestionamento TCP [63, 144]. A figura 5.55 ilustra o resultado da vazão obtida na rede PLC para diversos tamanhos da janela de congestionamento TCP.

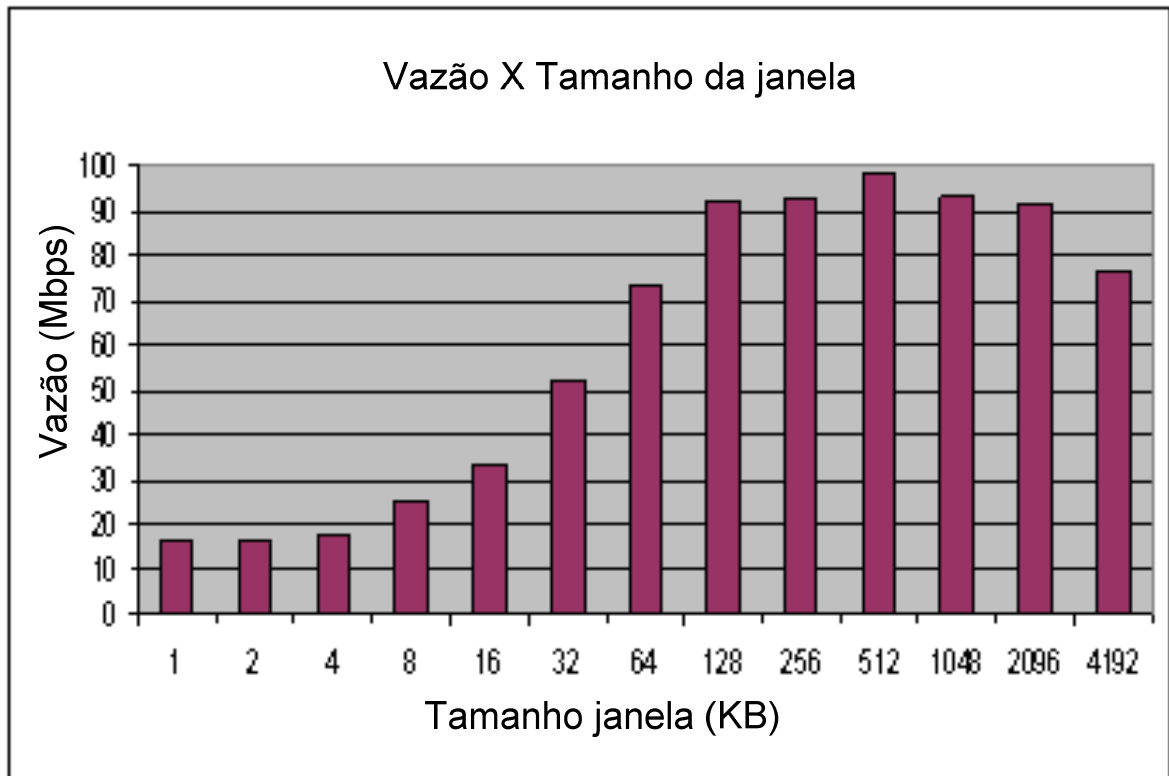


Figura 5.55 - Vazão em função do aumento da janela de congestionamento TCP.

Observando a figura 5.55 verifica-se que com o aumento do tamanho da janela TCP, a vazão na rede PLC aumenta até o tamanho máximo da janela igual a 512 KB. Para esta situação comprova-se que a eficiência na rede PLC é superior a 90%.

Por isso é indicado acessar o sistema operacional de todos os computadores e ajustar o tamanho da janela de congestionamento para 512 KB numa rede LAN PLC.

5.5.4 Avaliação da Rede PLC em Função da Distância entre 2 Pontos

Esta seção visa avaliar o desempenho da rede PLC em função da distância entre o transmissor e o receptor. Pode-se observar pela figura 5.56, que a taxa de transmissão cai à medida que cresce a distância entre os dois pontos. Pela análise do gráfico para 350 m a eficiência na rede é de 50 % e a vazão máxima obtida foi acima de 90 Mbps.

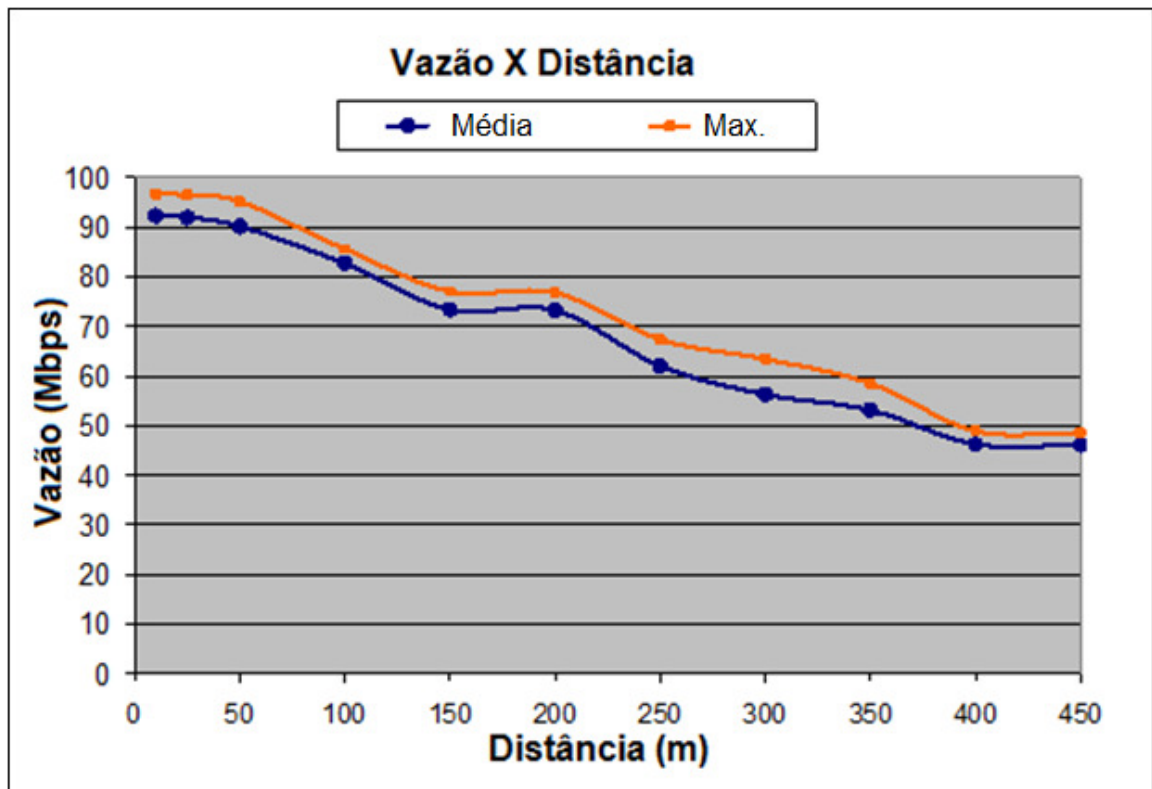


Figura 5.56 - Vazão na rede em função da distância.

5.6 MEDIÇÕES DE SINAIS PLC

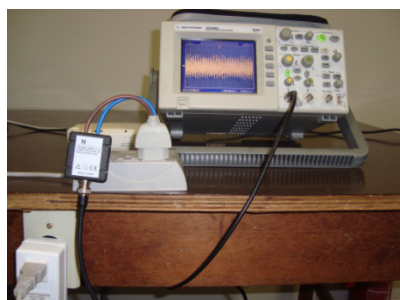
Nesta seção são apresentados os resultados obtidos das medições realizadas com o osciloscópio e com o analisador de sinais vetoriais referente ao sinal PLC, nas situações com e sem filtro PLC. As fotos da figura 5.57 ilustram todos os equipamentos utilizados para a medição do sinal transmitido na rede elétrica.



Analizador de sinais vetoriais



Analizador de energia elétrica



Osciloscópio digital



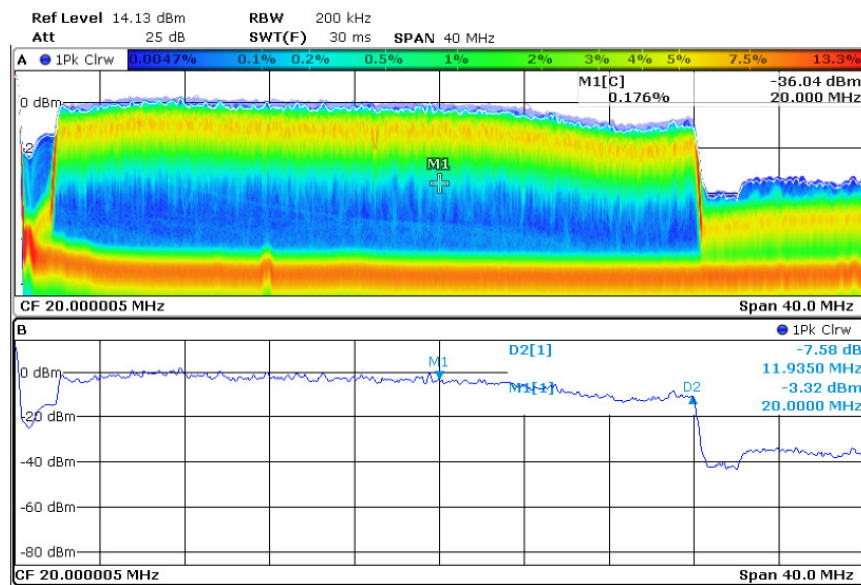
Analizador de espectro

Figura 5.57 - Equipamentos utilizados para medição do sinal PLC.

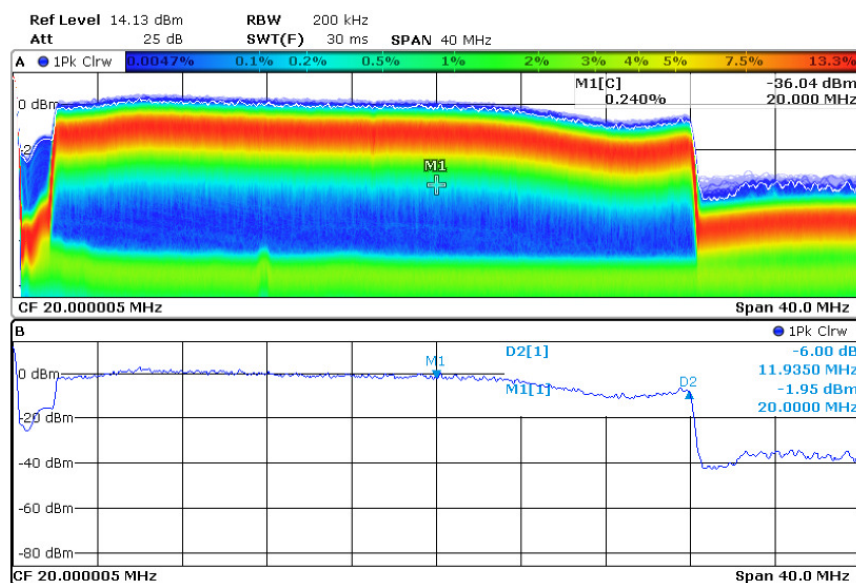
5.6.1 Medidas do Sinal PLC com e sem a Utilização de Filtro

A seguir são apresentados os resultados obtidos das medições realizadas utilizando o osciloscópio e o analisador de sinais vetoriais na casa popular, com e sem a aplicação do filtro PLC. A primeira medida foi realizada na rede PLC com filtro, seguindo a configuração da rede da figura 5.21 (a) sem transmissão de dados e sem a presença de qualquer fonte de ruído. Observando a figura 5.58 (a) a banda passante do sinal PLC medido foi de 2 MHz até 32 MHz, com amplitude do sinal igual a 0 dBm ou 1 mW/Hz. Com relação à medida efetuada com o osciloscópio a tensão de pico medida foi de 0,72 V, conforme pode ser visto na tabela 5.2 e na figura 5.68 (a). O resultado obtido das medidas realizadas com o analisador de sinais vetoriais do sinal PLC sem a utilização de filtro, baseado na configuração da rede da figura 5.21 (b) na casa popular é a condição mais real da aplicação da rede PLC indoor. Para a

medida realizada da figura 5.58 (b), o espectro do sinal PLC medido foi de aproximadamente 2 MHz até 32 MHz. A diferença entre a utilização ou não do filtro pode ser vista comparando as curvas dos gráficos da figura 5.58 (a) e (b).



(a)

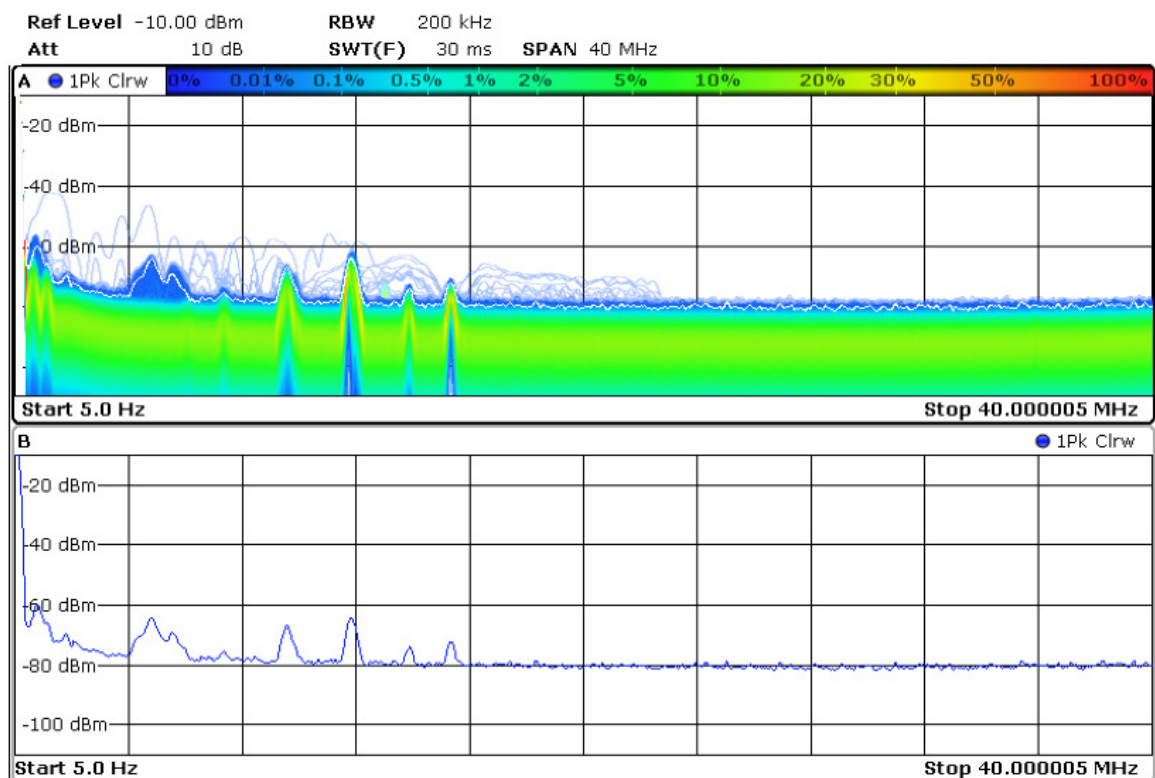


(b)

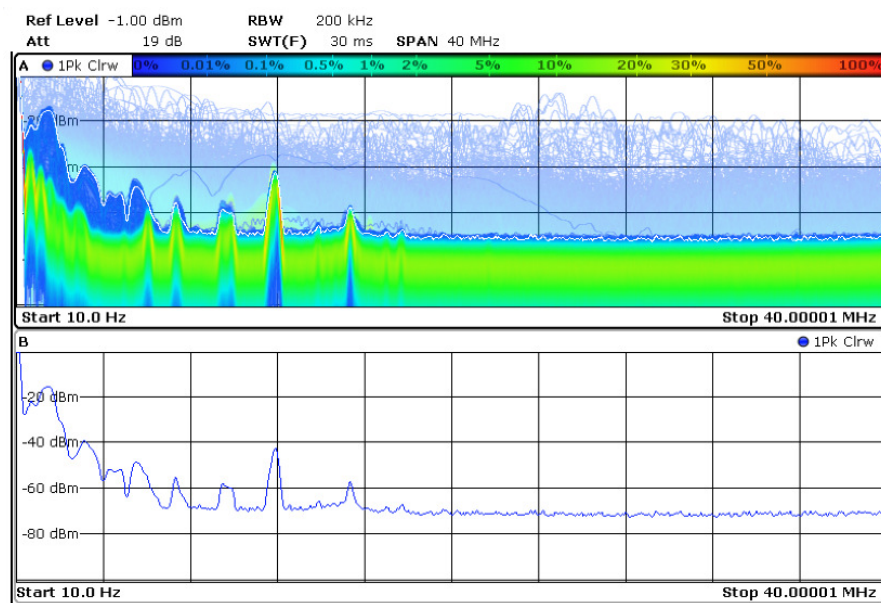
5.58- Medida do sinal PLC sem transmissão de dados sem a presença de ruídos: (a) com filtro, (b) sem filtro.

Quando se utilizou o filtro, o nível mais intenso do sinal representado pela cor vermelha na curva de persistência ficou no patamar em torno de -70 dBm durante toda a faixa de frequência. Para a situação onde não foi utilizado o filtro na rede PLC, o nível mais intenso do sinal (cor vermelha) ficou entre -10 dBm e -20 dBm até o final da largura de banda do sinal PLC que está em torno de 32 MHz. Pela observação da amplitude, o sinal PLC é praticamente igual para as duas situações medidas.

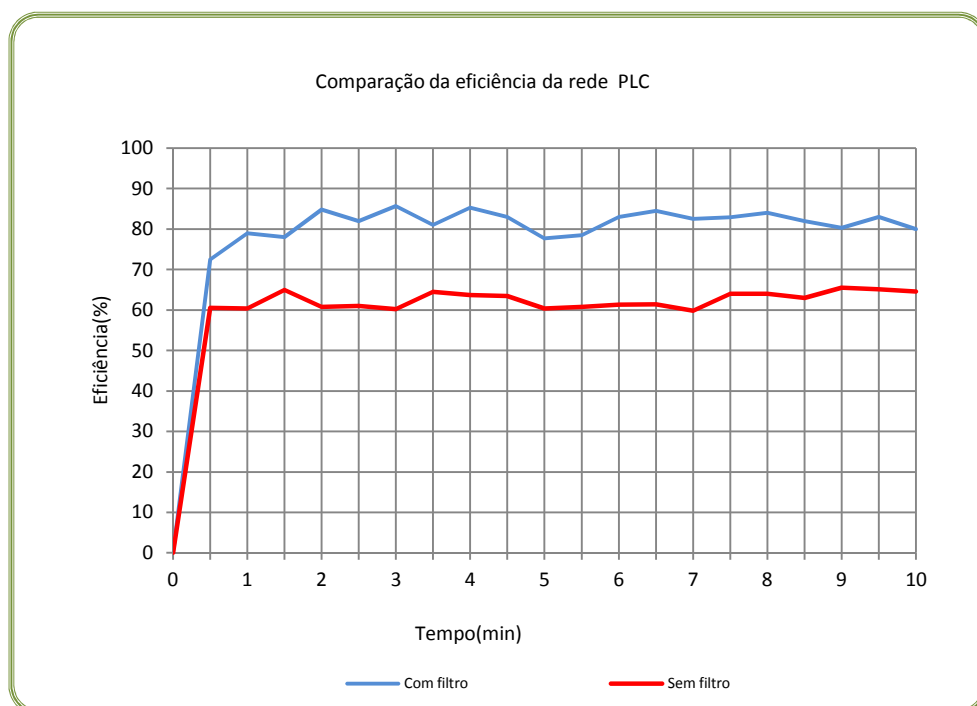
Na figura 5.59 (a) é apresentado o resultado da medida do sinal PLC com transmissão de dados na rede PLC com filtro baseado na configuração da rede da figura 5.21 (a) e sem a aplicação de filtro conforme 5.59 (b), baseado na configuração da rede da figura 5.21 (b) e em ambos os casos sem a presença de qualquer tipo de fonte de ruído.



(a)



(b)



(c)

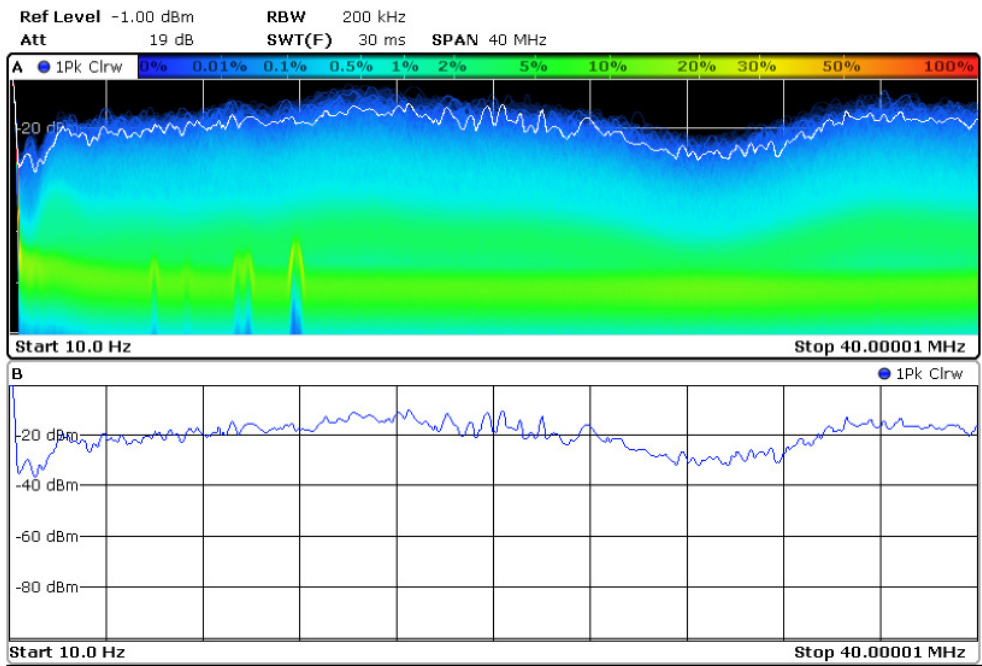
Figura 5.59 - Avaliação de desempenho e medida do sinal PLC com transmissão de dados sem a presença de ruídos: (a) com filtro, (b) sem filtro, (c) eficiência.

Comparando os dois gráficos da figura 5.59, pode-se observar que as duas curvas são parecidas com a diferença baseada na maior amplitude do sinal e no sinal de fraca intensidade na cor azul que cobre praticamente todo o espectro de frequência na rede PLC sem filtro. É exatamente essa “sujeira” que aparece destacada na cor azul a responsável pela queda de 25 % no desempenho da transmissão do sinal na rede PLC, conforme pode ser visto na figura 5.59 (c).

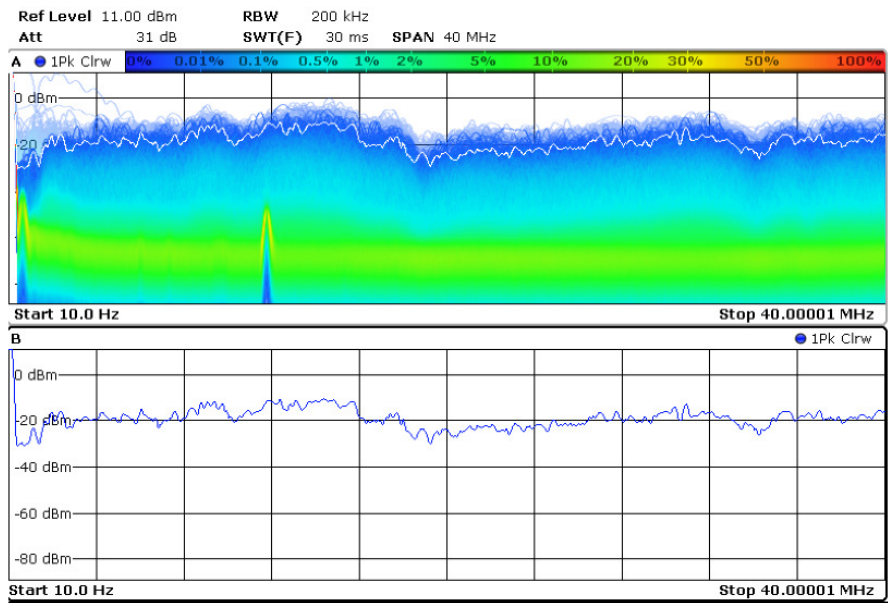
Com relação à medida efetuada com o osciloscópio, a tensão máxima foi igual a 0,94 V quando o filtro foi aplicado e 0,98 V sem a utilização de filtro, conforme pode ser visto na figura 5.68 (a) e (b) e na tabela 5.2. Ao receber o sinal, o receptor precisa amplificá-lo, de forma que ele possa ser processado. Desse modo, a sensibilidade de recepção deve corresponder ao nível mínimo de sinal que o receptor precisa para receber os dados com um volume aceitável de erros de recepção. Para uma boa transmissão do sinal PLC, sugere-se basear como uma referência que o nível das interferências não pode ser 25 dBm superior à potência do sinal no receptor.

Para a situação analisada da rede PLC com filtro conforme configuração da figura 5.22 e com a presença do ruído produzido pelo secador de cabelos, observa-se que o sinal atinge patamares próximos a -20 dBm, baseado na curva do gráfico da figura 5.60 (a). A tensão máxima medida com o osciloscópio foi de 0,82 V, conforme pode ser visto na tabela 5.2 e na figura 5.68 (d). A medida realizada na rede PLC sem a utilização de filtro foi baseada na figura 5.21 (b) e a curva é mostrada na figura 5.60 (b) onde é possível observar que a amplitude do sinal fica em torno de -20 dBm. A principal diferença encontrada entre as duas curvas está localizada na faixa de frequência de 24 MHz a 32 MHz onde ocorre uma queda de amplitude do sinal para a rede PLC com filtro segundo a figura 5.60 (a). De modo diferente, na rede PLC sem filtro mostrado na figura 5.60 (b), a queda da amplitude do sinal é muito

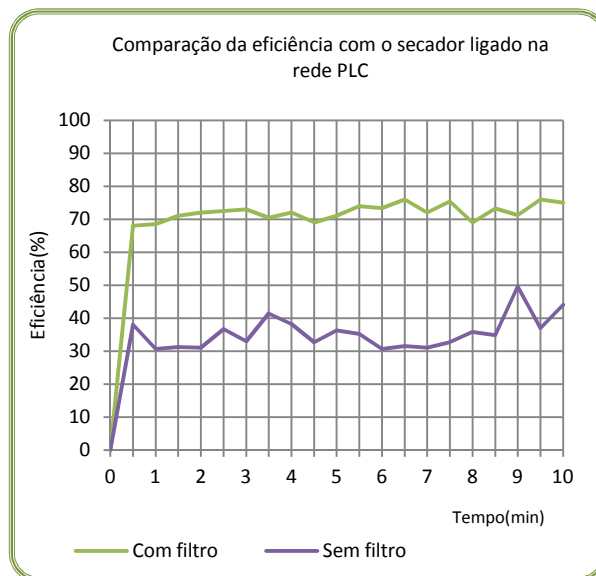
sutil. A não aplicação do filtro reflete numa queda de desempenho na rede PLC da casa popular, conforme pode ser visto na figura 5.60 (c).



(a)



(b)



(c)

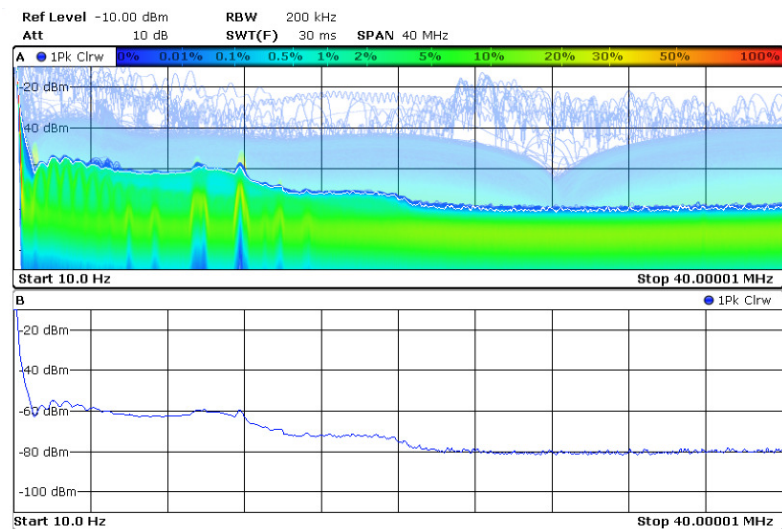
Figura 5.60 - Avaliação de desempenho e medida do sinal PLC com transmissão de dados e com a presença de ruído do secador de cabelo: (a) com filtro, (b) sem filtro, (c) eficiência.

