

Os Harmônicos da Energia Elétrica no Áudio



Outubro 2004



Palestra proferida em 03/11/2004, no Instituto de Matemática e Estatística (IME) da Universidade de São Paulo (USP), no **I Seminário de Música, Ciência e Tecnologia**, que apresentou em sua primeira edição o tema “**Acústica Musical**”

Jorge Knirsch

Os Harmônicos da Energia Elétrica no Áudio

Os Harmônicos da Energia Elétrica no Áudio

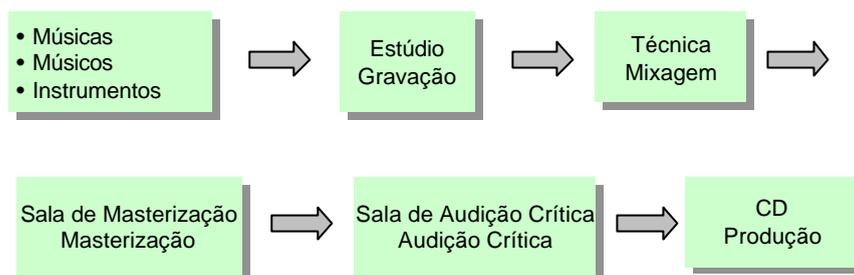
Jorge Knirsch

- Nasceu em de São Caetano do Sul (SP), 1949
- Formou-se em Engenharia Elétrica, Mauá, 1974
- Associado ao CREA
- Membro da AES (Audio Engineering Society)
- Trabalhou na Siemens durante 26 anos, na área de energia
- Em 2002 lançou no mercado a “By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda.”
- Desde 1980 pesquisa a energia elétrica no áudio
- Detentor de três patentes no INPI, na área de filtragem da energia elétrica e de proteção elétrica
- Publicou diversos artigos na revista Áudio & Vídeo, de 1996 a 2003
- site: www.byknirsch.com.br
- site: www.omidstudios.com.br

By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda.



Um Acontecimento Musical