A medida realizada na rede PLC com filtro mostrada na figura 5.61 (a) é baseada na configuração da figura 5.22 com a presença de ruído fornecido pela lâmpada fluorescente compacta e a tensão máxima medida foi igual a 0,98 V, conforme pode ser visto na tabela 5.2 e na figura 5.68 (e). O sinal medido com analisador de sinais vetoriais foi de -60 dBm até a frequência de 12 MHz e a partir da frequência de 20 MHz o sinal fica em torno de -80 dBm.

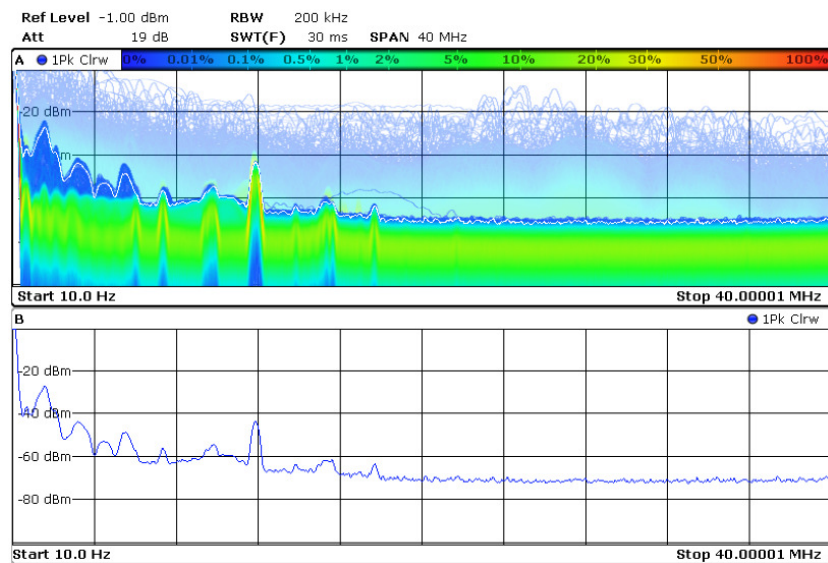
Pode-se observar pelo gráfico da figura 5.61 (b) onde a medição do sinal foi baseada na configuração da rede da figura 5.21 (b) que o sinal PLC apresenta variações da PSD que vão de -40 dBm até -70 dBm e picos nas amplitudes até 18 MHz onde, em seguida, o sinal se estabilizou em torno de -70 dBm.

Comparando os dois gráficos verifica-se que o sinal na transmissão de dados com filtro é mais estável, tendo uma amplitude em torno de -60 dBm até 12 MHz e alcançando um valor praticamente constante após a frequência de 22 MHz em -80 dBm.

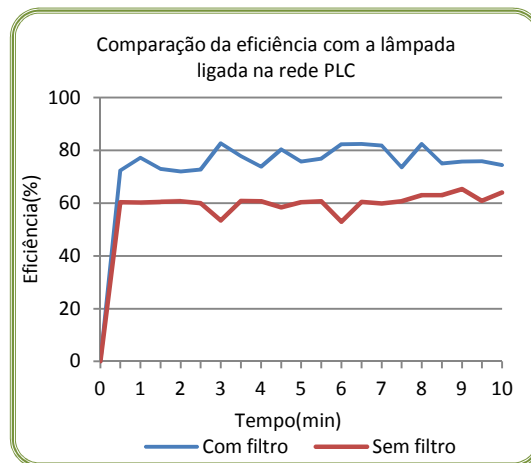
É possível visualizar que para as duas curvas aparecem “sujeiras” no espectro do sinal. Pela figura 5.61 (c) observa-se que a não aplicação do filtro reduz a eficiência da rede PLC em praticamente 25 %.



(a)



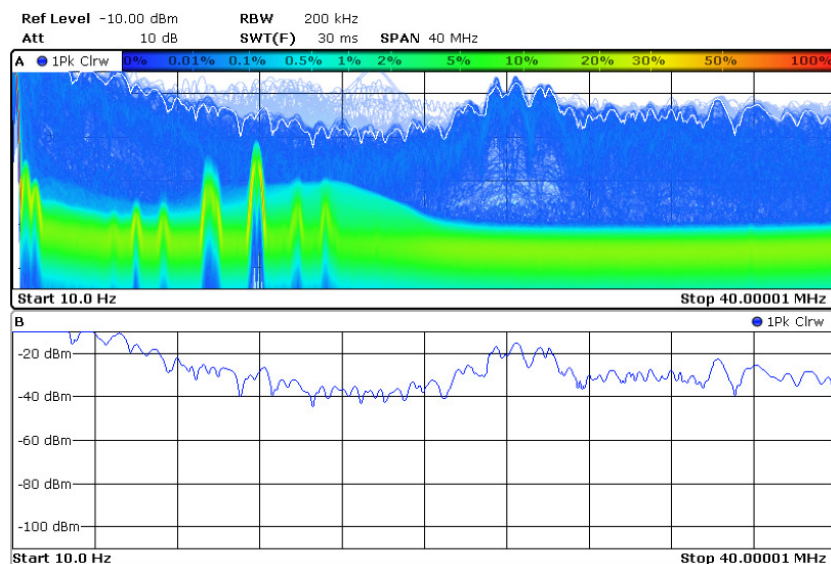
(b)



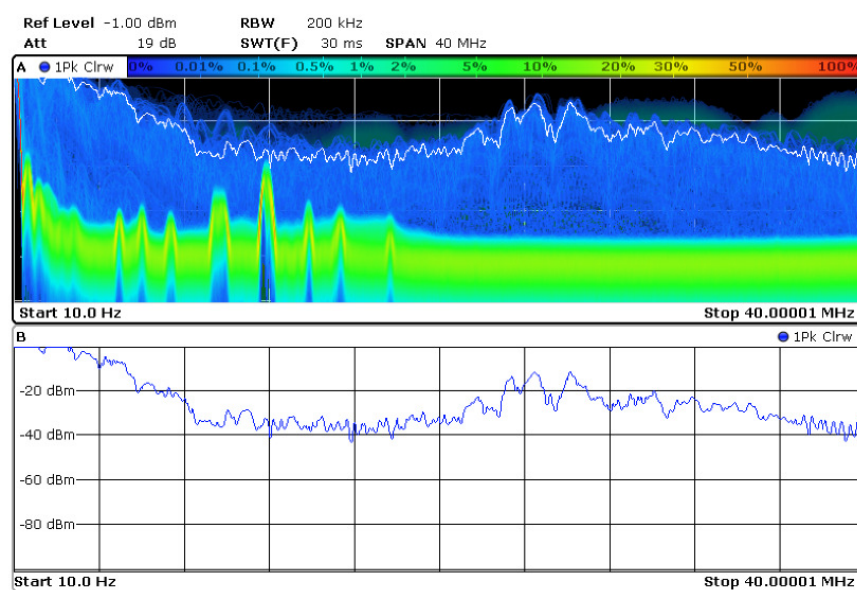
(c)

Figura 5.61 - Avaliação de desempenho e medida do sinal PLC com transmissão de dados com a presença de ruído da lâmpada fluorescente compacta: (a) com filtro, (b) sem filtro, (c) eficiência.

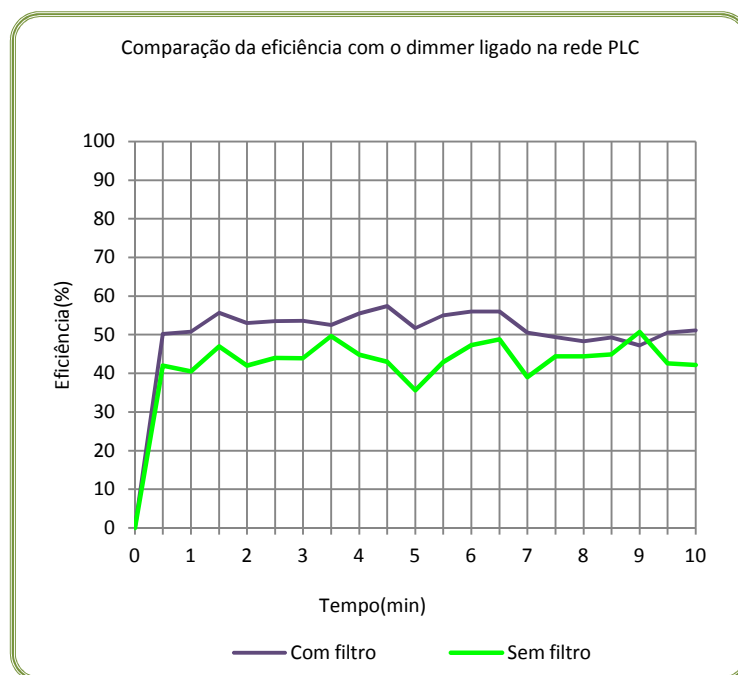
A figura 5.62 (a) mostra o resultado da medida realizada da rede PLC com filtro e com transmissão de dados durante a presença de ruídos fornecida pelo dimmer.



(a)



(b)



(c)

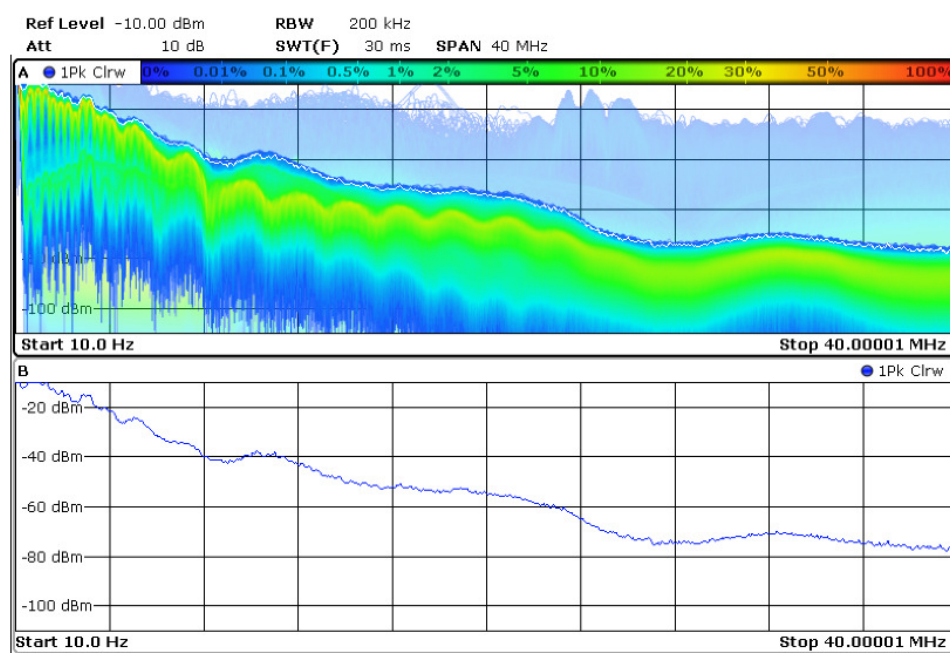
Figura 5.62 - Avaliação de desempenho e medida do sinal PLC com transmissão de dados com a presença de ruído do dimmer: (a) com filtro, (b) sem filtro, (c) eficiência.

A tensão de pico medida foi de 0,92 V conforme pode ser visto na tabela 5.2 e na figura 5.68 (f) e o sinal medido com o analisador de sinais vetoriais variou de -20 dBm até -40 dBm, apresentando intensos picos na frequência entre 6 MHz e 16 MHz.

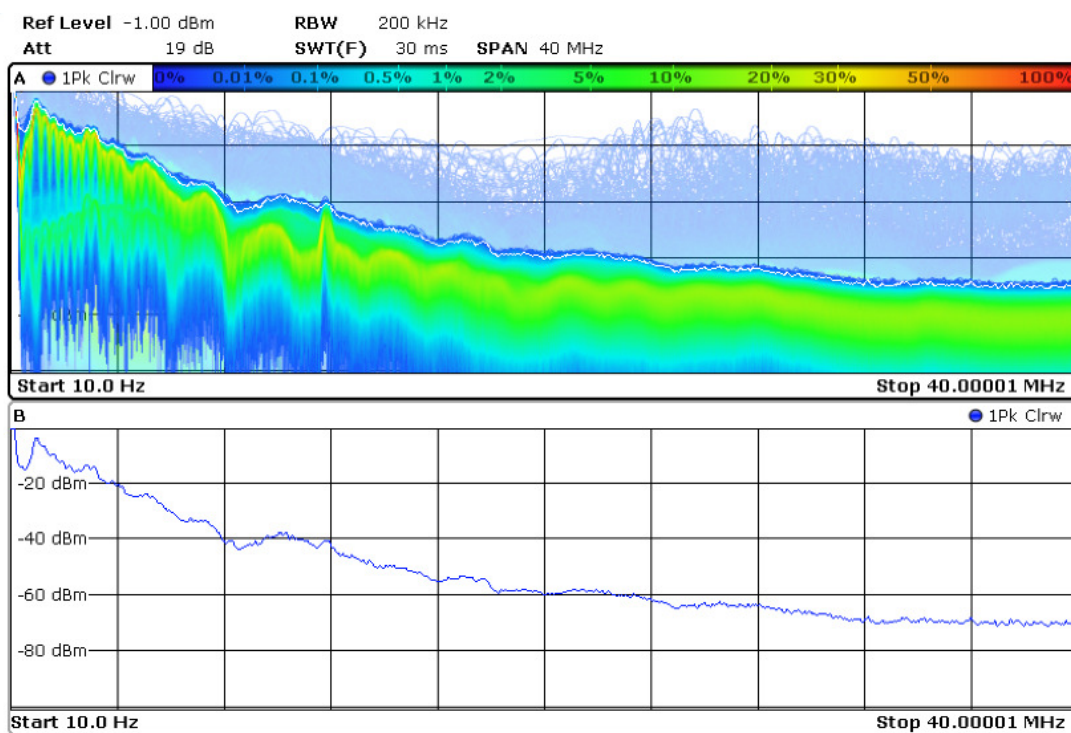
Para a medida realizada do sinal PLC com a interferência produzida pelo ruído do dimmer na rede PLC, conforme a configuração da figura 5.21 (b), verifica-se que a amplitude do sinal medido cai de 0 dBm até aproximadamente -40 dBm em 10 MHz, voltando a atingir patamares em torno de -30 dBm após a frequência de 22 MHz, conforme mostrado na figura 5.62 (b). A principal diferença visualizada entre as duas curvas é o maior número de picos na amplitude e a potência do sinal mais baixo encontrado na rede PLC em torno de 10 %, conforme pode ser visto na figura 5.62 (c).

Para a fonte chaveada o valor da tensão máxima medida com o osciloscópio foi de 0,88 V, conforme pode ser visto na tabela 5.2 e na figura 5.68 (g). Observando o espectro do sinal com o analisador de sinais vetoriais verifica-se que a amplitude inicia em 0 dBm e diminui conforme a frequência aumenta atingindo a escala próxima de -80 dBm em 40 MHz, conforme mostrado na figura 5.63 (a). Para a análise da medição do sinal PLC realizado com a transmissão de dados na rede PLC sem filtro e com a produção de ruído da fonte chaveada o resultado obtido é mostrado na figura 5.63 (b) que é muito próximo do encontrado na figura 5.63 (a). Por meio desta constata-se que o ruído produzido pela fonte chaveada é mais comprometedora que os demais ruídos produzidos na casa popular como no caso a geladeira que sempre ficou ligada.

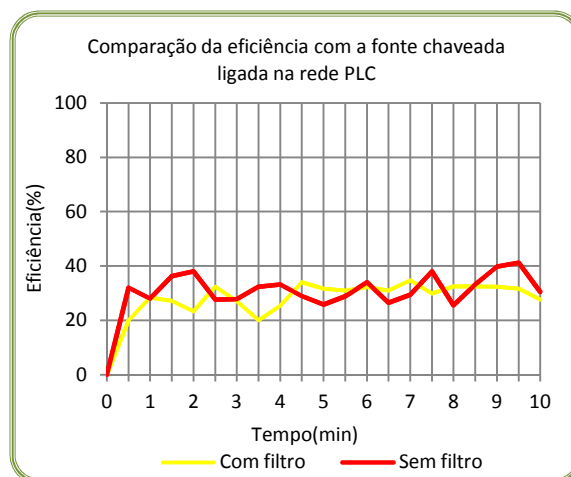
Desse modo justifica-se o baixo desempenho obtido da medição da eficiência da rede PLC com e sem a utilização do filtro, conforme mostrado na figura 5.63 (c) que mostra a comparação do desempenho da rede PLC em função do ruído provocado pela fonte chaveada com e sem a presença do filtro na rede PLC.



(a)



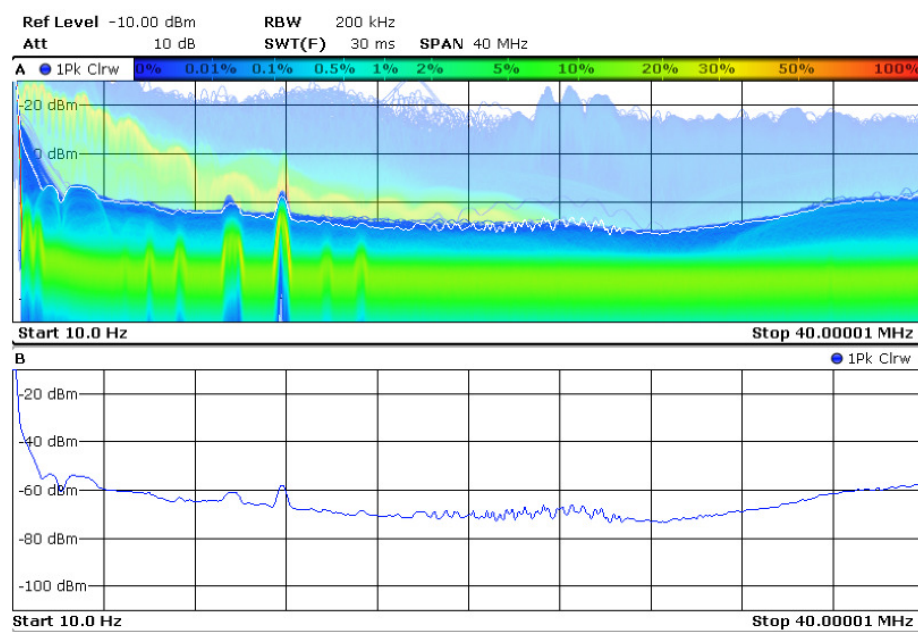
(b)



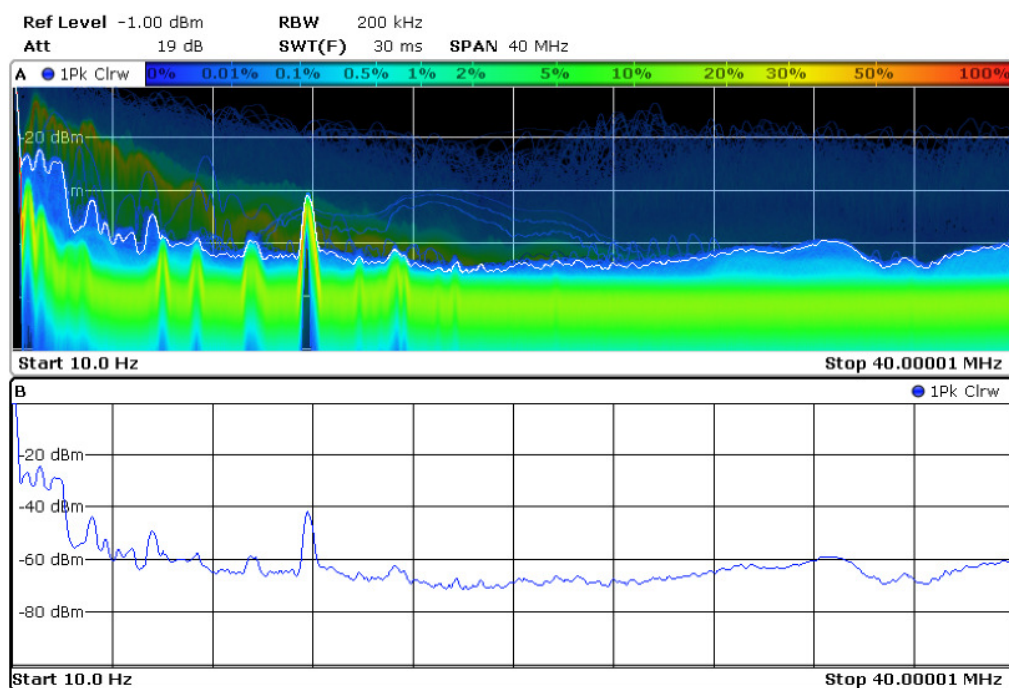
(c)

Figura 5.63- Avaliação de desempenho e medida do sinal PLC com transmissão de dados e com a presença de ruído da fonte chaveada: (a) com filtro, (b) sem filtro, (c) eficiência.

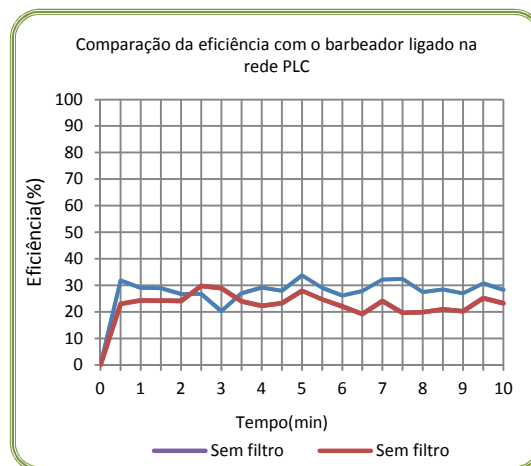
Para a situação onde o barbeador foi empregado para produzir o ruído na rede PLC com filtro conforme a configuração da figura 5.22, o valor da máxima tensão medida com o osciloscópio foi igual a 0,86 V, conforme pode ser visto na figura 5.68 (h) e na tabela 5.2. Com relação à medida realizada com o analisador de sinais vetoriais mostrada na figura 5.64 (a) a amplitude do sinal fica em torno de -60 dBm a -70 dBm. Além disso, pode ser visto na curva de persistência que aparecem dois picos intensos na frequência de 10 MHz e 12 MHz. Para a situação onde foi realizada a medição do sinal com a transmissão de dados na rede PLC sem filtro conforme a configuração da figura 5.21 (b) e com a influência do ruído provocado pelo barbeador teve como resultado lido com o analisador de sinais vetoriais a curva do gráfico mostrada na figura 5.64 (b). Para esta situação verifica-se que vários picos de amplitude ocorrem e o sinal durante quase toda a faixa de frequência fica pouco abaixo de -60 dBm. Isto resulta numa eficiência muito baixa e bastante semelhante entre as duas condições avaliadas conforme mostrado na figura 5.64 (c).



(a)



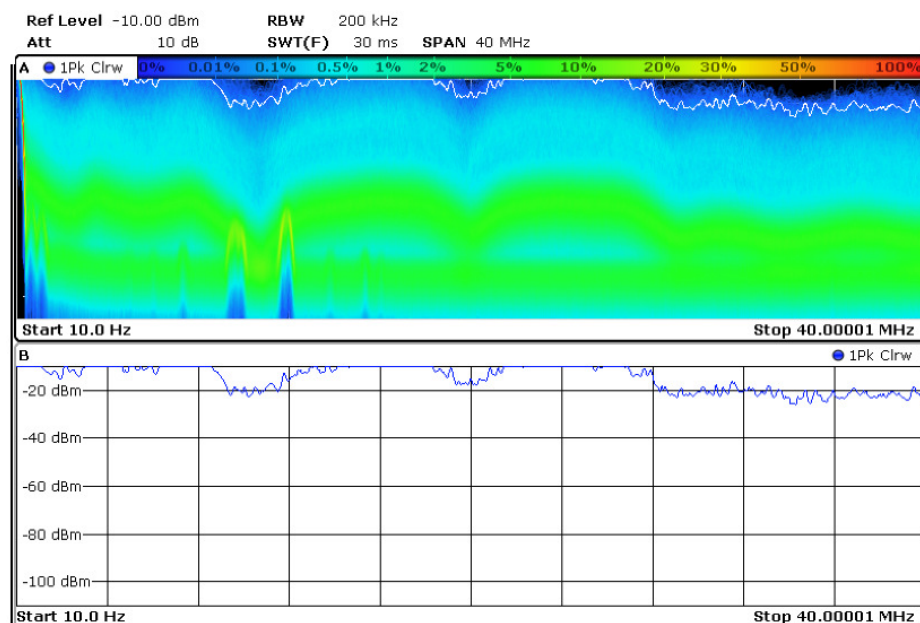
(b)



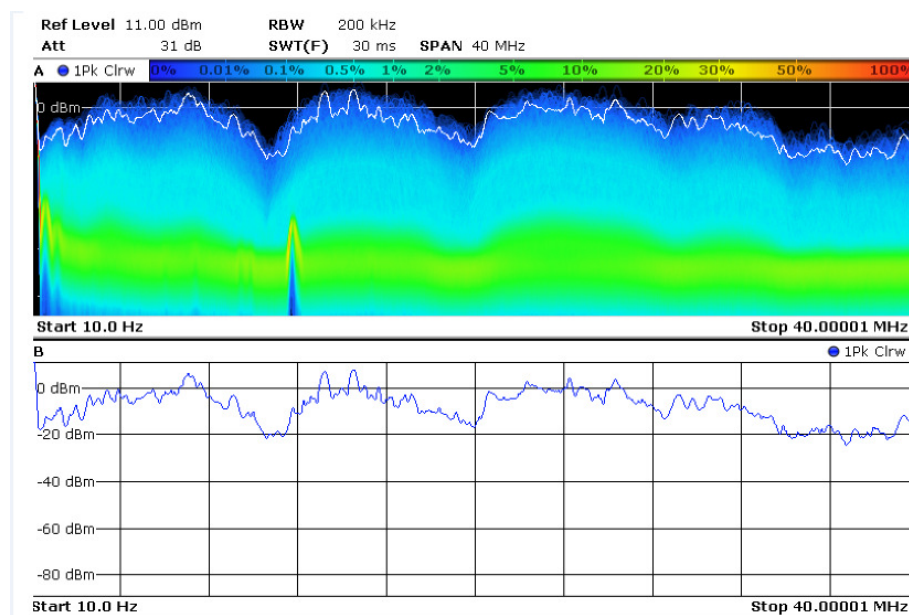
(c)

Figura 5.64 - Avaliação de desempenho e medida do sinal PLC com transmissão de dados com a presença de ruído do barbeador: (a) com filtro, (b) sem filtro, (c) eficiência.

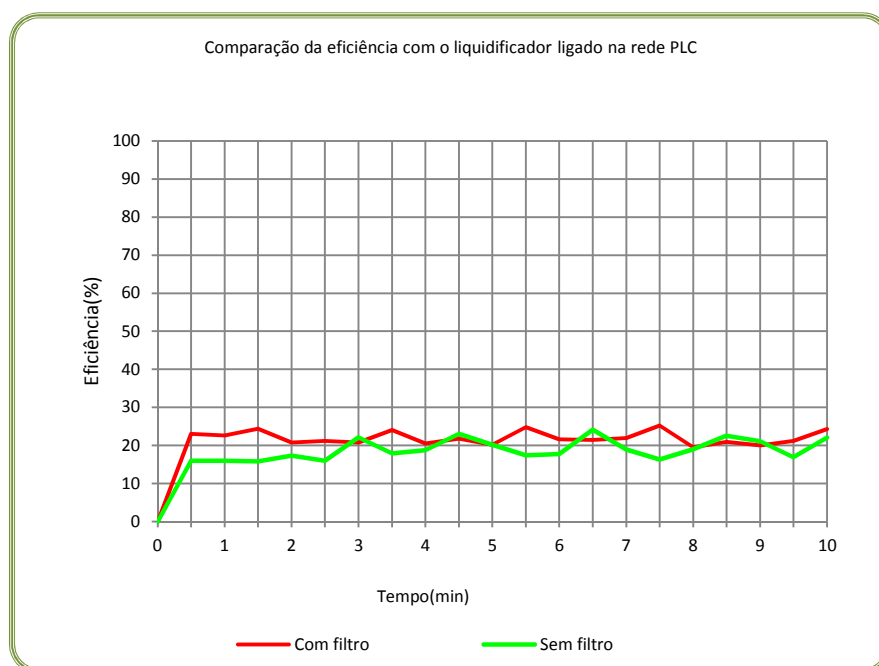
A figura 5.65 apresenta o resultado das medidas realizadas da rede PLC com efeito produzido pelo liquidificador.



(a)



(b)

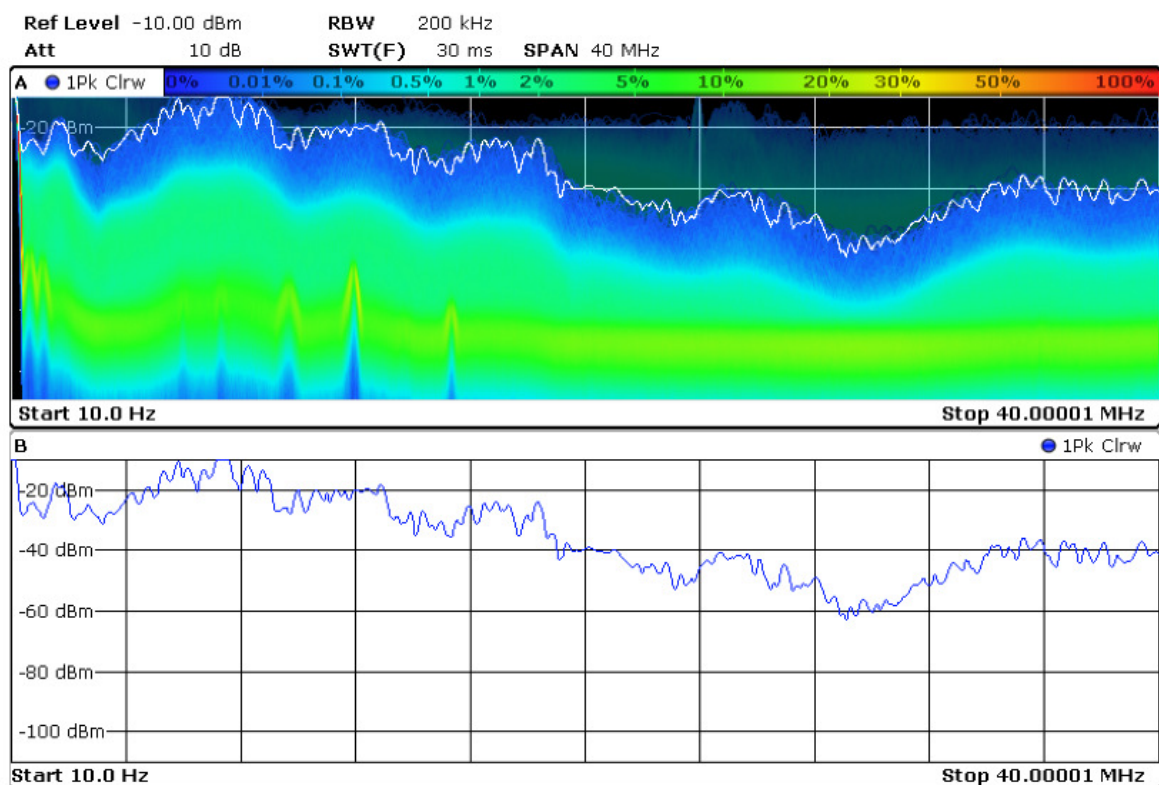


(c)

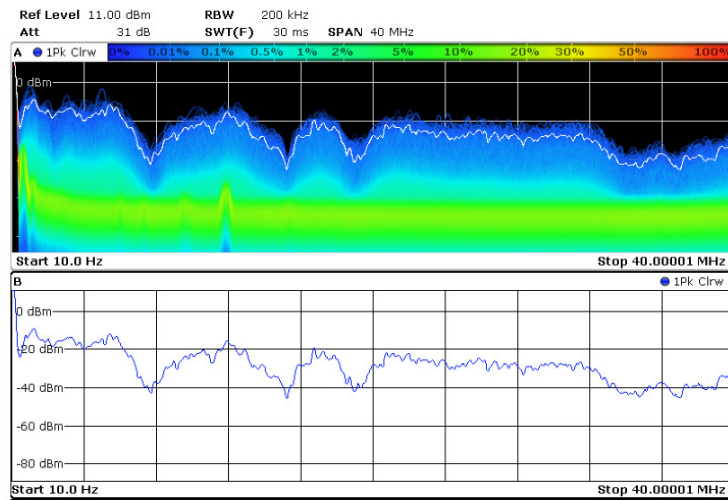
Figura 5.65 - Avaliação de desempenho e medida do sinal PLC com transmissão de dados e com a presença de ruído do liquidificador: (a) com filtro, (b) sem filtro, (c) eficiência.

Para a medida da rede PLC com filtro na presença de ruído produzido pelo liquidificador, com tensão de pico medida com o osciloscópio foi de 0,84 V, como mostrado na tabela 5.2 e a figura 5.68 (i). O ruído do liquidificador atua muito forte no sinal PLC onde a amplitude do sinal varia entre 0 dBm até -20 dBm, segundo pode ser verificado na figura 5.65 (a).

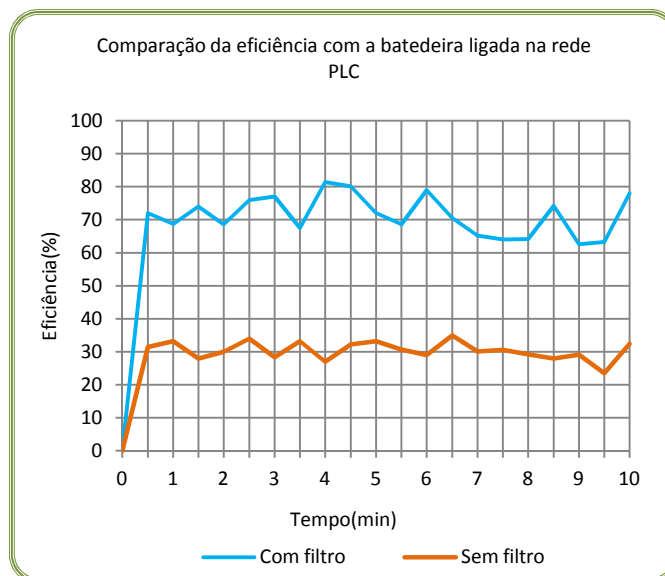
A figura 5.65 (b) mostra o resultado da medida realizada na rede PLC sem a utilização de filtro. Pode-se ver que o sinal oscila bastante entre 0 dBm e -20 dBm. Pela figura 5.65 (c) observa-se que a eficiência da rede PLC é muito baixa e praticamente igual para a condição com e sem a presença de filtro. A figura 5.66 (a) mostra o resultado obtido do sinal PLC durante a transmissão do sinal com a presença de ruído produzido pela batedeira.



(a)



(b)



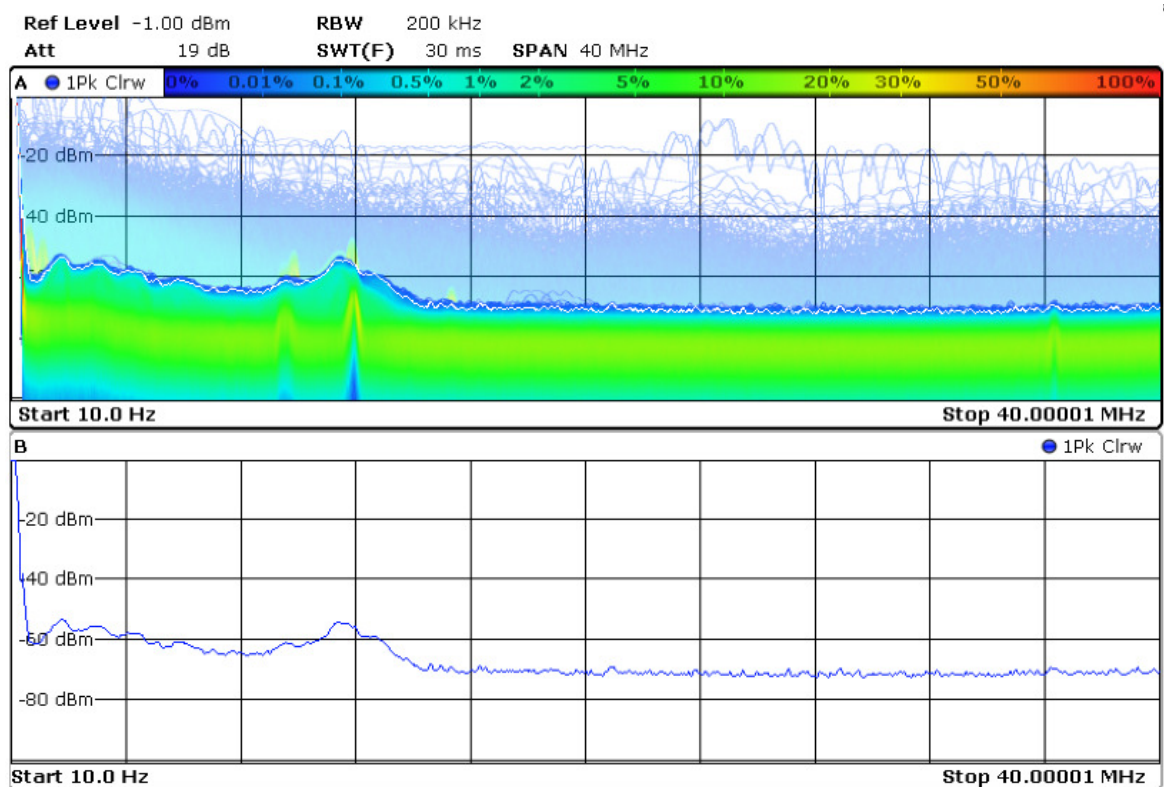
(c)

Figura 5.66 - Avaliação de desempenho e medida do sinal PLC com transmissão de dados e com a presença de ruído da bateadeira: (a) com filtro, (b) sem filtro, (c) eficiência.

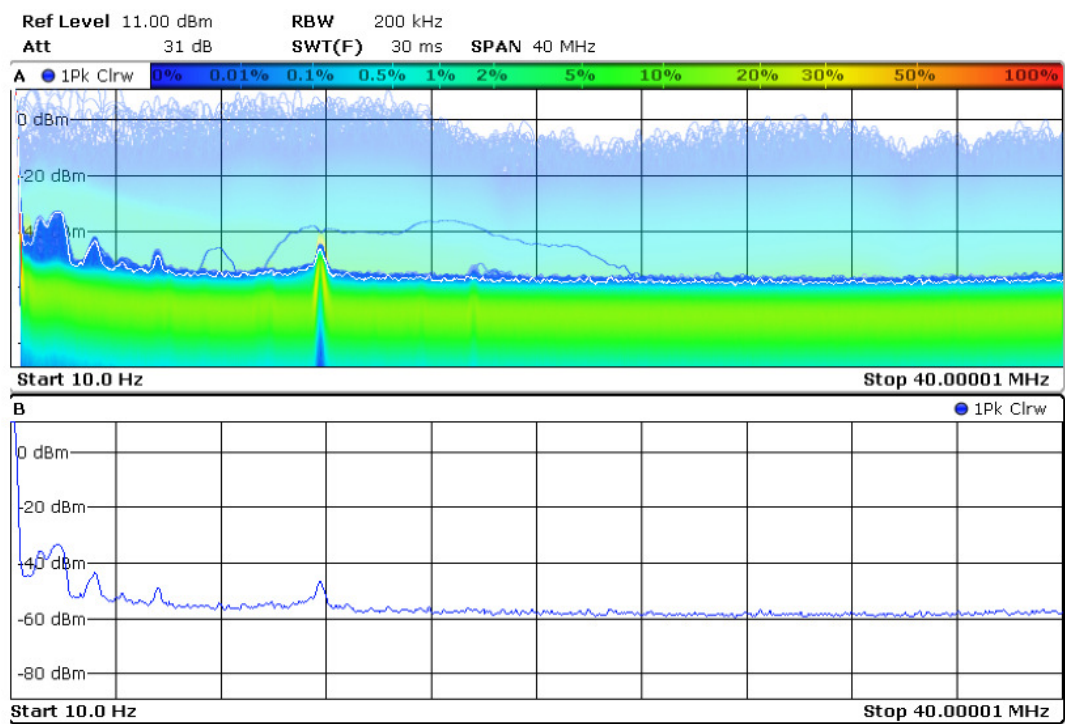
A tensão de pico medida com o osciloscópio foi de 0,82 V, como pode ser visto na figura 5.68 (j) e na tabela 5.2. A amplitude do espectro do sinal varia de -20 dBm a -60 dBm. Na figura 5.66 (b) verifica-se que na ausência do filtro a amplitude do sinal fica variando

apenas de -20 dBm a -40 dBm. A figura 5.66 (c) mostra que a eficiência da rede PLC cai praticamente 50 % na ausência do filtro. Por último é realizado as medidas do sinal PLC na presença do ruído produzido pela televisão em conjunto com o ventilador onde o resultado é apresentado na figura 5.67.

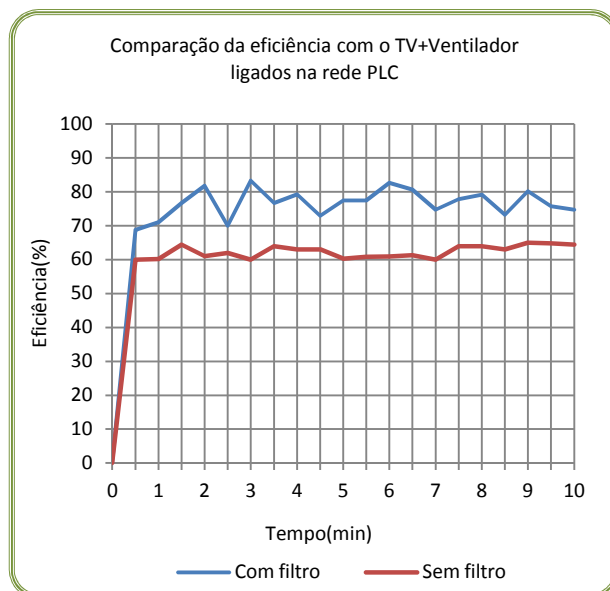
A tensão de pico medida com o osciloscópio foi de 0,74 V, conforme pode ser visto na figura 5.68 (e) e na tabela 5.2. A amplitude do sinal medido com o analisador de sinais vetoriais ficou em torno de -60 dBm até -70 dBm. A figura 5.67 (b) mostra a medição do sinal da rede PLC baseado na configuração da figura 5.21 (b). Pode-se constatar que o resultado obtido é bastante semelhante ao verificado no gráfico da rede PLC com filtro. Desse modo a eficiência da rede é considerada satisfatória em ambas as situações com e sem filtro.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.67 - Avaliação de desempenho e medidas do sinal PLC com transmissão de dados e com a presença de ruído da televisão mais o ventilador: (a) com filtro, (b) sem filtro.



Figura 5.68 (a): Sinal na rede elétrica sem transmissão de dados, sem a presença de ruídos e com filtro.

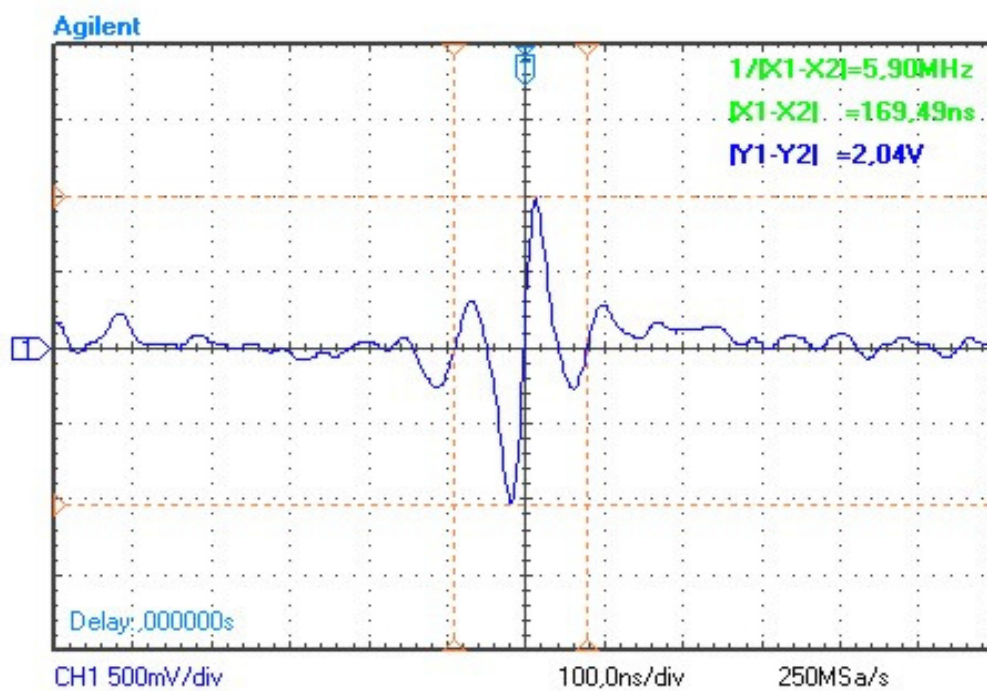


Figura 5.68 (b): Sinal na rede elétrica com transmissão de dados sem a presença de ruídos e com filtro.

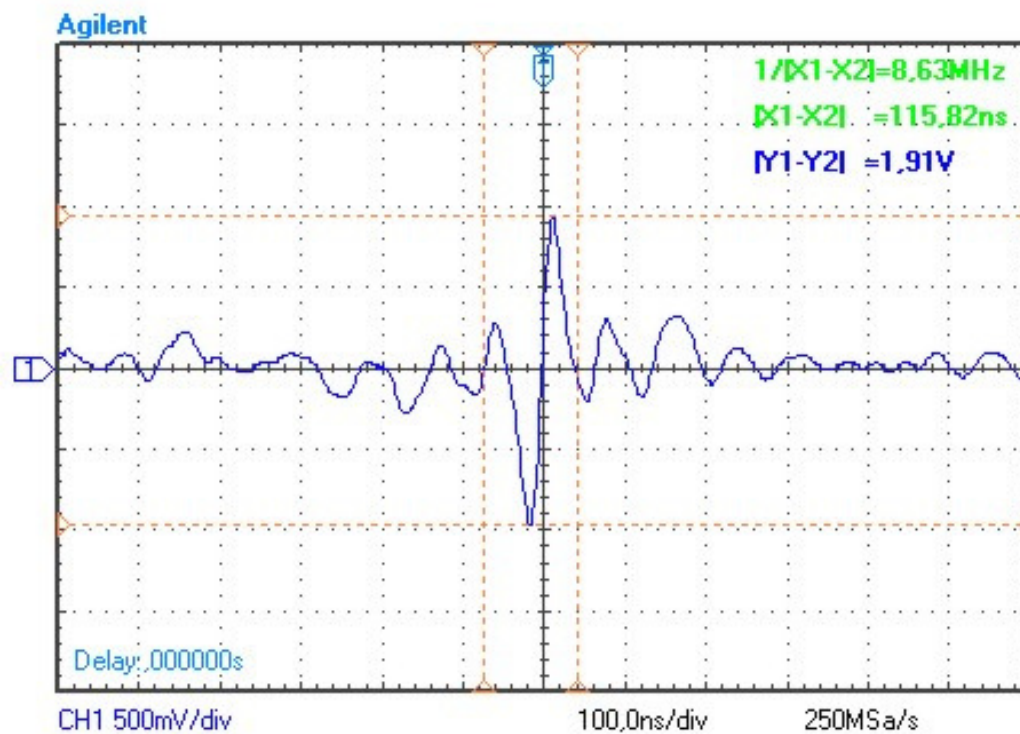


Figura 5.68 (c): Sinal na rede elétrica com transmissão de dados sem a presença de ruídos e sem filtro.

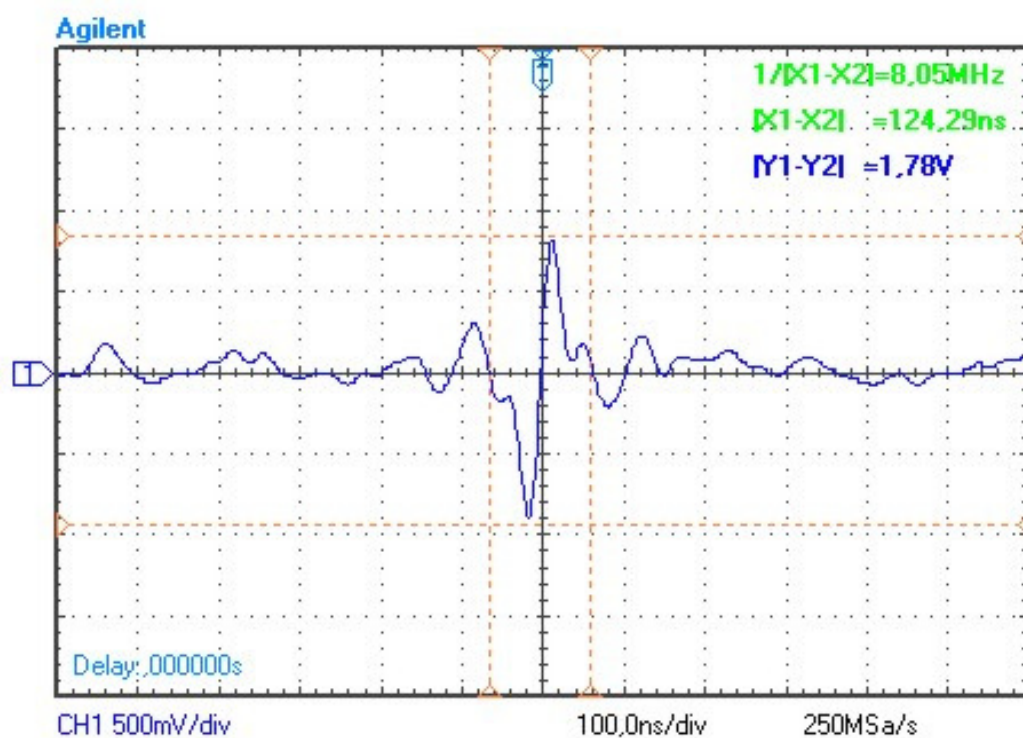


Figura 5.68 (d): Sinal na rede elétrica com transmissão de dados e com presença de ruído do secador de cabelo com filtro.

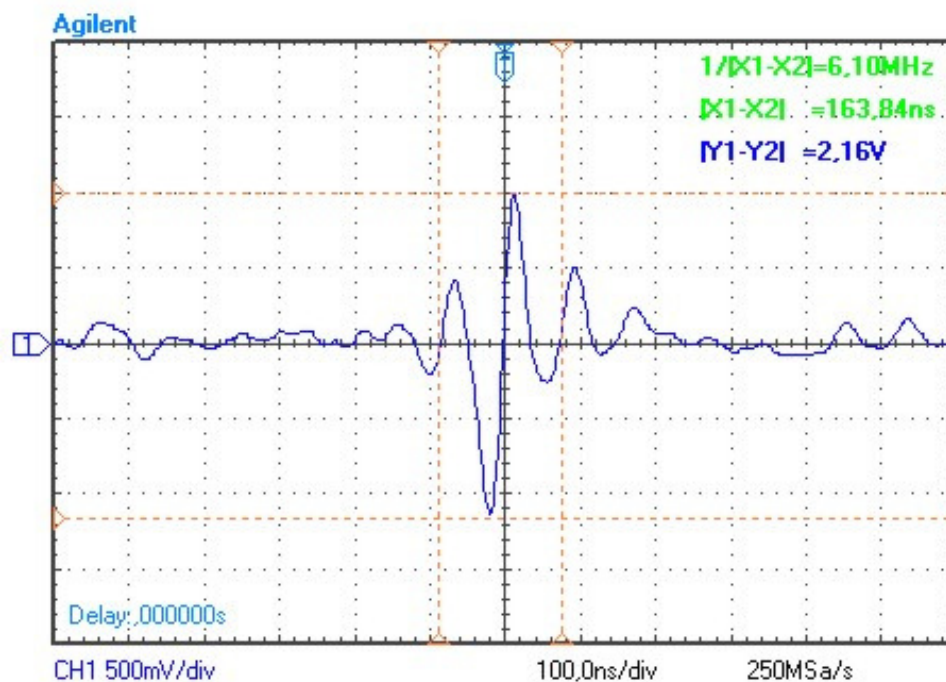


Figura 5.68 (e): Sinal na rede elétrica com transmissão de dados e com presença de ruído da lâmpada fluorescente compacta com filtro.

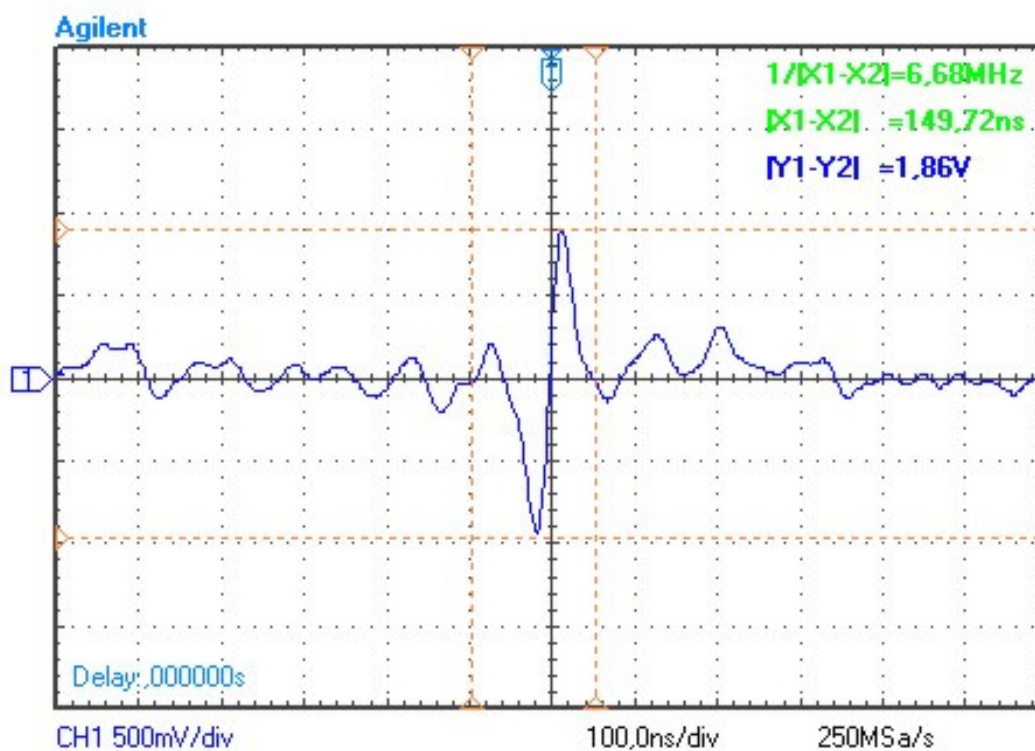


Figura 5.68 (f): Sinal na rede elétrica com transmissão de dados com presença de ruído do dimmer com filtro.

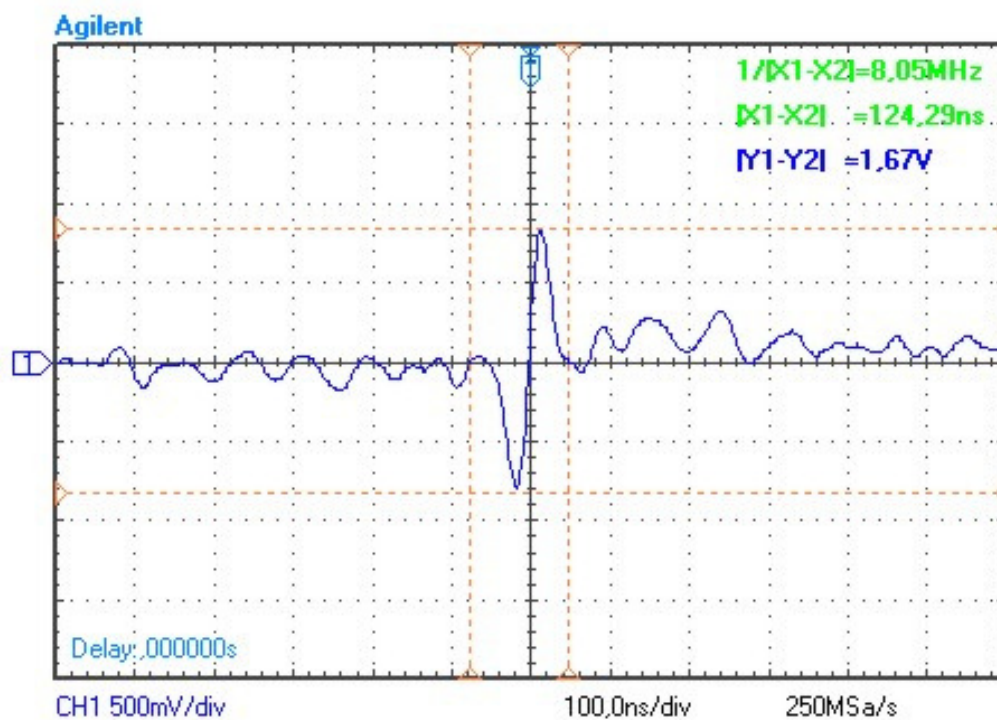


Figura 5.68 (g): Sinal na rede elétrica com transmissão de dados e com presença de ruído da fonte chaveada com filtro.

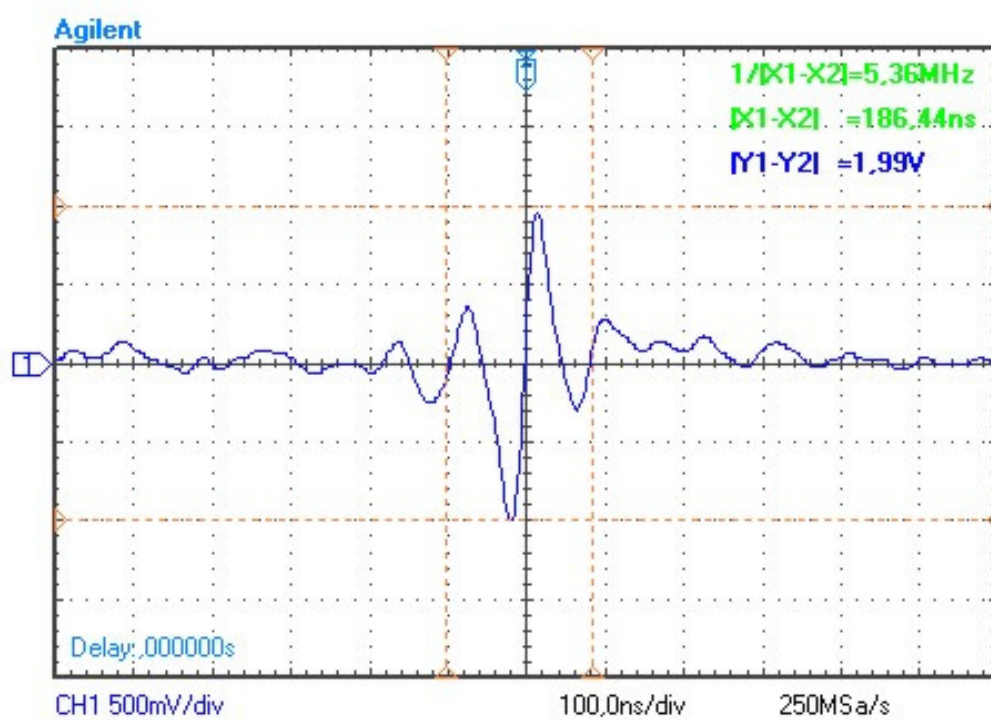


Figura 5.68 (h): Sinal na rede elétrica com transmissão de dados com presença de ruído do barbeador com filtro.

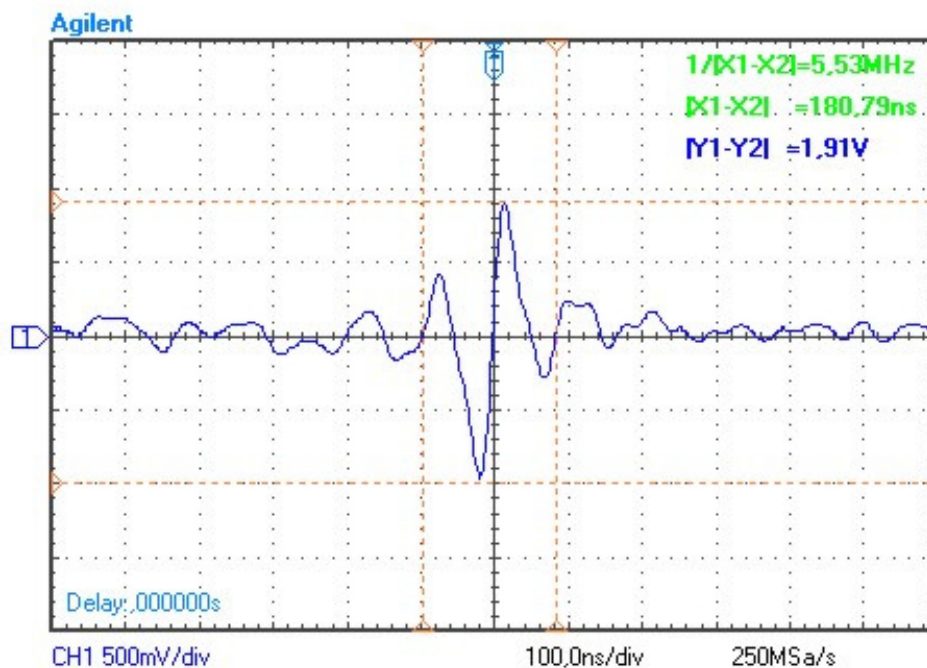


Figura 5.68 (i): Sinal na rede elétrica com transmissão de dados e com presença de ruído do liquidificador com filtro.

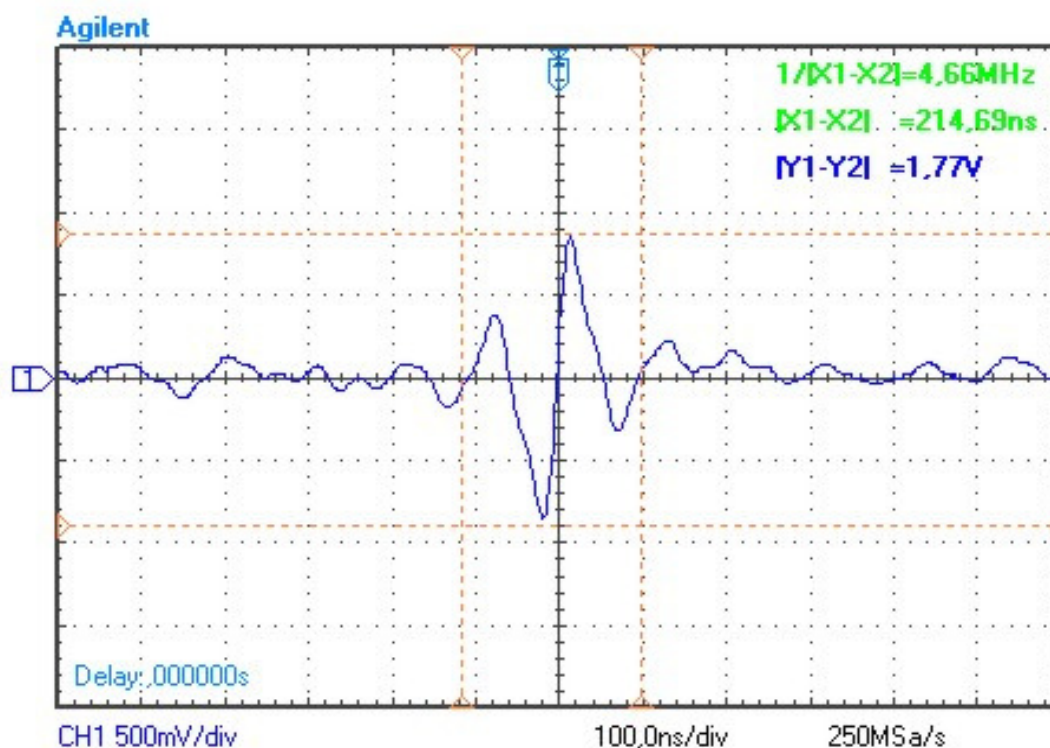


Figura 5.68 (j): Sinal na rede elétrica com transmissão de dados e com presença de ruído da bateadeira com filtro.

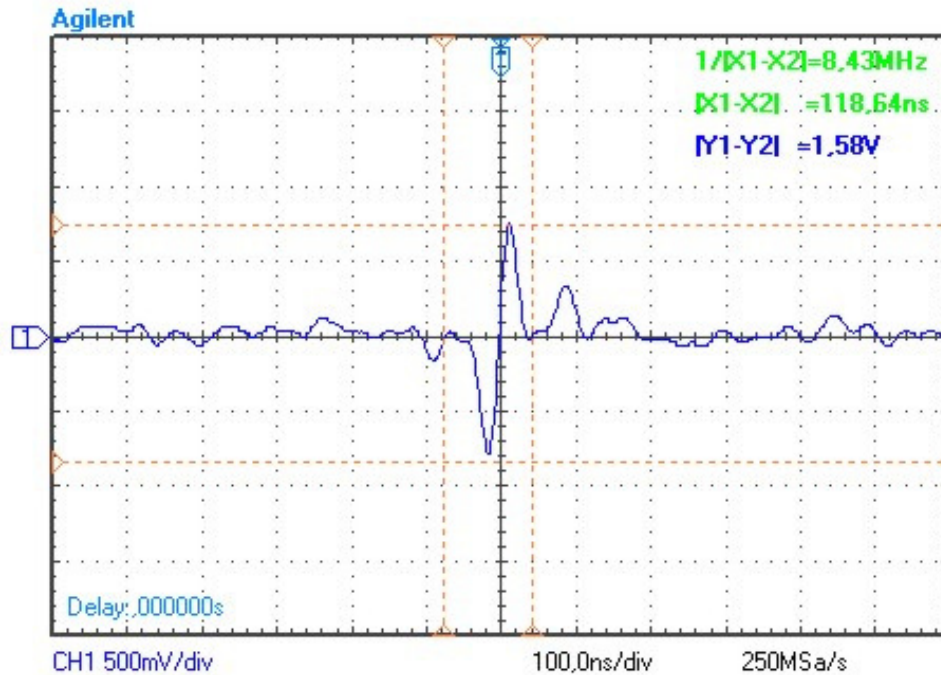


Figura 5.68 (k):Sinal PLC com transmissão de dados e com presença de ruído da TV e ventilador com filtro.

Tabela 5.2 – Medida do sinal PLC sobre a atuação de ruídos dos principais eletrodomésticos.

Medida sem filtro com transmissão de dados e sem ruído	Resultado	Medida com filtro transmissão de dados, ruído do secador de cabelo	Resultado	Medida com transmissão de dados com filtro, ruído do dimmer	Resultado
V _{pp}	1,90E+00 V	V _{pp}	1,76E+00 V	V _{pp}	1,84 V
V _{max}	9,00E-01 V	V _{max}	8,20E-01 V	V _{max}	9,20E-01 V
V _{min}	-1,00E+00 V	V _{min}	-9,40E-01 V	V _{min}	-0,92 V
V _{avg}	2,27E-03 V	V _{avg}	1,57E-03 V	V _{avg}	7,86E-03 V
V _{amp}	1,90E+00 V	V _{amp}	1,09E+00 V	V _{amp}	1,84 V
V _{top}	9,00E-01 V	V _{top}	1,52E-01 V	V _{top}	9,20E-01 V
V _{base}	-1,00E+00 V	V _{base}	-9,40E-01 V	V _{base}	-0,92 V
V _{rms}	2,00E-01 V	V _{rms}	1,73E-01 V	V _{rms}	1,93E-01 V
V _{over}	36,80%	V _{over}	0,00%	V _{over}	44,60%
V _{pre}	0,00%	V _{pre}	1,80%	V _{pre}	0,00%
Frequência	1,87E+06 Hz	Frequência	*****	Frequência	1,85 MHz
Rise Time	<1,800e-08 s	Rise Time	<1,500e-08 s	Rise Time	2,00E-08 s
Fall Time	3,98E-06 s	Fall Time	5,00E-08 s	Fall Time	3,98E-06 s
Período	5,36E-07 s	Período	*****	Período	5,40E-07 s
Largura de pulso+	4,20E-08 s	Largura de pulso+	*****	Largura de pulso+	5,40E-08 s
Largura de pulso-	4,94E-07 s	Largura de pulso-	2,80E-08 s	Largura de pulso-	4,86E-07 s
Duty+	7,80%	Duty+	*****	Duty+	10,00%
Duty-	92,20%	Duty-	*****	Duty-	90,00%

Medida com transmissão de dados com filtro ruído da fonte chaveada	Resultado	Medida com transmissão de dados com filtro ruído liquidificador	Resultado	Medida com transmissão de dados com filtro ruído TV com ventilador	Resultado
V _{pp}	1,80E+00 V	V _{pp}	1,80E+00 V	V _{pp}	1,58V
V _{max}	8,80E-01 V	V _{max}	8,40E-01 V	V _{max}	7,40E-01 V
V _{min}	-9,20E-01 V	V _{min}	-9,60E-01 V	V _{min}	-0,84 V
V _{avg}	1,47E-02 V	V _{avg}	2,81E-03 V	V _{avg}	3,55E-03 V
V _{amp}	1,16E+00 V	V _{amp}	1,80E+00 V	V _{amp}	1,58 V
V _{top}	2,44E-01 V	V _{top}	8,40E-01 V	V _{top}	7,40E-01 V
V _{base}	-9,20E-01 V	V _{base}	-9,60E-01 V	V _{base}	-0,84 V
V _{rms}	1,83E-01 V	V _{rms}	1,95E-01 V	V _{rms}	1,47E-01 V
V _{over}	0,00%	V _{over}	47,80%	V _{over}	48,10%
V _{pre}	0,00%	V _{pre}	0,00%	V _{pre}	0,00%
Frequência	*****	Frequência	1,60E+06 Hz	Frequência	2,08E MHz
Rise Time	<1,500e-08 s	Rise Time	2,10E-08 s	Rise Time	<1,8e-08 s
Fall Time	2,99E-06 s	Fall Time	3,98E-06 s	Fall Time	3,98E-06 s
Período	*****	Período	6,26E-07 s	Período	4,82E-07 s
Largura de pulso+	*****	Largura de pulso+	5,80E-08 s	Largura de pulso+	3,60E-08 s
Largura de pulso-	3,00E-08 s	Largura de pulso-	5,68E-07	Largura de pulso-	4,46E-07
Duty+	*****	Duty+	9,30%	Duty+	7,50%
Duty-	*****	Duty-	90,70%	Duty-	92,50%

Medida com transmissão de dados com filtro ruído barbeador	Resultado	Medida com transmissão de dados com filtro ruído bateadeira	Resultado
V _{pp}	1,86E+00 V	V _{pp}	1,70E+00 V
V _{max}	8,60E-01 V	V _{max}	8,20E-01 V
V _{min}	-1,00E+00 V	V _{min}	-8,80E-01 V
V _{avg}	6,15E-03 V	V _{avg}	3,98E-03 V
V _{amp}	1,15E+00 V	V _{amp}	1,08E+00 V
V _{top}	1,47E-01 V	V _{top}	1,97E-01 V
V _{base}	-1,00E+00 V	V _{base}	-8,80E-01 V
V _{rms}	1,93E-01 V	V _{rms}	1,86E-01 V
V _{over}	0,00%	V _{over}	7,40%
V _{pre}	0,00%	V _{pre}	0,00%
Frequência	*****	Frequência	8,62E+06 Hz
Rise Time	<1,500e-08 s	Rise Time	<1,500e-08 s
Fall Time	3,20E-08 s	Fall Time	4,00E-08 s
Período	*****	Período	1,16E-07 s
Largura de pulso+	*****	Largura de pulso+	7,40E-08 s
Largura de pulso-	3,40E-08 s	Largura de pulso-	4,20E-08 s
Duty+	*****	Duty+	63,80%
Duty-	*****	Duty-	36,20%

5.6.2 Medida da Qualidade da Energia Elétrica da Casa Popular

Qualidade da energia elétrica é definida como qualquer problema na energia manifestado por desvios ou distorções na curva de tensão, corrente ou frequência, que resultam na falha ou operação inadequada de equipamentos do usuário causando também a degradação do desempenho da transmissão do sinal PLC [145]. Alguns eletrodomésticos são cargas elétricas que distorcem as formas de onda de tensão e de corrente e, desse modo, “poluem” a rede elétrica por onde circula o sinal PLC com harmônicos.

A qualidade da energia elétrica aborda fenômenos eletromagnéticos que são divididos nas seguintes categorias: transitórios, variações de curta-duração e de longa-duração, desbalanceamento de tensão, distorções na forma de onda, flutuações de tensão e variações na frequência. Estas categorias, por sua vez, abrangem várias espécies de fenômenos que classificam e descrevem claramente os distúrbios eletromagnéticos que causam problemas de qualidade da energia elétrica. Os fenômenos comumente encontrados nas instalações elétricas referentes à qualidade da energia elétrica são apresentados na tabela 5.3, juntamente com suas características.

Tabela 5.3 – Características dos fenômenos de qualidade da energia elétrica.

Fenômeno	Duração típica	Amplitude da tensão
Harmônicas	Regime	0 – 20%
Interharmônicas	Regime	0 – 2%
Afundamento de tensão (sag)	1/2 ciclo – 1 minuto	0,1 – 0,9 pu
Elevação de tensão (swell)	1/2 ciclo – 1 minuto	1,1 – 1,8 pu
Subtensão	Maior do que 1 minuto	0,8 – 0,9 pu
Sobretensão	Maior do que 1 minuto	1,1 – 1,2 pu
Interrupção	1/2 ciclo – 1 minuto	Menor do que 0,1 pu
Flutuações de tensão	Intermitente	0,1 – 7%

A presença de harmônicos nos sistemas elétricos resulta em problemas de interferências em sistemas de comunicação e na degradação do funcionamento dos equipamentos ligados à rede. Este problema é sentido no canal PLC que é bastante sensível a interferências.

Normas internacionais relativas ao consumo de energia elétrica tais como IEEE 519, IEC 61000 e EM 50160 tem por objetivo limitar o nível de distorção harmônica nas tensões com os quais os sistemas elétricos podem operar e impõem que os novos equipamentos não “poluam” as redes com harmônicos de corrente de amplitude superior a determinados valores. As medições são realizadas na entrada de energia elétrica da casa popular conforme indicado nas figuras 5.69 e 5.70, visando detectar possíveis distúrbios causados pelos ruídos produzidos pelos eletrodomésticos avaliados neste capítulo. Em todas as medições os dados serão armazenados no analisador de energia e somente depois serão analisados com o auxílio do software ANAWIN versão 3.39 que acompanha o analisador de energia RMS e do MATLAB.

Para a realização das medidas de qualidade da energia elétrica, foi utilizado o equipamento que está ilustrado na figura 5.58. Este equipamento é um analisador de energia elétrica que realiza leitura em tempo real para sistemas elétricos monofásicos, bifásicos e trifásicos em baixa, média e alta tensão que calcula os valores de tensões de fase, tensões de linha, correntes, fatores de potência por fase e total, potência ativa, reativa e aparente por fase e total, energia reativa capacitiva/indutiva total, DHT (Distorção Harmônica Total) de tensão e correntes por fases.



Figura 5.69 - Medição da tensão e corrente da rede elétrica no padrão da casa popular.

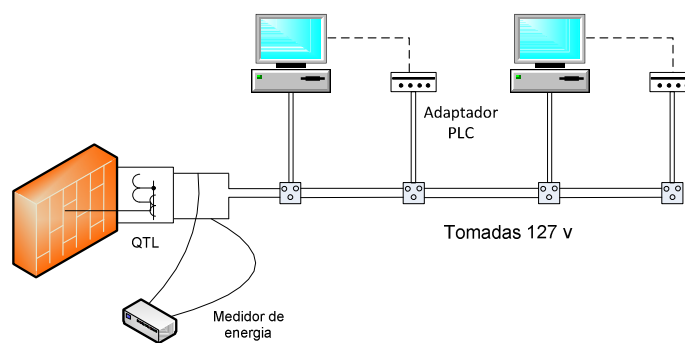


Figura 5.70 - Configuração da rede PLC para a medição da qualidade de energia elétrica.

O espectro harmônico a ser considerado para fins de cálculo da distorção total deve compreender uma faixa espectral que considere a frequência fundamental e até no mínimo a 25º ordem harmônica. Um valor da DHT de tensão inferior a 10 % é considerado como normal segundo a resolução 345/2008 da ANEEL. Um valor da DHT de corrente compreendido entre 11 % e 50 % revela uma “poluição” harmônica significativa, existindo risco de aquecimento, o que implica o sobre dimensionamento dos cabos elétricos. Um valor da DHT superior a 50 % revela uma condição crônica na rede elétrica. A DHT em corrente caracteriza a deformação da onda de corrente.

Primeiramente, nesta seção são apresentados os resultados obtidos das diversas medições efetuadas em laboratório na UFMT do sinal elétrico de corrente, tensão, potência, fator de potência e harmônico dos principais eletrodomésticos utilizados numa casa popular e do sinal de ruído provocado por estes eletrodomésticos na transmissão de dados de uma rede PLC indoor. Quando cargas reativas estão presentes na rede, tais como cargas capacitivas e indutivas, o armazenamento de energia nessas cargas resulta em uma defasagem angular entre as ondas de tensão e corrente. Uma vez que essa energia armazenada retorna para a fonte com sinal de ruído em todas as faixas de frequência resulta numa redução da eficiência da rede prejudicando o sinal PLC. Um circuito com baixo fator de potência terá correntes elétricas

maiores para realizar o mesmo trabalho do que um circuito com alto fator de potência. Quando o fator de potência é igual a 1, a carga é puramente resistiva. Cargas indutivas tais como motores e transformadores produzem potência reativa com a onda de corrente atrasada em relação a tensão. As cargas capacitivas, como é o caso dos adaptadores PLC, do filtro e do cabo elétrico, por onde trafega o sinal PLC produzem potência reativa com corrente adiantada em relação a tensão.

As principais causas do baixo valor do fator de potência são os transformadores operando a vazio ou subcarregados durante longos períodos de tempo, utilização de grande número de motores de pequena potência e lâmpadas fluorescentes. Um fator de potência menor que 0,92 indica que a energia está sendo mal aproveitada causando queda de tensão na rede elétrica provocando um baixo rendimento nos equipamentos e aquecimento dos cabos elétricos, prejudicando muito o sinal PLC e desse modo, surge o efeito pelicular. Além disso, os cabos de alimentação têm um aumento de perdas devido aos harmônicos de corrente. Outro fator a ser considerado é chamado de "efeito de proximidade", o qual relaciona um aumento na resistência do condutor em função do efeito dos campos magnéticos produzidos pelos demais condutores colocados nas adjacências.

O objetivo destas medições tem a finalidade de apresentar a correlação entre a corrente, tensão, fator de potência e harmônicos com o resultado obtido da vazão na rede PLC e com as medidas dos sinais efetuadas com o analisador de espectro, analisador de sinais vetoriais e com o osciloscópio. Finalizando esta seção, são apresentadas as medidas realizadas da corrente x tensão e dos harmônicos produzidos pelos eletrodomésticos na rede PLC de uma casa popular.

Para as análises realizadas no laboratório, a primeira medida realizada foi da rede elétrica sem a presença de qualquer tipo de carga. Para essa condição a corrente medida foi igual a zero e a tensão de pico na rede foi igual a $180,5 V_p$ que corresponde a $127,6 V_{ef}$. A

figura 5.71 apresenta o gráfico da tensão da rede elétrica sem a presença de qualquer tipo de carga. Para todas as situações medidas as curvas de tensão foram senoides sem qualquer tipo de distorção e desse modo não se faz necessário a apresentação das curvas de tensão para cada um dos eletrodomésticos. Todo o estudo será realizado em função da curva de corrente medido num tempo de 3 minutos onde a cada minuto o software registra a media das medidas obtida aplicando em um período do sinal que corresponde a 16,66 ms.

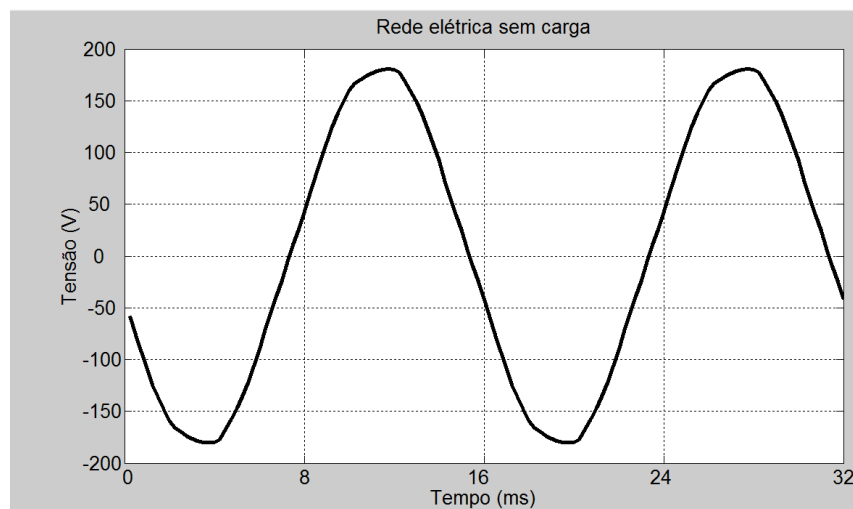


Figura 5.71 - Curva da tensão da rede elétrica sem carga.

Em seguida foi realizada a medida da rede elétrica na condição com a rede PLC ligada com a utilização de filtro e sem efetuar qualquer transmissão de dados conforme a configuração da rede PLC da figura 5.21 (a). A potência total medida foi de 12 W e desse modo a potência de cada adaptador PLC é igual a 6 W, a tensão de pico (V_p) foi de 181,63 V e a corrente de pico (I_p) igual a 0,7322 A, $I_{ef} = 0,18A$ fator de potência igual a 0,519, Distorção Harmônica Total (DHT) = 94 %. A figura 5.72 representa a medida feita com o analisador de energia elétrica com relação à corrente na rede elétrica com a utilização de filtro e com transmissão de dados entre dois computadores seguindo a configuração da rede PLC da figura 5.21 (a).

Para esta condição, observou-se que não houve mudança significativa entre as duas curvas de corrente conforme mostra o gráfico da figura 5.72. A potência medida foi de 12 W, a tensão de pico igual a 180,13 V, $I_p = 0,74$ A, $I_{ef} = 0,182$ A, $FP = 0,517$ e $DHT = 100$.

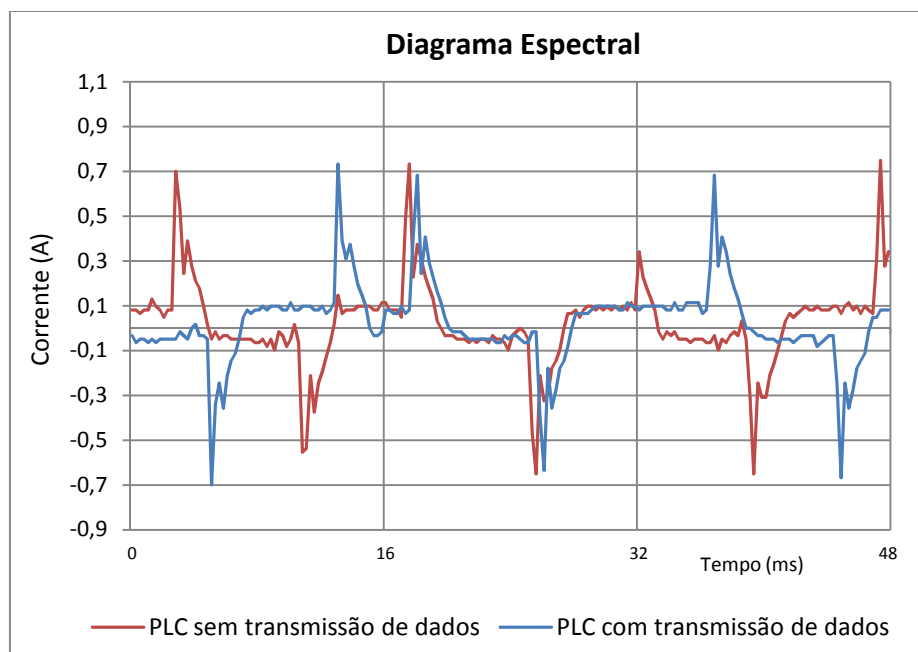


Figura 5.72 - Medida da corrente na rede de energia elétrica com os adaptadores PLC com e sem transmissão de dados.

Daqui por diante é conectado à rede elétrica um sinal produzido pelos diversos eletrodomésticos onde para todas as situações utilizou-se a configuração ilustrada na figura 5.22. Para todos os casos são mostrados, na curva de corrente, as medidas realizadas com a rede PLC transmitindo dados sem a presença de carga, a curva de corrente do eletrodoméstico e a curva de corrente da rede PLC com transmissão de dados com a participação direta do sinal do eletrodoméstico na rede.

A primeira avaliação foi realizada só com o barbeador e a curva de corrente é mostrada na figura 5.73. Para esta condição a potência total da rede foi de 3 W, $I_p = 0,68$ A, $I_{ef} = 0,07$ A, $V_p = 182$ V, $V_{ef} = 128,67$ V, $FP = 0,33$. Para a condição do ruído do barbeador atuando na rede PLC com filtro e com transmissão de dados, a curva de corrente também é mostrada na figura 5.73. Para esta condição $V_p = 181,6$ V, $V_{ef} = 128,67$ V, $I_{ef} = 0,18$ A, $P = 16$ W e $FP = 0,69$.

Comparando os gráficos de corrente da figura 5.73 verifica-se que a corrente e o fator de potência na rede PLC com o barbeador atuando é maior que a corrente medida só do barbeador. Além disso, a intensidade do sinal do barbeador e da rede PLC com a presença do barbeador é muito maior que o sinal medido apenas da rede PLC.

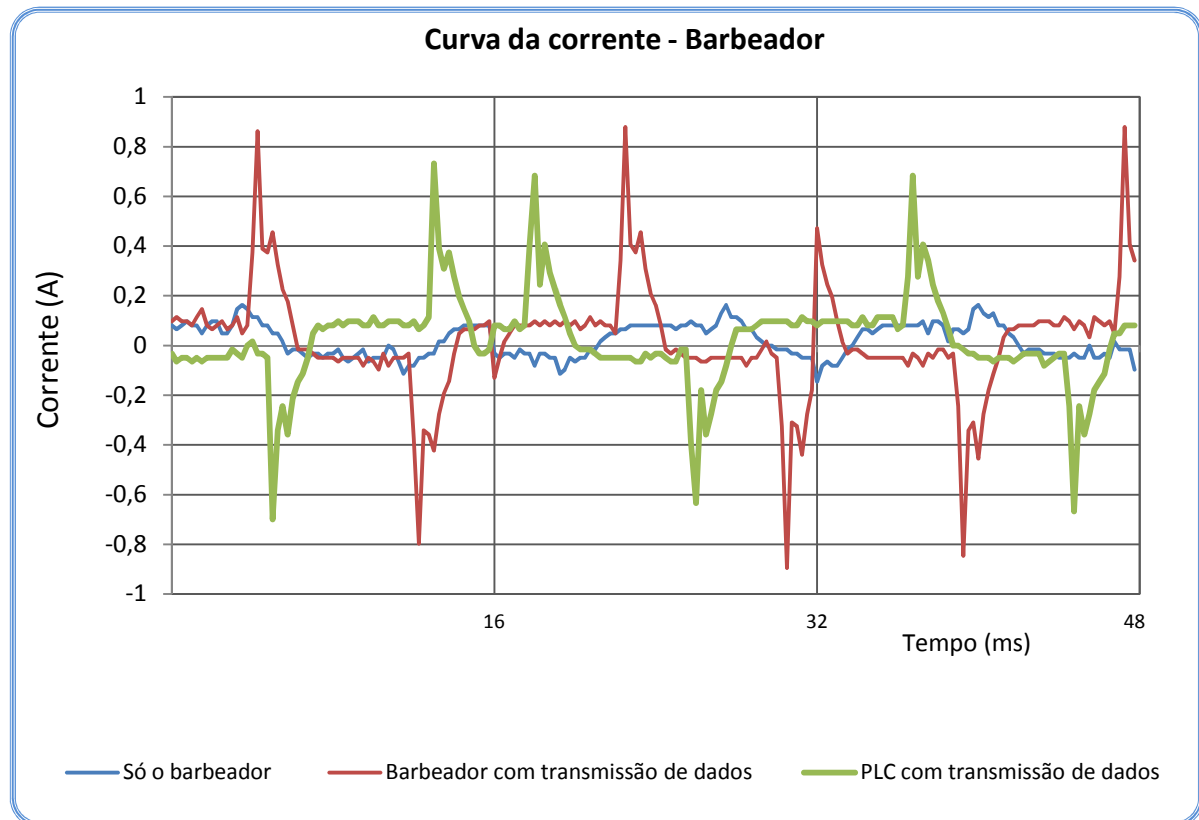


Figura 5.73- Medida da curva de corrente do barbeador.

O segundo eletrodoméstico avaliado foi o liquidificador. A figura 5.74 apresenta os resultados obtidos da curva de corrente só do liquidificador onde $V_p = 181,78 \text{ V}$, $I_p = 2,78 \text{ A}$, $P = 170 \text{ W}$ e $FP = 1$. Para a curva de corrente da rede PLC com efeito do ruído produzido pelo liquidificador obteve-se: $P = 178 \text{ W}$, $FP = 0,575$, $I_p = 3,173 \text{ A}$ e $V_p = 182,32 \text{ V}$. Pode-se observar comparando os gráficos de corrente da figura 5.74 que a corrente na rede PLC com carga é pouco maior que a curva de corrente produzida somente pelo liquidificador e muito maior que a corrente na rede PLC com transmissão de dados e sem a presença da carga. Na

figura 5.81 é possível verificar que a rede PLC com a atuação do liquidificador possui característica indutiva.

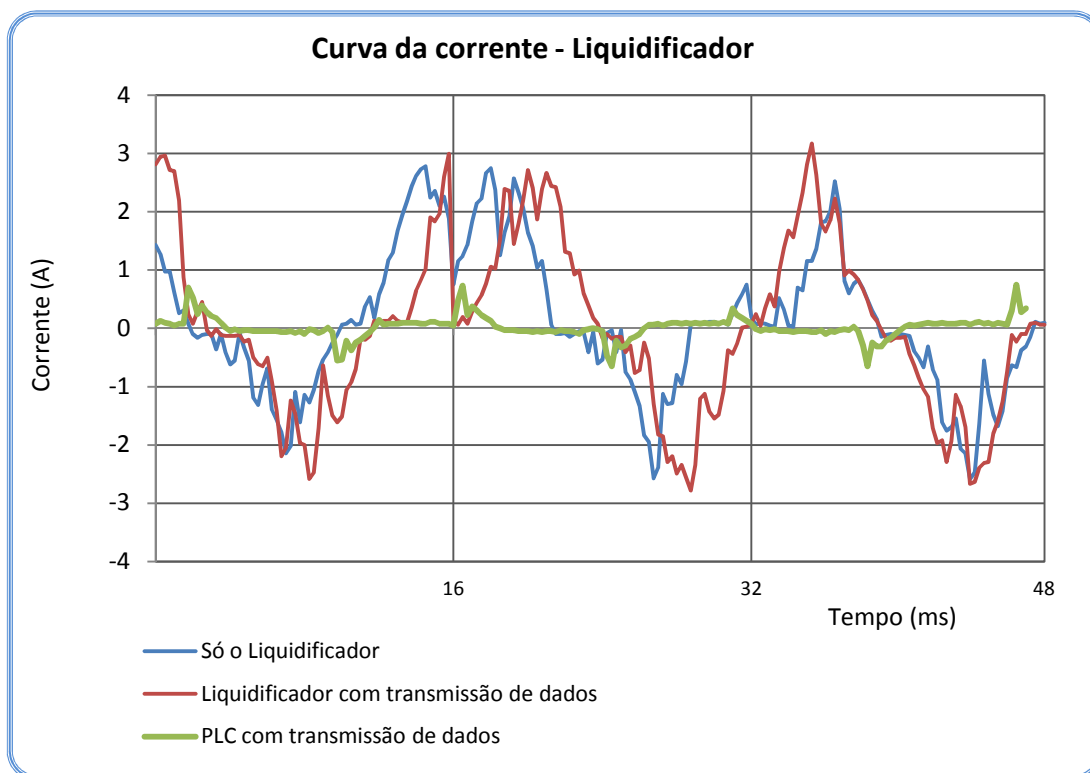


Figura 5.74 - Medida da curva de corrente do liquidificador.

A figura 5.75 apresenta a curva de corrente produzida pela batedeira. O valor de $I_p = 1,84$ A, $P = 154$ W, $FP = 0,999$ e $V_p = 182,32$ V. Para a condição da rede PLC com filtro e com a influência do ruído produzido pela batedeira, $V_p = 183$ V, $I_p = 2,148$ A, $P = 162$ W e $FP = 0,948$.

A curva de corrente da rede PLC com transmissão de dados e com a participação do ruído da batedeira também é mostrada na figura 5.75 onde observa-se que o sinal de corrente produzido exclusivamente pela batedeira é menor que a proveniente da curva da rede PLC com a presença da carga da batedeira. Verifica-se também que o sinal na rede elétrica com transmissão de dados na presença do ruído produzido pela batedeira e o sinal medido somente da batedeira é muito maior que o sinal apenas da transmissão de dados na rede PLC sem a participação da carga.

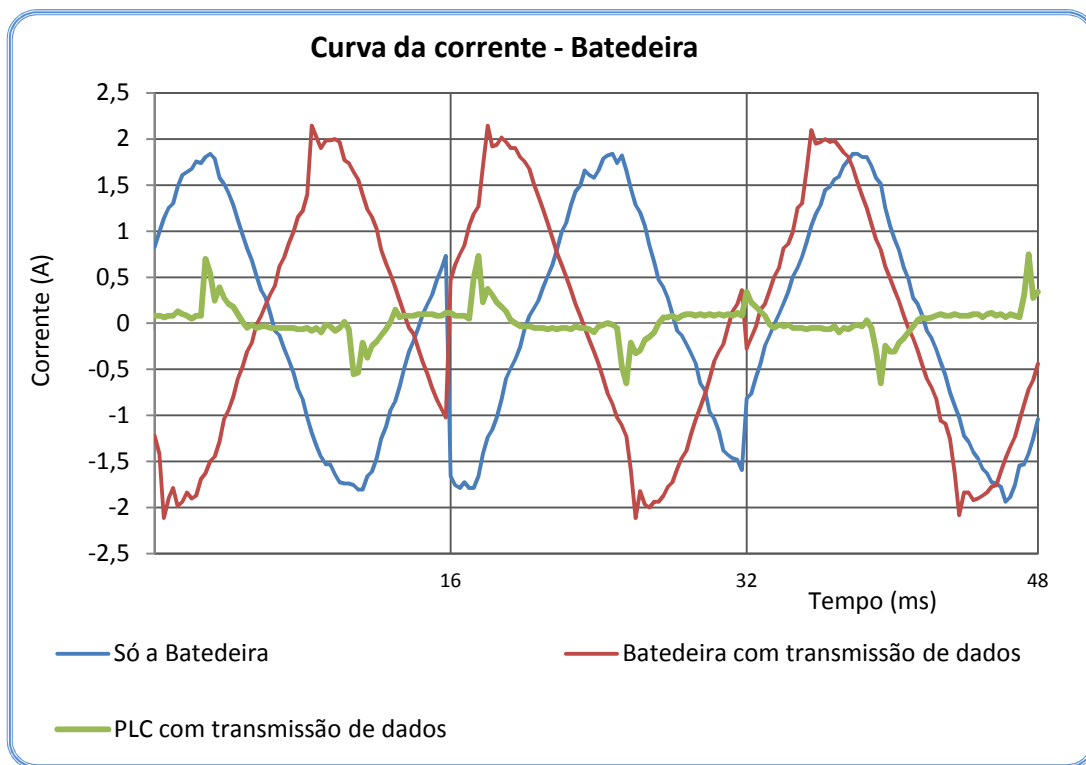


Figura 5.75 - Medida da curva de corrente da batedeira.

A próxima medida foi realizada com a lâmpada fluorescente compacta onde a figura 5.76 mostra o gráfico da curva de corrente. Os valores medidos foram $V_p = 181,6$ V, $I_p = 2,91$ A, $FP = 0,515$ e $P = 47$ W. Em seguida foi realizada a medida de corrente da rede PLC sobre a influência do ruído produzido pela lâmpada fluorescente compacta, conforme mostrado também na figura 5.76. Os valores medidos são $V_p = 182$ V, $I_p = 3,19$ A, $P = 56$ W e $FP = 0,537$.

Comparando as três curvas de corrente da figura 5.76, observa-se que as amplitudes dos sinais de corrente são aproximadamente iguais para as condições da rede PLC com transmissão de dados com a carga atuando em relação a medida da corrente realizada apenas da lâmpada fluorescente compacta. Novamente verifica-se que a amplitude do sinal da rede PLC com transmissão de dados é muito menor que as demais medidas como pode ser visto na figura 5.76.

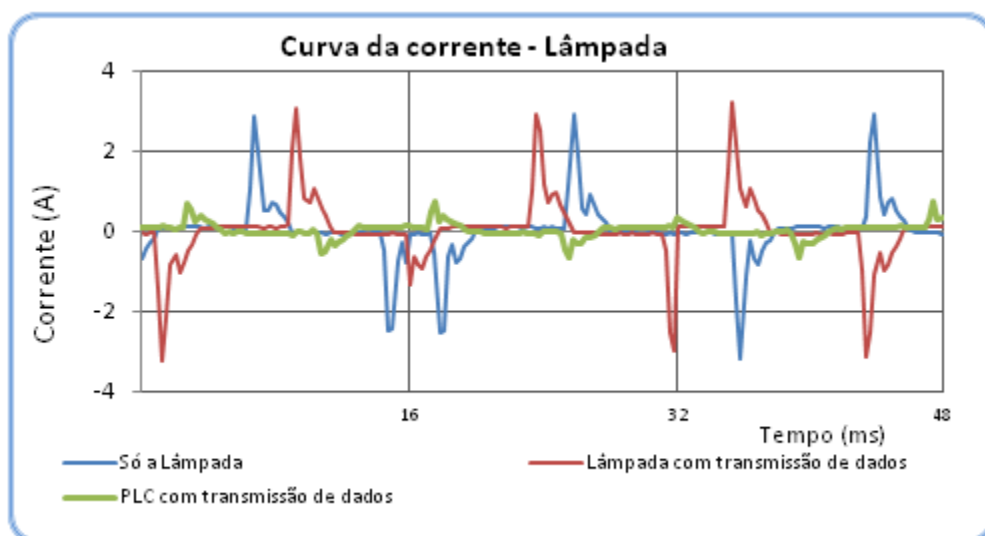


Figura 5.76 - Medida da curva de corrente da lâmpada fluorescente compacta.

Para o dimmer o valor das curvas de corrente é mostrado na figura 5.77. Os valores medidos foram $I_p = 1,5$ A, $V_p = 181,47$ V, $P = 4$ W e $FP = 0,623$.

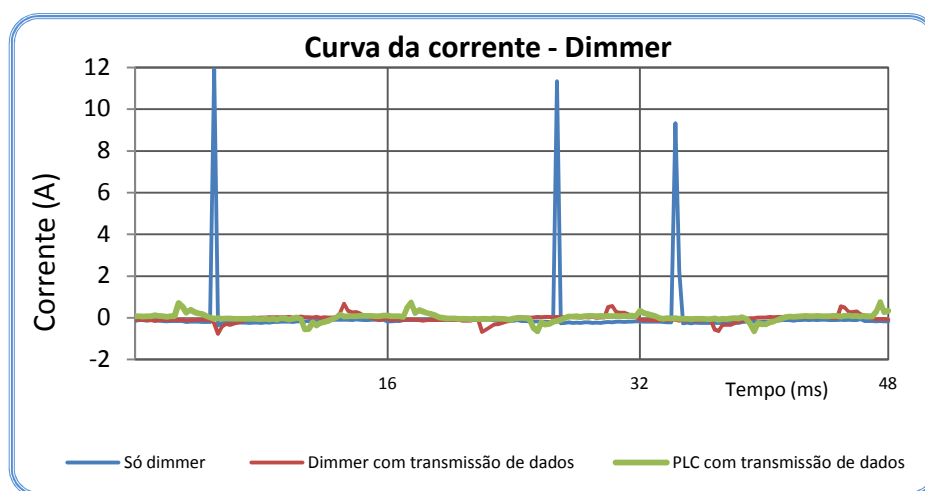


Figura 5.77 - Medida da curva de corrente do dimmer.

Na figura 5.77 também é apresentada a curva na rede PLC com a presença do ruído provocado pelo dimmer. Os valores medidos foram $V_p = 189,47$ V, $P = 17$ W e $FP = 0,72$. Comparando as duas medidas realizadas observa-se que o FP é maior na rede elétrica com a presença do sinal da carga em relação à medida efetuada só do dimmer. Observa-se também

na figura 5.77 que o dimmer produz altos surtos de corrente atingindo nesta situação aproximadamente 12 A.

Para a fonte chaveada a figura 5.78 mostra o resultado obtido da curva de corrente onde os valores medidos foram: $V_p = 181,89$ V, I_p (sem surto) = 0,52 A e $P = 8$ W. Na figura 5.78 também é apresentado o resultado da medida realizada de corrente da rede PLC com filtro e com a perturbação do ruído causada pela fonte chaveada. Os valores medidos foram: $V_p = 181,47$ V, $I_p = 0,67$ A, $P = 22$ W e $FP = 0,67$.

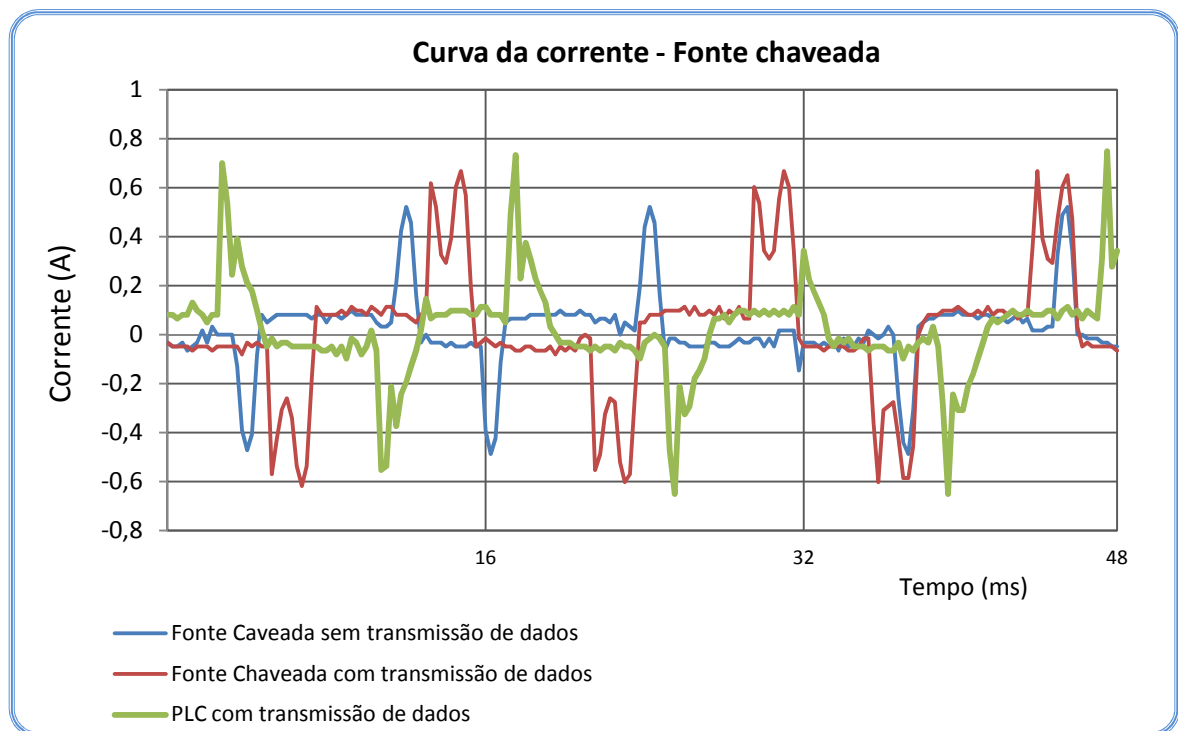


Figura 5.78 - Medida das curvas de corrente da fonte chaveada.

Analisando a figura 5.78 observa-se que a amplitude do sinal de corrente da fonte chaveada é apenas um pouco menor que a medida da rede elétrica com transmissão de dados e com a presença do ruído.

Outro eletrodoméstico que foi utilizado para medir a curva de corrente foi o secador de cabelos cujo resultado é mostrado na figura 5.79. Para esta situação os valores medidos

foram: $V_p = 179,26$ V, $I_p = 13,99$ A, $P = 1253$ W e $FP = 1$. Em seguida foi realizada a medida da corrente da rede PLC com filtro na presença do ruído produzido pelo secador de cabelo e o resultado também é mostrado na figura 5.79. Nessa situação tem-se: $V_p = 182$ V, $I_p = 14,15$ A, $P = 1287$ W e $FP = 1$.

Observando a figura 5.79 verifica-se que a corrente do secador de cabelos é pouco menor que a corrente medida na rede PLC com transmissão de dados e na presença da carga atuando. Verificou-se também que o fator de potência foi igual a 1 para as duas situações avaliadas.

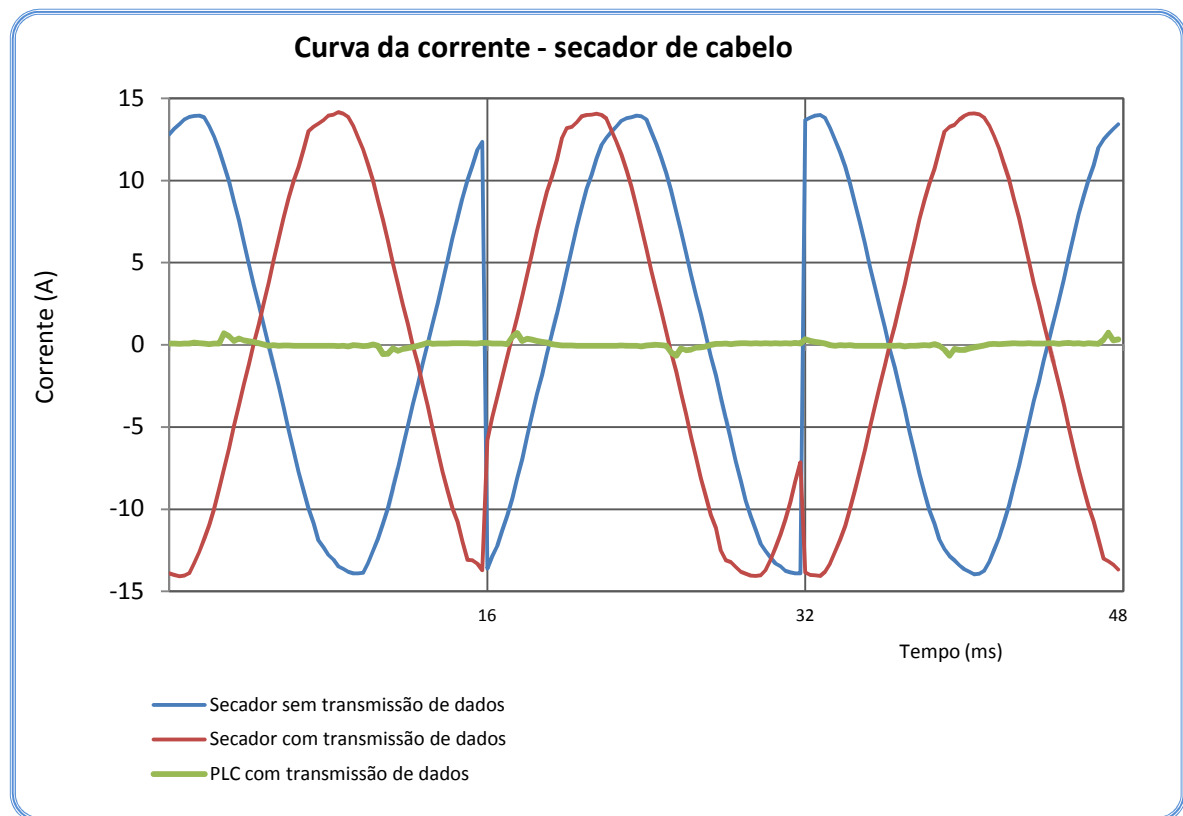


Figura 5.79 - Medida da curva de corrente do secador de cabelos.

Por último foi realizado a medida da curva de corrente da televisão em conjunto com o ventilador cujo resultado é mostrado na figura 5.80. Os valores obtidos são: $V_p = 181,35$ V, $I_p = 2,49$ A, $P = 105$ W e $FP = 0,842$. A seguir mediu-se o sinal na rede PLC com a presença do

ruído produzido pela TV em conjunto com o ventilador. Nesse caso $V_p = 181,61 \text{ V}$, $I_p = 2,68 \text{ A}$, $P = 119 \text{ W}$ e $FP = 0,88$.

Pela análise da figura 5.80 constata-se que a curva de corrente produzida pela televisão em conjunto com o ventilador é pouco menor que a curva de corrente medida para a rede PLC com transmissão de dados e com a influência das cargas desses dois eletrodomésticos. O sinal PLC com transmissão de dados é muito menor que as outras curvas medidas.

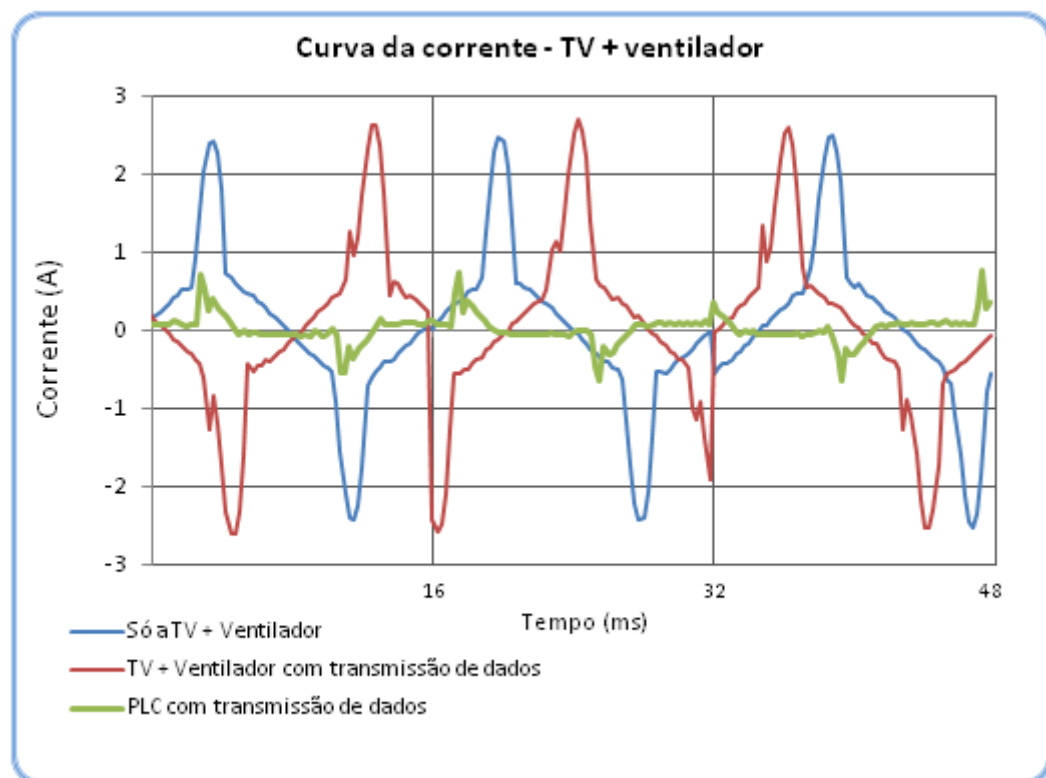


Figura 5.80- Medida da curva de corrente da TV em conjunto com o ventilador.

A figura 5.81 apresenta as medidas realizadas de corrente e tensão com o analisador de energia elétrica baseado na configuração da rede PLC da figura 5.22 de modo a verificar cada eletrodoméstico em conjunto com os adaptadores PLC, filtro e os cabos elétricos e se a rede elétrica tem caráter resistivo, indutivo ou capacitivo.

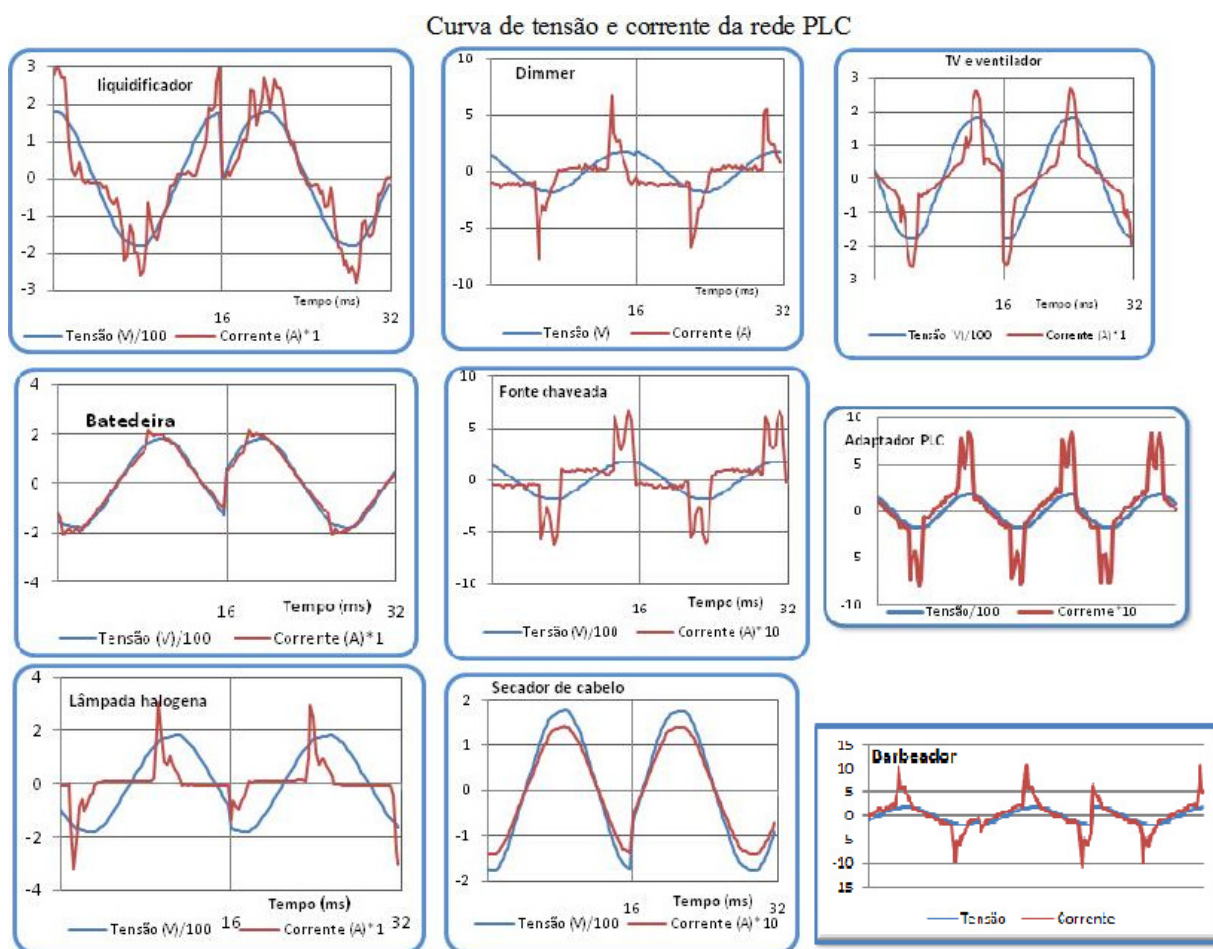


Figura 5.81 - Curva tensão x corrente.

Após a realização destas medidas em laboratório realizou-se as mesmas medições de corrente e tensão numa casa popular de modo a verificar a situação real do que ocorre nesse tipo de residência de poucos metros quadrados. A primeira medida realizada apresentada na figura 5.82 é a curva da corrente e da tensão efetuada com o analisador de energia elétrica.

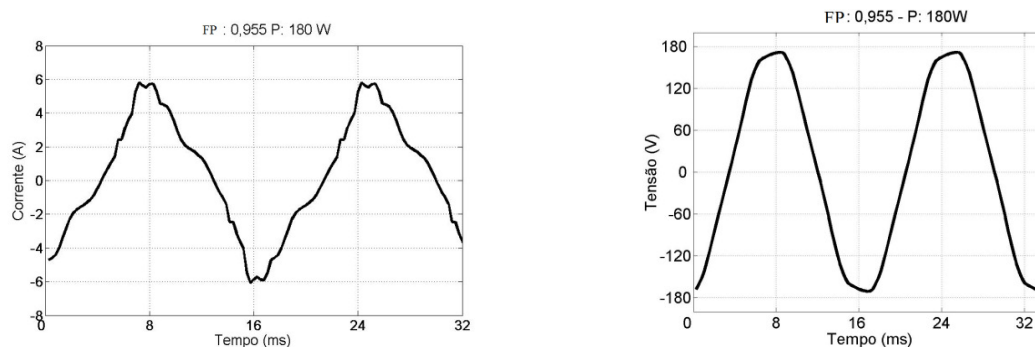


Figura 5.82 - Medição da rede elétrica sem transmissão de dados e sem ruído na rede PLC.

Os espectros de corrente em decorrência da predominância de cargas não lineares apresentam componentes harmônicos diversos e com valores significativos. Para a situação onde apenas a geladeira e o medidor de energia estavam ligados na casa popular. O valor do fator de potência medido foi igual a 0,955, a potência média foi de 180 W e $I_p = 6$ A.

A segunda situação foi medir a energia com a realização da transmissão de dados e sem ruído provocado na rede elétrica. Entretanto a geladeira, o medidor de energia os dois computadores, dois monitores de vídeo e os dois adaptadores PLC estavam ligados na mesma fase da rede elétrica. Para todas as medições realizadas nesta seção, o filtro PLC foi utilizado. O valor do fator de potência medido foi igual a 0,954, a potência média medida foi igual a 435 W e $I_p = 4$ A. A figura 5.83 mostra a curva de corrente das medidas realizadas.

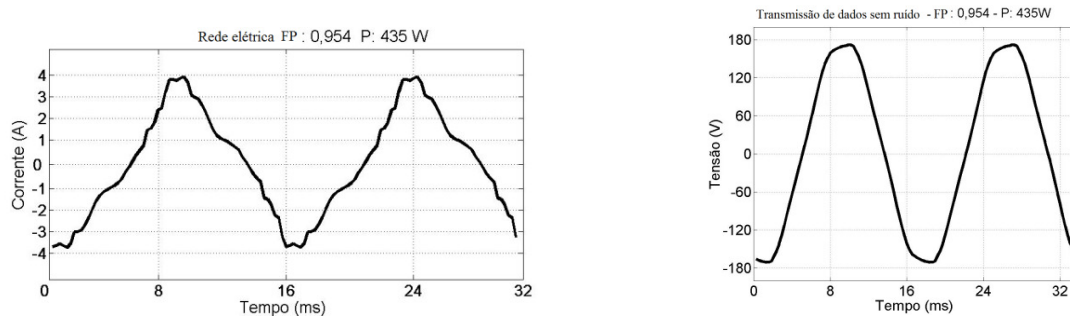


Figura 5.83 - Medição da energia elétrica com transmissão de dados com filtro e sem ruído na rede PLC.

A seguir é realizada a medida da energia com o ruído da lâmpada fluorescente compacta atuando na rede PLC. A figura 5.84 mostra o resultado obtido para a corrente e a tensão.

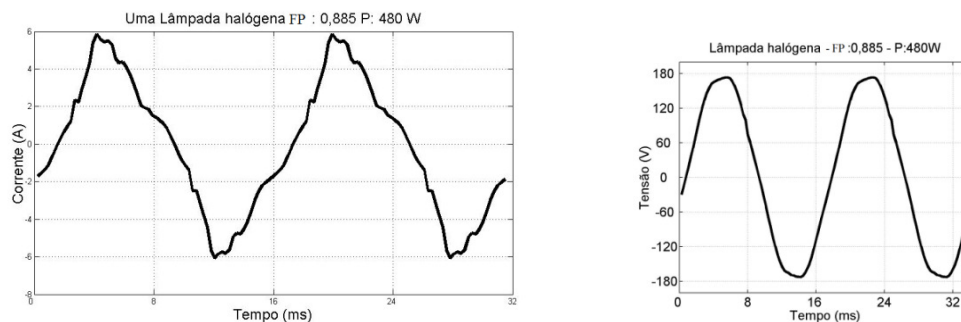


Figura 5.84 - Medição da energia elétrica com transmissão de dados com filtro e sinal de ruído da lâmpada fluorescente compacta na rede PLC.

O valor obtido do fator de potência foi de 0,885, a potência média foi igual a 480 W e $I_p = 6$ A. Para a condição onde foi aplicado o sinal do dimmer, o resultado da medida de tensão e de corrente é mostrado na figura 5.85. Para o dimmer o fator de potência igual a 0,878, a potência média foi de 485 W e $I_p = 5,8$ A.

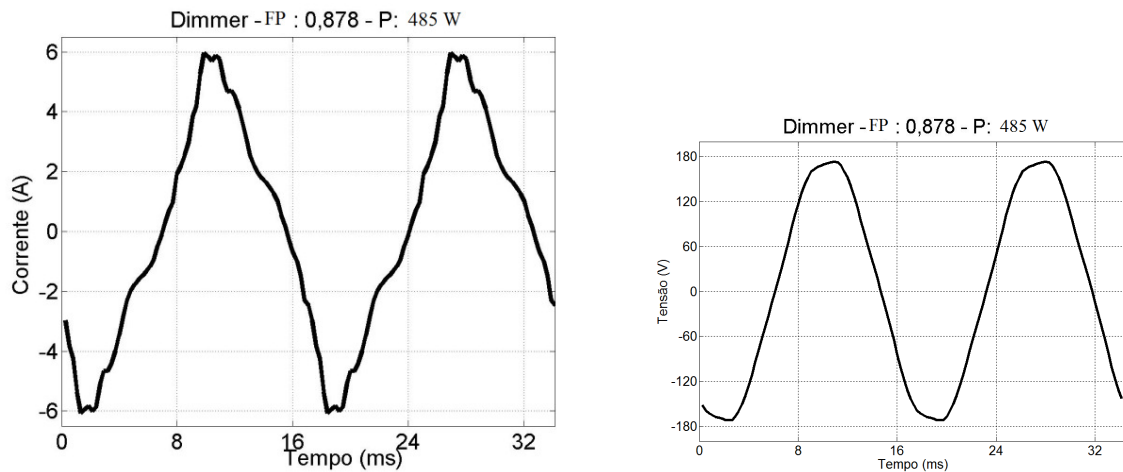


Figura 5.85 - Medição da energia elétrica com transmissão de dados com filtro e sinal de ruído do dimmer na rede PLC.

Dando sequência, a próxima medida realizada com o analisador de energia elétrica foi do sinal produzido pelo barbeador cujo gráfico de corrente e de tensão são mostradas na figura 5.86. O valor do fator de potência medido foi igual a 0,875, a potência média foi igual a 445 W e $I_p = 6,1$ A.

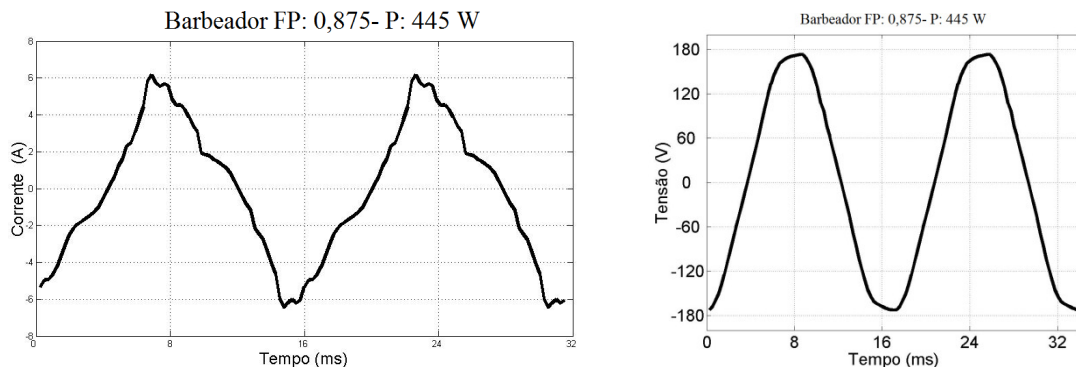


Figura 5.86 - Medição da energia elétrica com transmissão de dados com filtro e sinal de ruído do barbeador na rede PLC.

Para o secador de cabelo o resultado das medidas obtidas da corrente e da tensão é mostrado na figura 5.87. O valor encontrado para o fator de potência foi igual a 0,954, a potência média igual a 510 W e $I_p = 6$ A.

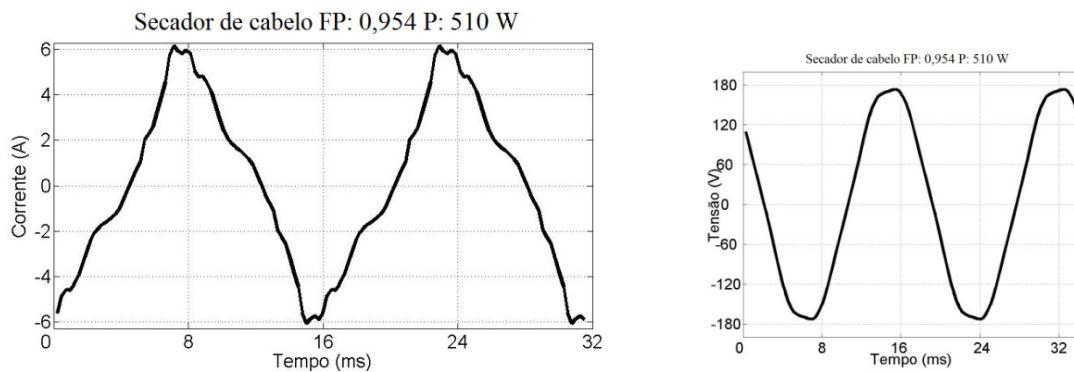


Figura 5.87 - Medição da energia elétrica com transmissão de dados com filtro e sinal de ruído do secador de cabelos na rede PLC.

Para a batedeira o valor medido do fator de potência foi igual a 0,949, a potência média encontrada foi de 560 W e $I_p = 6$ A. A figura 5.88 mostra as curvas de corrente e tensão da energia elétrica na situação com transmissão de dados na rede elétrica com filtro baseado na configuração da rede mostrada na figura 5.22 e com a atuação do sinal produzido pela batedeira.

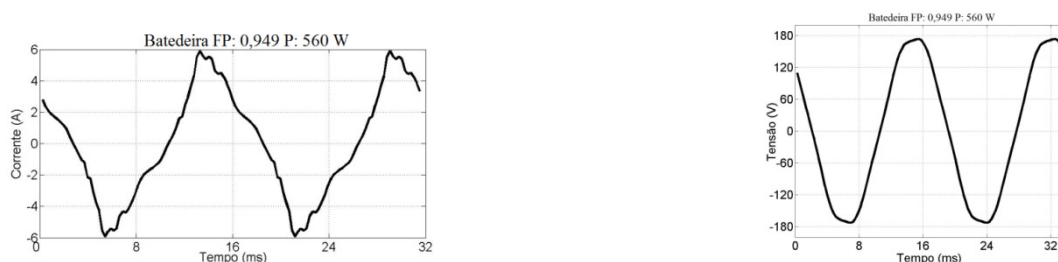


Figura 5.88 - Medição da energia elétrica com transmissão de dados com filtro e sinal de ruído da batedeira na rede PLC.

A figura 5.89 mostra o resultado da medida da corrente da fonte chaveada atuando na rede PLC da casa popular.

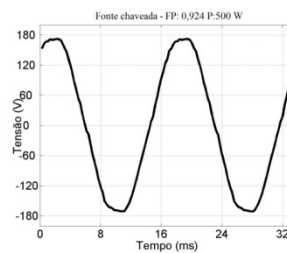
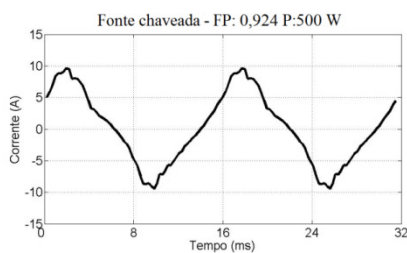


Figura 5.89 - Medição da energia elétrica com transmissão de dados com filtro e sinal de ruído da fonte chaveada na rede PLC.

O valor medido do fator de potência foi de 0,924, o valor da potência média é igual a 500 W e $I_p = 6$ A.

A última medição foi realizada com o liquidificador, na qual obteve o valor do fator de potência igual a 0,961 e a potência média de 540 W . Na figura 5.90 é mostrada a curva de corrente e de tensão.

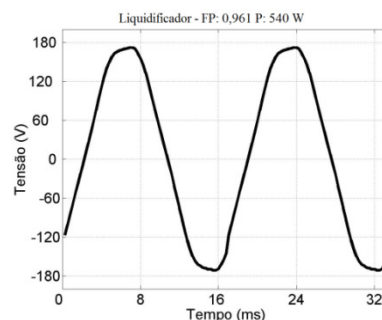
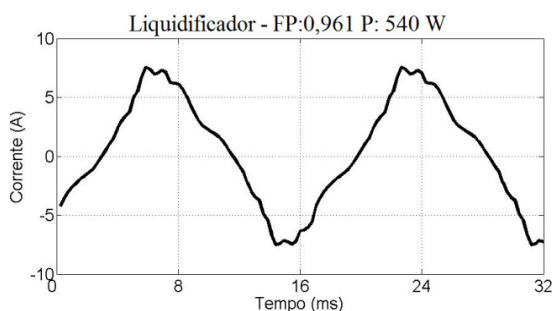


Figura 5.90 - Medição da energia elétrica com transmissão de dados com filtro e sinal de ruído do liquidificador na rede PLC.

Outro estudo realizado com relação à qualidade de energia teve por objetivo mostrar os resultados obtidos das distorções harmônicas da rede PLC apresentando os diagramas de espectro de corrente. A primeira medida realizada com o medidor de energia elétrica foram as DHT do sinal PLC sem transmissão de dados e sem a presença de ruído e com transmissão de dados sem ruído onde o resultado da medida é apresentado na figura 5.91. A configuração da rede utilizada foi a da figura 5.21 (b).

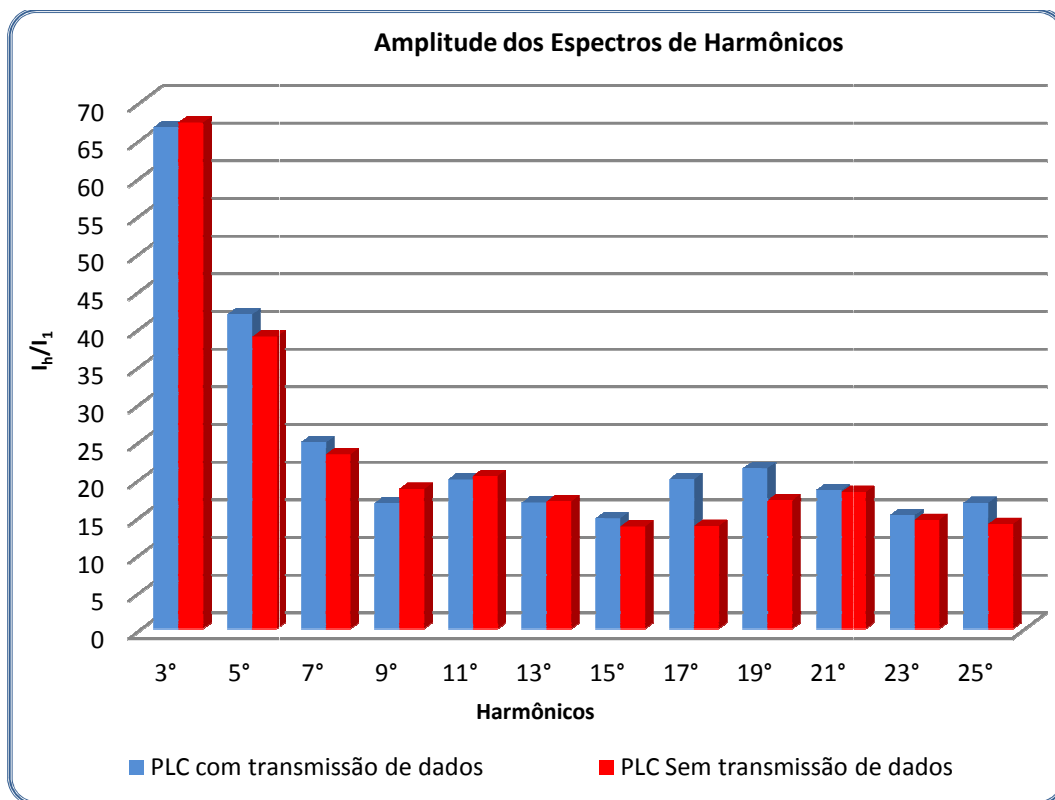


Figura 5.91 – Diagrama espectral dos harmônicos do sinal PLC sem ruído na rede.

Para a rede elétrica sem transmissão de dados, o valor da DHT foi igual a 94 % e corrente eficaz (I_{ef}) igual a 0,18 A. Para a rede com transmissão de dados o valor médio da DHT foi 100 % e I_{ef} igual a 0,182 A. Para todas as situações medidas neste estudo o primeiro harmônico (fundamental) sempre foi 100 %. Observando o gráfico da figura 5.91, constata-se que os espectros de harmônicos são iguais para as duas situações avaliadas o que é correto pois o sinal PLC está sendo transmitido numa frequência muito mais alta do que as 25 primeiras harmônicas.

Em seguida foi realizada a avaliação da DHT para o barbeador e para a rede PLC com filtro seguindo a configuração da figura 5.22 sobre a influência do sinal provocado pelo barbeador. A figura 5.92 apresenta o resultado obtido comparando o sinal PLC com transmissão de dados sem ruído com o sinal produzido pelo barbeador e o sinal PLC da rede com a atuação do sinal do barbeador.

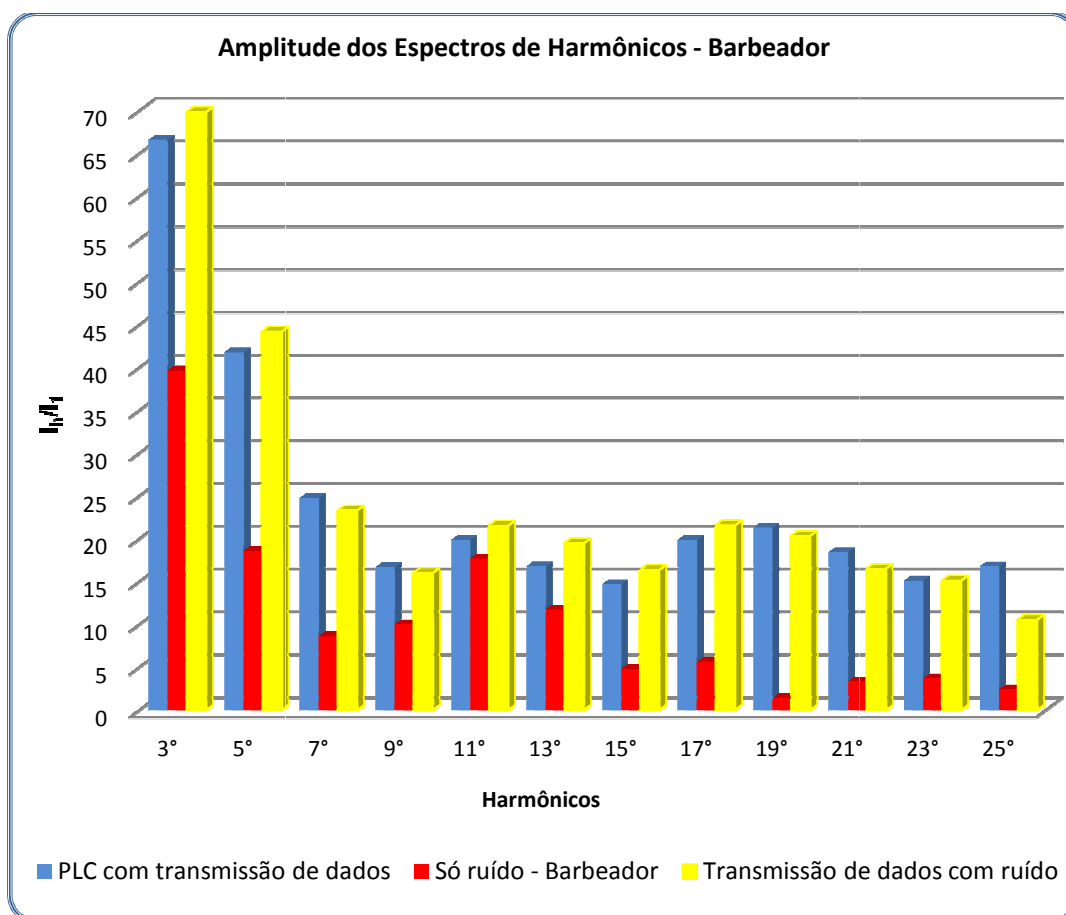


Figura 5.92 – Diagrama espectral dos harmônicos do barbeador.

Pela análise do gráfico da figura 5.92 verifica-se que a DHT do sinal PLC com transmissão de dados foi maior que a DHT do sinal do ruído que foi maior que a DHT da rede PLC sem carga atuando em todos os 25 harmônicos medidos. Os valores obtidos para o sinal do barbeador foi DHT igual a 53 % e $I_{ef} = 0,07$ A. Para a rede PLC com transmissão de dados e com a presença do sinal de ruído do barbeador a DHT médio medida foi 100 % e $I_{ef} = 0,18$ A.

Para o liquidificador, a DHT medida foi de 35,25 % e $I_{ef} = 1,3$ A. Para a rede PLC com transmissão de dados e com o sinal produzido pelo liquidificador mediu-se a DHT = 25,7 % e I_{ef} igual a 2,4 A. A figura 5.93 apresenta o resultado da medida dos harmônicos do liquidificador. Para esta situação observa-se que a DHT medida para a rede PLC com

transmissão de dados sem a atuação da carga é maior que a DHT do sinal do liquidificador e que a DHT do sinal PLC com transmissão de dados e com a presença da carga.

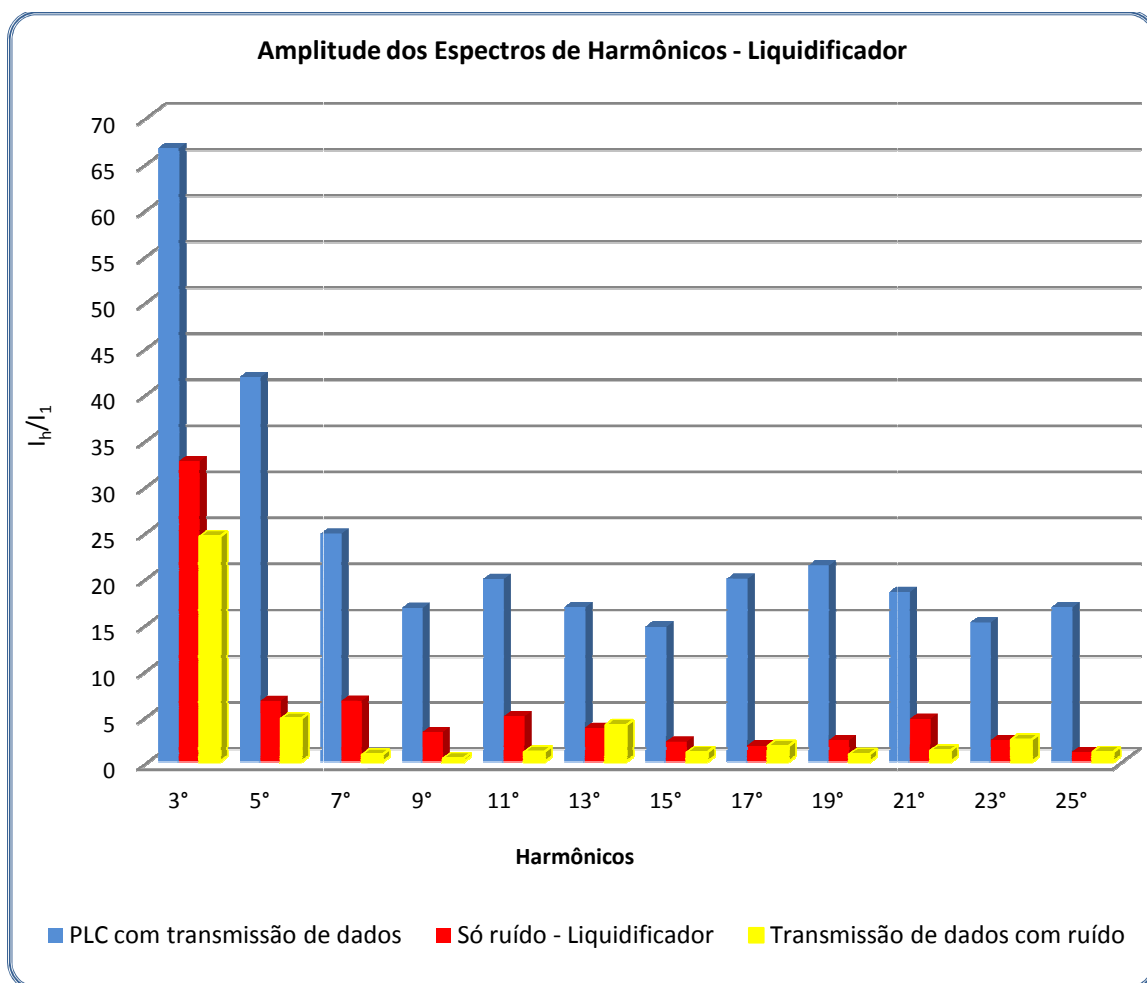


Figura 5.93 – Diagrama espectral dos harmônicos do liquidificador.

Na sequência, foi realizada a medida da DHT com a batedeira e o resultado está apresentado na figura 5.95. A DHT da batedeira foi igual a 8,43 % e $I_{ef} = 1,195$ A. Para a rede PLC com transmissão de dados e presença do ruído da batedeira a DHT foi igual a 32,26 % tendo $I_{ef} = 1,32$ A. Para esta situação o espectro do sinal da rede PLC com transmissão de dados e sem a atuação da carga é muito maior que o espectro da rede PLC com a presença atuante da carga que também é muito maior que a DHT medida da batedeira. Os espectros dos harmônicos da batedeira apresentaram valores muito baixos conforme mostrado na figura 5.94.

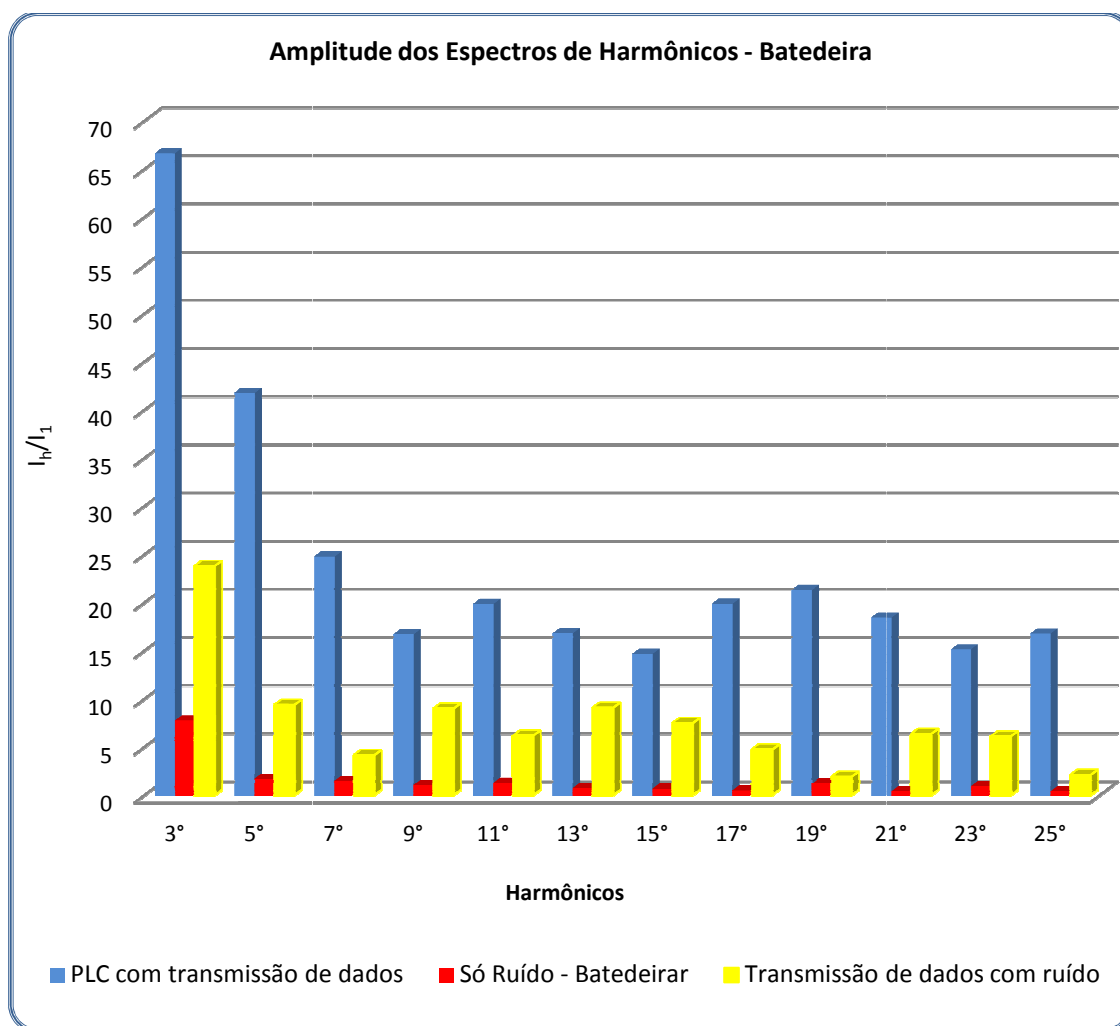


Figura 5.94 – Diagrama espectral dos harmônicos da batedeira.

A figura 5.95 apresenta os resultados da medida realizada com a lâmpada fluorescente compacta. O valor medido da DHT foi igual a 140,73 % com $I_{ef} = 0,71$ A.

Para a rede PLC com transmissão de dados na presença do ruído produzido pela lâmpada fluorescente compacta o valor da DHT foi de 124,55 % com $I_{ef} = 0,81$ A. Observando o diagrama espectral de harmônicos verifica-se que a DHT da lâmpada na primeira ordem harmônica é praticamente igual à medida da rede PLC com atuação da carga. A partir do 5° harmônico até o 21° harmônico a amplitude de cada componente medida da lâmpada é mais alta que a da rede PLC com transmissão de dados com e sem a atuação da carga até o 21° harmônico. Nos harmônicos 23° e 25° o espectro da rede PLC foi superior aos

espectros medidos da carga e da rede PLC com atuação da carga. É importante ressaltar que o espectro harmônico da rede PLC com transmissão de dados e com o sinal produzido pela lâmpada apresentou resultado bastante significativo em todos os 25 harmônicos.

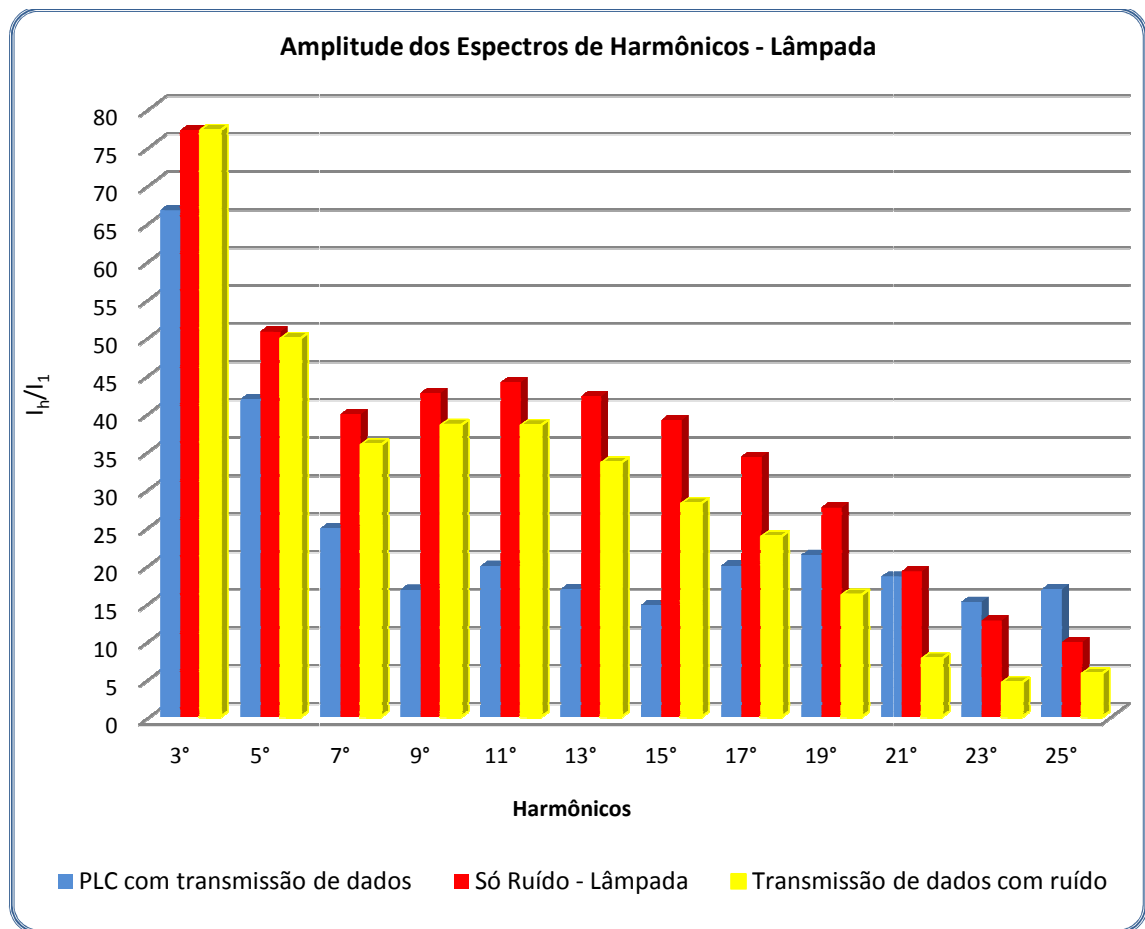


Figura 5.95 – Diagrama espectral dos harmônicos da lâmpada fluorescente compacta.

A medida da DHT do dimmer está apresentada na figura 5.96. O valor medido da DHT para o dimmer é igual a 16,66 % com I_{ef} igual 0,05 A. Para a rede PLC com transmissão de dados e com a presença do dimmer mediu-se uma DHT igual a 103 % com I_{ef} igual a 0,184 A. A figura 5.96 apresenta o resultado espectral obtido da DHT do dimmer. Para esta situação pode ser visto que na rede PLC com transmissão de dados e com a presença do dimmer apresentou os maiores valores da DHT até o 15° harmônico. A DHT do dimmer foi baixa em todos os 25 harmônicos analisados.

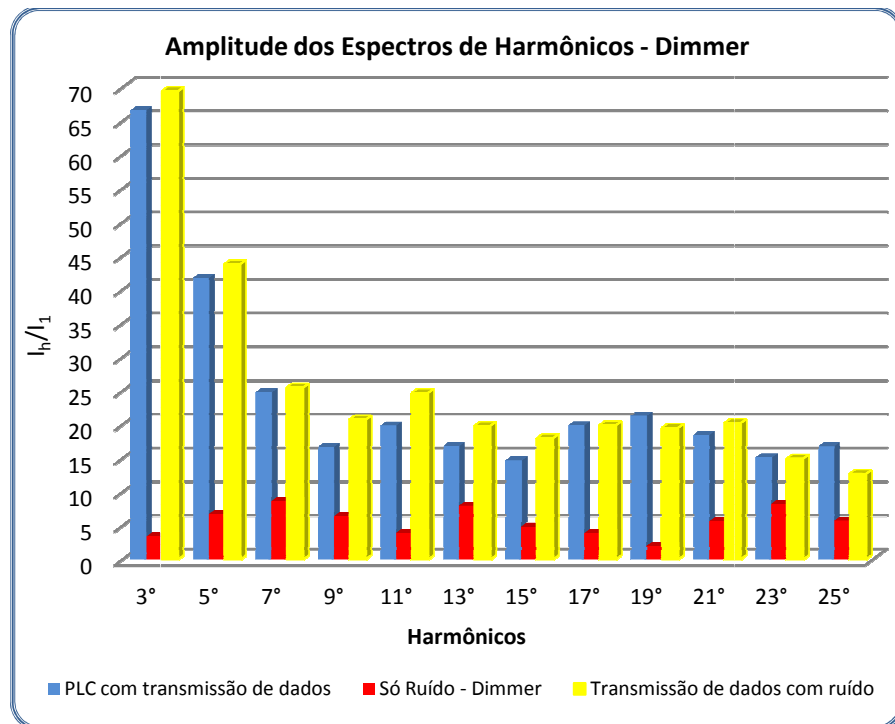


Figura 5.96 – Diagrama espectral dos harmônicos do dimmer.

Para a fonte de alimentação chaveada o valor da DHT medido foi de 165,14 % com I_{ef} igual a 0,25 A. Para a rede com transmissão de dados e com a presença de ruído produzido pela fonte chaveada a DHT medida foi igual a 97,15 % com I_{ef} de 0,25 A. A figura 5.97 apresenta o resultado obtido da medida dos harmônicos produzido pela fonte chaveada.

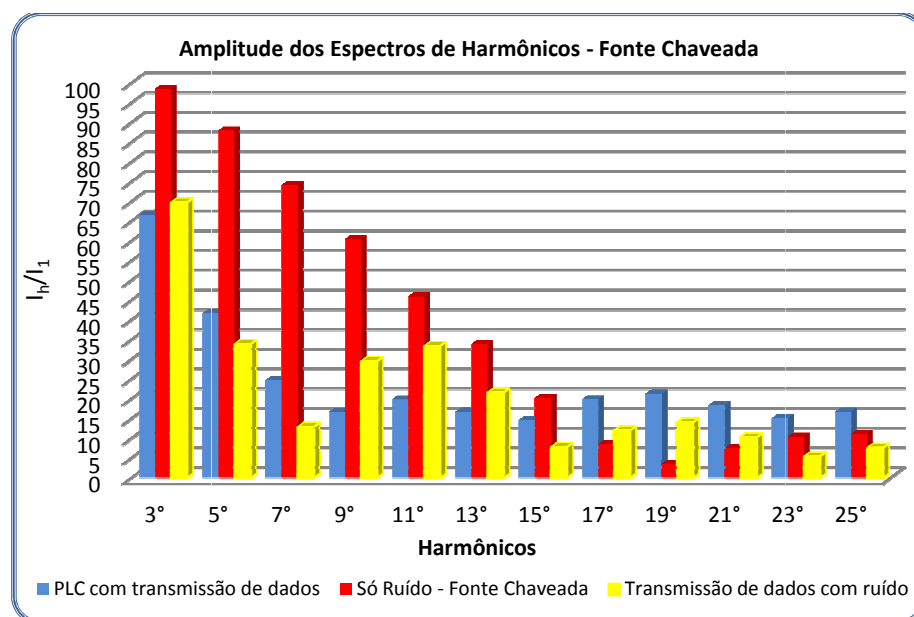


Figura 5.97 – Diagrama espectral dos harmônicos da fonte chaveada.

Pode-se ver pela figura 5.97 que o espectro do sinal da fonte chaveada foi maior até o 15º harmônico. A partir daí a DHT da rede PLC com transmissão de dados passa a apresentar maior espectro de harmônicos.

Em seguida foi realizada a medida da DHT para o secador de cabelos onde o valor medido da DHT foi igual a 2,35 % e I_{ef} igual a 9,89 A. Para a rede PLC com transmissão de dados e na presença do secador o valor medido da DHT foi de 2,38 % com $I_{ef} = 10$ A. Na figura 5.98 é mostrado o diagrama espectral dos harmônicos do secador de cabelos onde o espectro da rede PLC é muito maior que o espectro medido da rede PLC com a presença da carga atuando e que a medida do sinal do secador de cabelos.

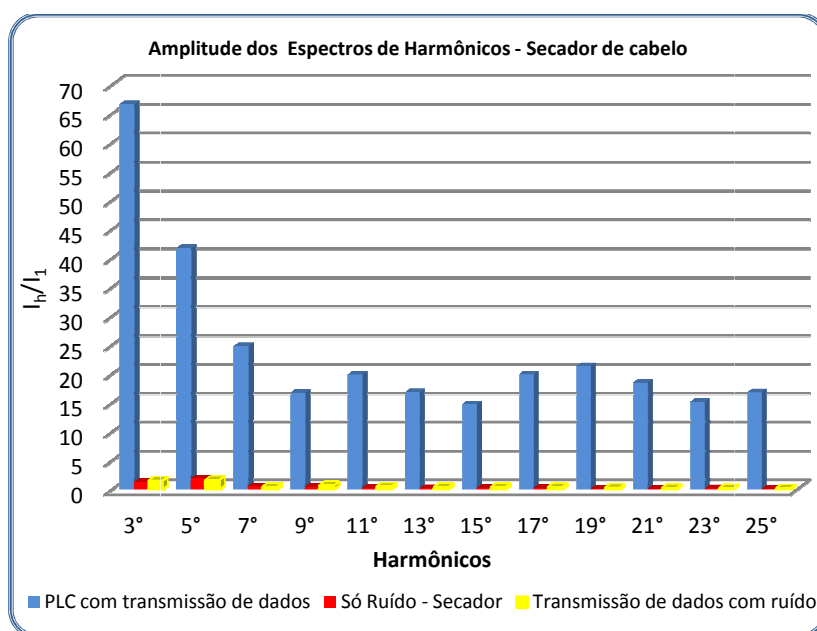


Figura 5.98 – Diagrama espectral dos harmônicos do secador de cabelos.

Por último foi realizado a medida da DHT da televisão em conjunto com o ventilador onde obteve a DHT de 61,65 % com $I_{ef} = 0,97$ A. Para a rede PLC com transmissão de dados e na presença do sinal produzido pela TV com o ventilador, mediu-se o valor da DHT igual a 58,15 % com $I_{ef} = 1,05$ A. Para todos os 25 harmônicos avaliados, o maior espectro foi encontrado par a rede PLC sem a atuação das cargas. A figura 5.99 apresenta o diagrama espectral dos harmônicos fornecidos pela televisão em conjunto com o ventilador.

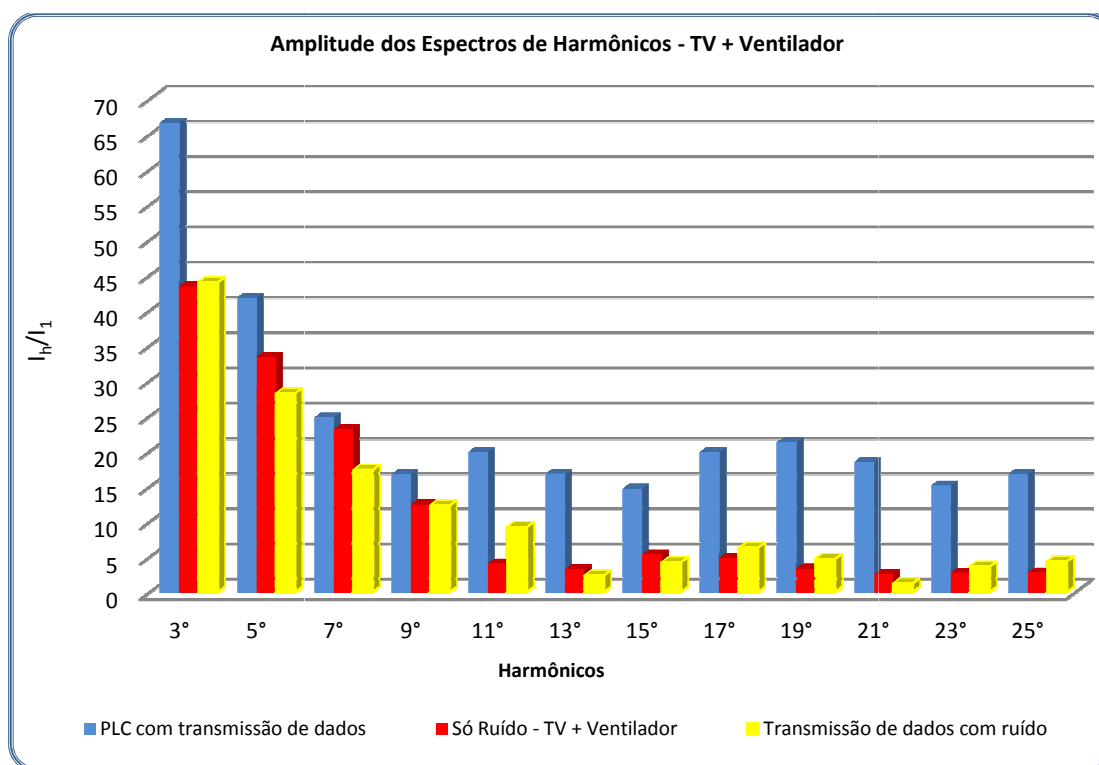


Figura 5.99 – Diagrama espectral dos harmônicos da TV em conjunto com o ventilador.

De modo geral, os aparelhos eletrônicos apresentam altos valores de DHTs de corrente. Isso se explica por sua forma de conversão CA-CC utilizada na fonte de alimentação que possui ponte de diodos com filtro capacitivo. Esta categoria de eletrodomésticos é a principal carga não-linear de consumidores residenciais e no caso da televisão, encontradas em todas as casas populares. O efeito pelicular causa maiores perdas acima do 7º harmônico até as altas frequências por onde opera a tecnologia PLC. A tabela 5.4 mostra os parâmetros das principais medidas realizadas neste capítulo. Baseados nos indicadores medidos nesta seção que permitem quantificar e avaliar a distorção de harmônicos das curvas de corrente e observando a tabela 5.4, verifica-se que em todos os casos onde a rede PLC com atuação do eletrodoméstico teve um aumento do fator de potência comparado a rede PLC, sem qualquer tipo de carga atuando diretamente e desde que o fator de potência do eletrodoméstico seja maior que o da rede PLC operando conforme a configuração da figura 5.21 (b) proporcionou

uma alta eficiência na transmissão de dados entre os computadores na casa popular seguindo a configuração da rede conforme ilustrada na figura 5.22.

Tabela 5.4- Parâmetros das medidas realizadas.

	TDH (%)	Vazão (Mbps)	FP	dBm	Tensão (V) com osciloscópio	Taxa máxima (Mbps)
PLC	100	75,84	0,517	-60	0,98	89,2
Lâmpada	140,73	-	0,515	-60	0,128	-
Rede PLC com a lâmpada	124,55	75,04	0,537	-60 a -80	0,98	88,12
Dimmer	16,66	-	0,623	-20 a -40	25	-
Rede PLC com dimmer	103	61,2	0,72	-20 a -40	0,92	74,33
Barbeador	53	-	0,33	-60	0,05	-
Rede PLC com o barbeador	100	32,41	0,69	-60 a -70	0,84	42,04
Fonte chaveada	165,14	-	0,385	-20 a -60	1,44	-
Rede PLC com a fonte chaveada	97,15	38	0,687	-20 a -80	0,88	47,71
TV e Ventilador	61,65	-	0,842	-60	0,0088	-
Rede PLC com a TV e ventilador	58,15	74,73	0,88	-60 a -70	0,74	88,04
Batedeira	9,43	-	1	-20 a -40	0,82	-
Rede PLC com a bateadeira	32,26	69,2	0,948	0 a -60	0,82	83,58
Liquidificador	32,25	-	1	-10	3,84	-
Rede PLC com o Liquidificador	25,7	17,03	0,575	0 a -20	0,84	22,6
Secador	2,35	-	1	-20	4,32	-
Rede PLC com o secador	2,38	72,43	1	-20	0,82	76,03

5.7 CONCLUSÕES

Este capítulo teve por objetivo apresentar os resultados obtidos da avaliação de desempenho de uma rede PLC em ambiente indoor de casas populares construídas pelo projeto do governo federal em parceria com o estado e o município. Inicialmente foi realizada

a avaliação de desempenho da rede PLC indoor em função dos algoritmos TCP/IP para as fontes de tráfego CBR e VBR.

Em seguida realizou as medições das fontes de ruído produzidas pelos principais eletrodomésticos utilizados numa casa popular por meio de medições realizadas com osciloscópio digital, analisador de espectro e o analisador de sinais vetoriais em tempo real. Dando sequência, foram apresentados os equipamentos PLC utilizados neste trabalho e suas características técnica. Em continuidade foi mostrada às configurações da rede PLC utilizadas para que fosse realizado o estudo da avaliação de desempenho da rede PLC, em casas populares com e sem a presença de filtros PLC e sobre a influência de ruídos produzidos por diversos tipos de eletrodomésticos. Desse modo foi possível realizar a comparação da eficiência da rede PLC com a utilização de filtros e com transmissão de dados nos três períodos do dia. Na sequência avaliou-se o desempenho da rede PLC com e sem a presença de filtros da casa popular durante três dias de medição no período noturno. Dando continuidade ao estudo da rede PLC foi realizada a avaliação da rede indoor em função do tamanho da janela TCP. Também foi realizada a avaliação da rede PLC em função da distância entre o transmissor e o receptor. Após toda essa análise realizada, é apresentado o resultado das medições de sinais PLC com e sem a utilização de filtro numa casa popular. Em seguida foram apresentadas as medidas da qualidade de energia elétrica de uma rede PLC numa casa popular.

Por último foi realizado as medições do sinal de tensão e corrente da energia elétrica da rede PLC e a apresentação dos níveis de harmônicos da rede PLC com transmissão de dados sobre a influência do sinal produzido pelos eletrodomésticos.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

No Brasil, estima-se que menos de 5 % das residências situadas nas capitais e menos de 2 % das cidades do interior possuem acesso à banda larga, sendo dominante a tecnologia ADSL. A tecnologia PLC é vista como uma alternativa futura para fornecer conexão em banda larga em residências urbanas e rurais e pequenos escritórios, utilizando a rede elétrica existente. Em 2010, começou a ser implementado o programa nacional com vistas a ampliar o acesso em banda larga fixa e móvel para todos os cidadãos, inclusive das áreas rurais e remotas, à Internet, e ao uso de (TICs) Tecnologias de Informação e Comunicações nas áreas de educação e saúde e nos serviços de governo eletrônico. No Brasil, a tecnologia PLC ficou apta a atender todas estas aplicações citadas após a ANEEL regulamentar a utilização das instalações de distribuição de energia elétrica para a transmissão dos serviços de Internet banda larga - PLC e a ANATEL regulamentar a liberação para comercialização de Internet banda larga via rede elétrica.

A rede de energia elétrica difere consideravelmente em topologia, estrutura e propriedades físicas, se comparada a outros meios convencionais de comunicação, principalmente porque tal rede não foi originalmente concebida para fornecer serviços de comunicação. Desse modo a presente tese teve por objetivo analisar, medir e avaliar o desempenho de uma rede PLC em ambientes indoor de casas populares.

Uma contribuição foi apresentada na área de transmissão de dados via rede elétrica, a saber:

- O estudo realizado conclui que as casas populares recém construídas estão aptas para receberem sinal PLC e o acesso à Internet.

Os resultados obtidos foram realizados por meio de medições na rede PLC com e sem a utilização de filtro e de diversos tipos de ruídos produzidos por eletrodomésticos comuns nas casas populares. Primeiramente foi realizada por meio de simulação a avaliação do canal PLC num ambiente de casa popular para os parâmetros de a_0 , a_1 e k obtidos da magnitude de resposta em frequência e de d_i verificou-se que a_0 realmente atua como um ajuste fino da atenuação do sinal da equação da função de transferência enquanto a variação do parâmetro k atua de modo moderado e d_i e a_1 são muito sensíveis a alteração, influenciando intensamente na atenuação do sinal PLC. Para o caso da casa popular, d_i é muito baixo, não sendo responsável em causar atenuação do sinal. A análise do canal da rede PLC foi realizada por meio de simulação utilizando o modelo no domínio da frequência, estratégia *bottom up*, baseado no método das matrizes onde não é requisitado elevado número de parâmetros. Este método permite entender a topologia da rede, e estudar os efeitos na transmissão de dados, que ocorrem por desvanecimento seletivo na frequência e atenuação do sinal em função da frequência. A avaliação do canal da rede PLC foi realizada com relação à resposta em amplitude, resposta em fase, o atraso de grupo e a resposta impulsiva.

Com relação à resposta em frequência do canal PLC verificou-se que à medida que é aumentada a distância entre o transmissor e o receptor, mantendo-se fixa a distância do ponto final da ramificação, a linha de base do sinal atenuado decresce, aumentando a atenuação no canal PLC. Observou-se também que independente da distância entre o transmissor e o receptor, os *notches* se mantêm nas mesmas posições de frequência, mas atingem amplitudes maiores, e mais *ripples* ocorrem com o aumento da distância na curva de resposta em frequência. Desse modo, para a condição da casa popular, onde a distância entre o ponto transmissor e o receptor é curta não são visto *ripples*, e o patamar superior da curva tendeu a ficar estabilizada. Para a condição onde manteve-se fixa a distância do transmissor até o receptor, e variou-se o valor da distância do ponto final da ramificação até o nó da linha de

transmissão, verificou-se que, à medida que o valor da distância da ramificação dobrou, os números de *notches* dobraram, e se deslocaram no eixo da frequência, e a linha de base sofreu uma queda discreta e sem observar *ripples* na curva de resposta em frequência.

A resposta de fase mostrou para a casa popular que distâncias curtas entre o transmissor e o receptor, e da distância do ponto final da ramificação, produzem baixos valores de amplitude de pico de distorção.

A curva de atraso de grupo do canal de uma casa popular, quando foi mantida fixa a distância do ponto final da ramificação e aumentou-se a distância entre o transmissor e o receptor, não teve o aparecimento de *ripples* e nem a elevação no patamar superior da curva, e desse modo não houve o aumento do atraso da transmissão do sinal.

Outra análise verificada foi que a variação da impedância da carga tem pouco efeito com o aumento da frequência. Com relação à avaliação da rede PLC, em função da capacitância distribuída e da indutância distribuída, no ponto da ramificação e na carga, observou-se que, para o canal PLC da casa popular, não produzem-se alterações na curva de resposta em amplitude.

Na etapa de avaliação do desempenho da rede PLC, em função dos algoritmos *Congestion Avoidance* TCP, verificou-se que o TCP Vegas é o mais adequado para ser aplicado nas fontes de tráfego CBR e VBR, independente do tamanho da janela de dados TCP.

Para as medições de fontes de ruído encontradas em casas populares verificou uma alta intensidade de ruído produzida pelo barbeador, liquidificador, fonte de alimentação chaveada e batedeira.

As diversas medições de sinais da rede PLC indoor de uma casa popular proporcionou a apresentação das possíveis questões futuras de pesquisa, resultantes do trabalho desenvolvido, e estão listadas a seguir:

- Necessidade de obter filtros mais eficientes para atuar nas redes PLC quando sofrem influência de ruídos produzidos pela fonte chaveada, barbeador e liquidificador pelo fato que a eficiência da rede PLC foi praticamente igual com e sem o uso de filtro.
- Observar melhor o efeito da temperatura e da umidade no desempenho da transmissão de dados via PLC haja vista no período vespertino onde a temperatura ultrapassou os 40 °C e com baixa umidade relativa do ar, as medidas realizadas apresentaram menor eficiência que as medidas feitas no período matutino e noturno.
- Apesar de ter sido realizada a comparação da eficiência da rede PLC em três casas populares diferentes, as mesmas situavam-se no mesmo bairro e são casas recém entregues às famílias. Desse modo, é importante avaliar o comportamento da rede PLC em casas populares construídas há mais de 10 anos onde modificações no projeto arquitetônico foram realizadas, e comparar com os resultados obtidos neste trabalho.
- Neste trabalho todas as medidas foram realizadas com adaptadores PLC de 200 Mbps. Recentemente foi lançado no mercado brasileiro adaptadores PLC de 1 Gbps. É propício avaliar a eficiência da rede PLC, utilizando estes adaptadores, e computadores com placas de rede giga bit Ethernet.
- Com relação às medidas realizadas com o osciloscópio, com o analisador de espectro e com o analisador de sinais vetoriais torna-se muito interessante estudar o comportamento estatístico da transmissão de dados via rede elétrica com e sem a utilização de filtros e de ruídos produzidos pelos eletrodomésticos.
- Foi verificado neste trabalho, que para os casos que a rede PLC com a atuação do eletrodoméstico houve um aumento do fator de potência comparado a rede PLC sem qualquer tipo de carga, atuando diretamente e desde que o fator de potência do eletrodoméstico fosse maior que o valor medido do FP da rede PLC pura, constatou-se uma alta eficiência na

transmissão de dados. Para a análise espectral de sinais de potência sugere-se encontrar uma relação que possa vir a ocorrer na medida do DHT com a vazão da rede via PLC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] PAVLIDOU N., VINCK A. J. H., YAZDANI J. and HONARY B. **Power line communications: state of the art and future trends**. *IEEE Commun. Mag.*, vol. 41, pp. 34–40, Apr. 2003.
- [02] <http://www.corinex.com/images>.
- [03] AWAD, Y. **OFDM Transceiver for IEEE 802.20 Standards**. EUSIPCO, 2009.
- [04] BAE, J.; Kim, E. **Novel OFDM frame synchronization scheme based on repeated orthogonal gold sequence for power line communication systems**. Fourth Workshop on Power Line Communications, September 22-24, 2010, Germany.
- [05] BAHAI, A. **Multi-carrier digital communications theory and applications of OFDM**. 2^o nd edition, Kluwer Academic Publishers, 2002;
- [06] LITWIN, L.; PUGEL, M. **The principles of OFDM, RF signal processing**. www.rfdesign.com, January 2001.
- [07] RAPHAELI, D.; BASSIN, E. **A comparison between OFDM, single carrier, and spread spectrum for high data rate PLC**. ISPLC, 1999.
- [08] SCHULZ, W.; SCHWARZE, S. **Comparison of CDMA and OFDM for data communications on the medium voltage power grid**. ISPLC 2000.
- [09] WANG, X. **A time slicing adaptative OFDM system for mobile multimedia communications**. *IEEE Transactions on Broadcasting*, Vol. 56, No. 2, June 2010.
- [10] BALEON, H.; AQUINO, V. **A power line communication modem based on OFDM**. International Conference on Electrical Communications and Computers, 2009;

- [11] MLYNEK, P.; KOUTING, M. **OFDM model for power line communication**. Latest Trends on Communications and Information Technology, www.worldses.org/journal, 2010.
- [12] PIETIKAINEN, K. **Orthogonal Frequency Division Multiplexing**. Postgraduate Course in Radio Communications.
- [13] MORI, A.; WATANABE, Y. **The power line transmission characteristics for an OFDM signal**. Progress in Electromagnetics Research Symposium, March 2006, USA.
- [14] EDFORS, O.; SANDELL, M.; BEEK, J. **An introduction to Orthogonal Frequency-Division Multiplexing**. CSEEE 1996.
- [15] MOOSE, P. **A Technique for Orthogonal Frequency Division Multiplexing Frequency Offset Correction**. IEEE Transaction on Communications. Vol. 42, N^o. 10, October 1994.
- [16] DEHGHANI, M. **Robust OFDM System with ML-Him Encoding**. Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking. 2006.
- [17] KAMMEYER, K. **OFDM: an old idea solve new problems**. www.ant.uni-bremem.de/en/home.
- [18] DEBBAH, M. **Short introduction to OFDM**. <http://lib.dnu.dp.ua/8001>.
- [19] GUTIERREZ, F. **Implementation of a TX/RX OFDM System in a FPGA**. Master thesis in telecommunication engineering and management, Universitat Politècnica de Catalunya, 2009.
- [20] WU, F.; RGHEFF, A. **Time and frequency synchronization techniques for OFDM systems operating in gaussian and fading channels: a tutorial**. PGNET, 2007.
- [21] **OFDM Tutorial, Wave Report**. www.wave-report.com/tutorials/ofdm.

- [22] **Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Explained.** Magis Networks, Inc. February 2001, www.magisnetworks.com.
- [23] COSBY, E. **Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM): tutorial and analysis.** 2001, RF 3-11.
- [24] WALDECK, T. **Telecommunication applications over the low voltage power distribution grid.** IEEE fifth international symposium on spread spectrum techniques and applications, 1998.
- [25] FERREIRA, H. C.; GROVÉ H. M.; et al. **Power line communications: an overview,** Department of Electrical and Electronic Engineering, Rand Afrikans University, South Africa and Institut fur Experimentelle Mathemstik, University GHS Essen, Germany. IEEE 1996.
- [26] SANKAR, J. **An assessment of power line communications for delivery of broadband network access,** Ukerna, july 2004.
- [27] VARGAS, A. **Estudo sobre comunicação de dados via rede elétrica para aplicações de automação residencial/predial.** Projeto de diplomação em Engenharia de Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.
- [28] MARQUES, G. **Transmissão de dados via rede elétrica.** Monografia de fim de curso de graduação, UFSC, 2004.
- [29] LIN, Y.; LATCHMAN, H.; LEE, M. **A power line communication network infrastructure for smart home; IEEE Wireless communications,** December 2002.
- [30] **Regulamento sobre Condições de Uso de Radiofrequências por Sistemas de Banda Larga por meio de Redes de Energia Elétrica.** ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações), resolução número 527, de 8 de abril de 2009.
- [31] **Regulamento sobre a utilização das instalações de distribuição de energia elétrica como meio de transporte para a comunicação digital ou analógica de sinais.** ANEEL

(Agência Nacional de Energia Elétrica), resolução normativa número 375, de 25 de agosto de 2009.

[32] SELANDER, L. **Power line communication over the low-voltage grid**, final work at the Department of information technology at Lund University, 1999.

[33] TRULL, B. **An Overview of broadband over power line (BPL)**, Rivier College on-line Academic Journal, volume 2, numver1, springer 2006.

[34] HRASNICA, H.; HAIDINE, A.; LEHNERT, R. **Broadband power line communications network**, John Wiley & Sons. 2004.

[35] ZUBERI, K. HUSSAIN. **Powerline carrier (PLC) communication systems**. Master Thesis of Science in Internetworking, IT Universitetet, Kista, Sweden, 2003.

[36] ISSA., F. **Power line communication using low and medium voltage networks**. Department Electricité de France, 2006.

[37] MONTOYA. L. **Power Line Communication Network Infrastructure for the Smart Home**. IEEE Wireless Communications, December 2002.

[38] MAJUMDER, A.; CAFFERY J. **Power line communications: an overview**, IEEE 2004.

[39] ZATTAR, H. **TCP/IP over satellite ATM networks**. Systemics Cybernetics and Informatics, SCI 2001, USA.

[40] SOARES, L.; COLCHER, S. **Redes de computadores das LANs, MAN e WAN, às redes ATM**, 6ª edição, Editora Campus, 1999.

[41] SUTTERLIN, P. **A power line communication tutorial - challenges and technologies**. Available at: www.iet.unip.it.

- [42] Costa, R. **Estimação de Canal em sistemas de Comunicação sobre Linhas de Potência**. Tese de doutorado, PUC-RJ, 2007.
- [43] ZIMMERMANN, M.; DOSTERT, K. **A multi-path signal propagation model for the power line channel in the high frequency range**. In Proc. 3th International Symposium on Power-line Communication and its Applications (p.451). Lancast, UK, 1999.
- [44] ZIMMERMANN, M.; DOSTERT, K. **A multipath model for the powerline channel**. IEEE Trans. on Communications, 50 (4), 553-559, (2002a, Abr.).
- [45] VERSOLATTO, F. **Analysis of the PLC channel statistics using a bottom-up random simulator**. ISPLC 2010.
- [46] Tooraj,E.; Kschischang, R.; Gulak, P. **In-building power lines as high-speed communication channels: channel characterization and a test channel ensemble**. International Journal of Communication Systems 2003. pp 381 - 400, May 2003.
- [47] ESMAILIAN, T.; GULAK, P. G.; KSCHISCHANG, F. R. **A discrete multitone power line communications system**. In Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing - ICASSP (p. 2953-2956), (2000).
- [48] ESMAILIAN, T.; KSCHISCHANG, F. R.; GULAK, P. G. **Characteristics of In-building power lines at high frequencies and their channel capacity**. In Proc. of 4th International Symposium on Power-line Communication and its Applications (p. 52-59), (2000).
- [49] BOSTOEN, T.; WIEL, O. V. **Modelling the low-voltage power distribution network in the frequency band from 0.5 MHz to 30 MHz for broadband powerline communications (PLC)**. In Proc. of International Zurich Symposium on Broadband Communications (p. 171-178), (2000, Fev.).
- [50] J. BARNES. **A physical multi-path model for power distribution network propagation**. In Proc. 2nd Int. Symp. Power-Line Communication and its Applications (ISPLC 98), Tokyo, Mar. 1998, pp. 76-89.

- [51] MENG H.; CHEN S.; GUAN Y. L.; LAW C. L.; SO P. L.; GUNAWAN E.; LIE T. **Modeling of transfer characteristics for the broadband power line communication channel.** *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 19, pp. 1057-1064, July 2004.
- [52] PAPALEONIDOPOULOS I.C.; KARAGIANNPOULOS C. G.; ANAGNOSTOPOULOS I.E. **An HF multipath-propagation analysing method for power delay profile estimations of indoor single-phase low voltage PLC channels.** In Proc. 6th Int. Symp. Power-line Communication and its Applications (ISPLC2003), Kyoto,2003, pp.154-159.
- [53] ANASTASIADOU D.; ANTONAKOPOULOS T. **Multipath Characterization of Indoor Power-line Networks.** *IEEE Trans. Power Delivery*, vol 20, pp.90-99, Jan. 2005.
- [54] Ribeiro, M.V., **Técnicas de processamento de sinais aplicadas à transmissão de dados via rede elétrica e ao monitoramento da qualidade de energia.** Tese, Universidade Estadual de Campinas, 2005.
- [55] RAUGI, M.; ZHENG, T.; TUCCI, M.; BARMADA, S. **On the time invariance of PLC channels in complex power networks.** ISPLC 2010.
- [56] GOTZ, M. **Power line channel characteristics and their effect on communication system design.** *IEEE Communication magazine*. April 2004.
- [57] DOSTERT, K. **Power lines as high speed data transmission channels modelling the physical limits.** In Proc. of IEEE 2nd International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications (Vol. 2, p. 585-589), (1998, Abr.).
- [58] WALDECK, T., BUSSER, M., & DOSTERT, K. **Telecommunication applications over the low voltage power distribution grid.** In Proc. of IEEE 5th International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications (Vol. 1, p. 73-77), (1998).

- [59] TANAKA, M. **High frequency noise power spectrum, impedance and transmission loss of power line in Japan on intra building power line communications.** IEEE Trans. on Consumer Electronics, 34 (2), 321-326, (1988, Maio).
- [60] LANGFELD, P. J. **The capacity of typical power line reference channels and strategies for system design.** In Proc. 5th International Symposium on Power-line Communication and its Applications (p. 271-278). 2001.
- [61] Papaleonidopoulos, C.; Karagiannopoulos, G.; Nickolas, J. **Statistical analysis and simulation of indoor single phase low voltage power-line communication channels on the basis of multipath propagation.** IEEE Transactions on power delivery, Vol. 49, No. 1, pp 89 -99, February 2003.
- [62] ZATTAR, H.; BONALDO, J.; CARRIJO G. **An overview of PLC network performance in presence of households interference.** ICEIS (4) 2008: 230-233.
- [63] ZATTAR, H.; CARRIJO, G. **An evaluate and comparison of TCP congestion avoidance algorithms working over broadband power line communications network.** 1st International Infrastructure – GIIS 2007. Marrakech, 2007.
- [64] C. K. LIM *et al.* **Development of A test bed for high-speed power line communications.** *Int'l. Conf. Power Sys. Tech.*, 2000, vol. 1, 2000, pp. 451–56.
- [65] MA, Y. H.; SO, P. L. **Performance analysis of OFDM systems for broadband power line communications under impulsive noise and multipath effects.** IEEE Transaction on Power Delivery. Vol 20, 2005.
- [66] Vines, R. **Noise on residential power distribution circuits.** IEEE transactions on Eletromagnetic Compatibility, vol. EMC-26, 1984.
- [67] SUTTERLIN, P.; DOWNEY, W. **A power line communication tutorial – challenges and technologies.** Echelon Corporation, USA.
- [68] DOSTERT, K. **Powerline communications.** Prentice Hall, 2001.

- [69] GOTZ, M.; RAPP, M.; DOSTERT, K. **Power line channel characteristics and their effect on communication system design**. IEEE Communication Magazine, vol 42, pp. 78-86, 2004.
- [70] PHILIPPS, H. **Performance measurements of power line channels at high frequencies**. International Symposium on Power Line Communications and its Applications. 1998.
- [71] LIN, Y.; HANIPH A. **A comparative performance study of wireless and power line networks**. University of Florida. 2002.
- [72] STEVEN, L.; PETERSON, L., WANG, L. **Understanding TCP Vegas - theory and practice**. University of Melbourne and Princeton University. TR 616-00, 2000.
- [73] GUILLEN, E. **Throughput analysis over power line communication channel in a electric noisy scenario**. Proceedings of world academy of science, engineering and technology, volume 33, September 2008.
- [74] KATAYAMA M. **A mathematical model of noise in narrowband power line communication systems**. IEEE journal on selected areas in communication, vol 24, n° 7, july 2006.
- [75] LIN, Y.; HANIPH A. **A power line communication network infrastructure for the smart home**. IEEE Wireless Communications. 2002.
- [76] SARTENAER, T. **Multiuser communications over frequency selective wired channels and applications to the power line access network**. Dissertação (PHD tese de doutorado) 2004. 317f.
- [77] ZIMMERMANN M.; DOSTERT K. **Analysis and modeling of impulsive noise in broadband powerline communications**. IEEE transactions on electromagnetic compatibility, vol 44 n1, February 2002.

- [78] SUGIMOTO, K. **Performance improvement of OFDM system with consideration on the characteristics of power line noise**. IEICE Trans Fundamentals, vol E85-A, 2002.
- [79] RIBEIRO, M. V. **Power line communications: a promising communication system's paradigm for last miles and last meters applications**. Fundação Edson Queiroz, p.133-156, 2006.
- [80] Open PLC EUROPEAN RESEARCH ALLIANCE - **Theoretical Postulation of PLC Channel Model**, 2005.
- [81] UMEHARA, D.; NISHIYORI, H.; MORIHIRO Y. **Performance evaluation of CMFB transmultiplexer for broadband power line communications under narrowband interference**. International Symposium on Power Line Communications p. 50-55, Mar. 2006.
- [82] GAO, Y. **Powerline Communications: Channel Characterization and Modem Design**. Helsinki University of Technology, Abr. 2005.
- [83] BENYOUNCEF, D. **A new statistical model of the noise power density spectrum for Power line Communication**. International Symposium on Power-Line Communications and Its Applications. p. 136-141, Mar. 2003.
- [84] LIU, E.; GAO, Y.; BILAL, O.; KORHONEN, T. **Broadband characterization of indoor power channel**. IEEE International Conference on Communications. Vol. 2, p.901-905, Mai. 2005.
- [85] PODURI, K. **Simulation Studies of Increased Initial TCP Window Size**. RFC 2415, 1998.
- [86] SARTORI, J. **Linhas de transmissão e carta de smith: projeto assistido por edição de Computador**. 2º edição. Ano 1999.
- [87] UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE, NTIA – National Telecommunications and Information Administration Report 04-413. **Potential interference**

from broadband over power line (BPL) systems to federal government radio communications at 1.7 - 80 MHz. Washington D.C.,2004.

[88] BOSTOEN, T.; VAN DE WIEL, O. **Modeling the low voltage power distribution network in the frequency band from 0,5 MHz to 30MHz for broadband power line communication (PLC).** Alcatel Corporate Research Center, Belgium.

[89] ISSA, F.; CHAFFANJON, D.; PACAUD, A. **Radiated emission associated with power line communications on low voltage buried cable.** Electricité de France, (2) France Ecole Supérieure d' Electricite, Paris, 2003.

[90] HENSEN, C.; SCHWARZE, S. **Electromagnetic compatibility for power-lines communications on the medium voltage grid.** Intellon Design Center Europe GmbH, Germany. University of Paderborn, Germany. 2000.

[91] EMC Commissie Veron; Koos Fockens Dutch. **PLC measurements - The radio amateur and the effects of the use of the 230 Volt power line for broadband data communication (PLC).** 21 de Junho de 2002.

[92] VICK, R. **Radiated emission caused by in-house PLC- systems.** Planungsbüro, 2003.

[93] CHIPMAN, R. **Linhas de transmissão.** Ed Mc Grawhill, 1972.

[94] GETAHUM, M.; MEKURIA, K. **Mitigating EMI of power line communications using carrier-less UWB.** Thesis, 2008.

[95] LIU, E.; GAO,Y.; BILAL,O.; KORHONEN,T. **Broadband characterization of indoor power line channel.** ISPLC 2004.

[96] **Theoretical postulation of PLC channel model.** OPERA

[97] CHENG, S.; HE. H.; ZHANG, Y.; NGUIMBIS, J. **Analysis of reflection of signal transmitted in low voltage powerline with complex wavelet.** IEEE Transaction on Power Delivery, 19(1), 86-91, janeiro de 2004.

- [98] BARNEJ,S. **A Physical multi-path model for power distribution network propagation.** Proc. Int. Symp. Power line Communication and its Applic., Tokyo, Japan, 24 de março de 1998, pp. 76-89.
- [99] D4: **theoretical postulation of PLC channel model.** versão 2.0. OPERA (Open PLC European Research Alliance). 2005.
- [100] TLICH, M. **Indoor Power line communications: channel characterization up to 100 MHz part one- parameter deterministic model.** IEEE transaction on power delivery, 2008.
- [101] CANETE, F. **Indoor Power line communications: channel modeling and measurements.** ISPLC 2000.
- [102] ANATORY, J. **Channel model for broadband power line communication** IEEE transactions on power delivery, vol 22, January 2007.
- [103] TANG, L. **Characterization and modeling of in building power line for high speed data transmission.** IEEE transactions on power delivery, vol 18 n1, January 2002.
- [104] HOOJEN, O. **A channel model for the residential power circuit used a digital communications medium.** IEEE transactions on electromagnetic compatibility, vol 40, n4, November 1998.
- [105] DEGARDIN, V. **Classification and characterization of impulsive noise on indoor power line used for data communications.** IEEE transactions on consumer electronics, vol 48, n4, November 2002.
- [106] BOSTOEN, T.; VAN de VIEL, O. **Modeling the low voltage power distribution network in the frequency band from 0,5 MHz to 30MHz for broadband powerline communications.** IEEE, 2000.
- [107] SABOLIC, D.; VARDA, V. **PLC Signal Propagation Modeling.** Proceedings of the fourth lasted international conference Power and Energy Systems, june 2004.

- [108] KONATE, C.; MACHMOUM, M.; DIOURIS, J. F. **Multi path model for power line communication channel in the frequency range of 1MHz- 30MHz**. EUROCON 2007 The International conference on Computer as Tools, 2007, pp. 984-989.
- [109] MENG, H., CHEN, S., GUAN, C.L., LAW, P.L., GUNAWAN, S. E., **Modeling of transfer characteristics for the broadband power line communication channel**. IEEE Transaction on Power Delivery, 19(3), 1057-64, julho de 2004.
- [110] TLICH, M.; ZEDDAM, A.; MOULIN, A.; GAUTHIER, F. **Indoor power-line communications channel characterization up to 100 MHz - part I: one parameter deterministic model**. IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 23, No. 3, pp. 1392-1401, July 2008.
- [111] MATHIAS, G. RAPP, M.; DOSTERT, K. **Power line channel characteristics and their effect on communication system design**. IEEE Communications Magazine, pp. 78-86, April 2004.
- [112] ALOHA, J. **Applicability of power line communication to data transfer of on line condition monitoring of electrical drives**. Dissertation – Lappeenranta University of Technology, 2003. ISBN 951-764-783-2.
- [113] SULJANOVIC, N.; MUJICIC, A.; ZAJC, M.; TASIE, F. **High frequency characteristics of high voltage power line**. EUROCON, 2003.
- [114] WHEELER, H. A. **The Interpretation of Amplitude and Phase Distortion in Terms of Paired Echoes**. Proceedings of I.R.E, pp 359-385 June 1939.
- [115] SHKARIN, Y. P., **High Frequency Channels Via Overhead Power Lines**. Parts 1 and 2, Moscou: Appendix to EnergetiK, 2001.
- [116] ESMAILIAN, T.; KSCHISCHANG, F.R.; GULAK, P.G. **In building power lines as high speed communication channels: channel characterization and a test channel**

ensemble. Int. J. Communication Syst.,16(5), 381-400, junho de 2003, Special Issue: Powerline Communications and Applications.

[117] HOOIJEN, O.G. **On the relation between network topology and power line signal attenuation. Procedure International Symposium Power Line Communication and its Application.** Tokyo, Japan, março de 1998. Pp. 45-56.

[118] ESMAILIAN,T.; KSCHISCHANG, F.R.; GULAK., P.G. **An in-building power line channel simulator.** Proc. Int. Symp. Power Line Commun and its Applic., Athens, Greece, 27 de março de 2002.

[119] DEVENDRA K. **RF and Microwave Communication circuits, analysis and design.** second edition, Wiley Interscience, a John Wiley and Sons, Inc. Publication 2004.

[120] BANWELL, T.; GALLI, S.; **On the symmetry of the power line channel.** in Proc. IEEE Int. Conf Power Line Communication. Appl., Malmo, Sweden, April. 4-6, 2001.

[121] ZATTAR, H.; CARRIJO, G. **An evaluation of power line communication channel Modeling for indoor environment application.** CONATEL 2011. Arequipa, Peru.

[122] STEVENS, W. **TCP slow start, congestion avoidance, fast retransmit and fast recovery algorithms.** RFC 2001, January 1997.

[123] ZATTAR, H. **Um estudo comparativo de algoritmos congestion-avoidance TCP aplicáveis às redes ATM via satélite.** Dissertação, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), 2002.

[124] FALL, K., FLOYD, S. **Simulation-based comparisons of tahoe, reno and SACK TCP.** Computer Communication, vol 26, p.5-21, 1996.

[125] LAKSHMAN, T.V. **The performance of TCP/IP for networks with high bandwidth delay products and random loss.** IEEE ACM Transactions on Networking, vol 5, n 3, p. 336- 350, 1997.

- [126] FLOYD, S., HENDERSON, T. **The New Reno modification to TCP's fast recovery algorithm - RFC 2582**. abril de 1999.
- [127] MATHIS, M. et al. **TCP Selective Acknowledgment Options (SACK) – RFC 2018**. Outubro de 1996.
- [128] MO, J. et al., **Analysis and comparison of TCP Reno and Vegas**. Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California at Berkeley, 1998.
- [129] LIPING, L. **Performances and quality of service of PLC networks for MV and LV distribution systems**, Thesis, Institut National Polytechnique de Lorraine, Wuhan University of Technology, November 2006.
- [130] GOYAL, R. **Traffic Management for TCP/IP over Asynchronous Transfer Mode (ATM) Networks**. Ph.D. thesis of Ohio State University, 1999.
- [131] ZATTAR, H.; GUARDIEIRO, P. **Análise de desempenho de algoritmos congestion avoidance TCP aplicáveis às redes ATM via satélite**. II Seminário Nacional de Controle e Automação, 2001, Salvador, BA.
- [132] ZATTAR, H.; GUARDIEIRO, P. **TCP/IP over satellite ATM networks: limits, challenges And proposals**. 5th world Multiconference on Cybernetics and Informatics, SCI 2001.
- [133] ZATTAR, H. Analysis and Comparison of TCP SACK and Vegas over Satellite ATM networks. The 2001 International Conference on Communications in Computing, Las Vegas, USA.
- [134] ZATTAR, H. **Análise e comparação do TCP SACK e Vegas sobre uma rede ATM via satélite**. SBRC 2001, Rio de Janeiro.
- [135] MCCANNE, S.; FLOYD, S. **NS (Network Simulator)**. Available at <http://www-mash.cs.berkeley.edu/ns/>.

- [136] LEE, M. K. et al. **Homeplug 1.0 powerline communication LANs – protocol description and performance results version 5.4**. International Journal of Communication Systems, 2002, pp. 1-25
- [137] www.agilent.com
- [138] www.rohde.com
- [139] www.rms.ind
- [140] **AV 200 Power line Ethernet adapter**. User guide. Available at-www.corinex.com.
- [141] **Agilent Analyzer Fast Ethernet Network**. Available at www.agilent.com
- [142] **COMMTRAFFIC version 3.1**. Available at www.tamos.com.
- [143] ZATTAR, H.; CARRIJO, G. **Avaliação de desempenho da rede PLC indoor**. 1º CONEMAT – 4º SEAA, setembro de 2010.
- [144] ALLMAN, M. **RFC 2414-Increasing TCP's initial window**.1998.
- [145] ALDABÓ, R. **Qualidade na energia elétrica**. São Paulo: Artliber, 2001.
- [146] ZATTAR, H.; CARRIJO, G. **Um estudo e análise das características do canal PLC**. 1º CONEMAT – 4º SEAA, setembro de 2010.

PRODUÇÃO CIENTÍFICA

Artigos em Revistas Aprovado

1- Zattar, H., Correa,P., Carrijo, G., **Análise, Medidas e Avaliação de desempenho da Rede PLC Indoor em Casas Populares.** RTI, Redes, Telecom e Instalações.

2- Zattar, H., Correa,P., Carrijo, G., **Análise e Avaliação de Desempenho da Rede PLC Indoor em Ambientes de Casas Populares.** Submetido para a revista O Setor Elétrico.

Artigos Submetidos para Revista Aguardando Avaliação

1- Zattar, H., Correa,P., Carrijo, G., **Análise, Medidas e Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica numa Rede PLC Indoor em Ambientes de Casas Populares.** Submetido para a revista Eletricidade Moderna.

Artigos em Congressos

1- ZATTAR, H.; CARRIJO, G. **An evaluate and comparison of TCP congestion avoidance algorithms working over broadband power line communications network.** 1st International Infrastructure – GIIS 2007. Marrakech, 2007.

2- ZATTAR, H.; CARRIJO, G. **Avaliação de desempenho da rede PLC indoor.** 1º CONEMAT – 4º SEAA, setembro de 2010.

3- ZATTAR, H.; CARRIJO, G. **Um estudo e análise das características do canal PLC.** 1º CONEMAT – 4º SEAA, setembro de 2010.

4- ZATTAR, H.; CARRIJO, G. **An evaluation of power line communication channel Modeling for indoor environment application.** CONATEL 2011. Arequipa, Peru.

5- ZATTAR, H.; BONALDO, J.; CARRIJO G. **An overview of PLC network performance in presence of households interference.** ICEIS (4) 2008: 230-233.

6- Zattar, H., Correa,P., Carrijo, G., **Analysis, Measurement and evaluation of power line communication applied for popular houses.** I2TS 2011.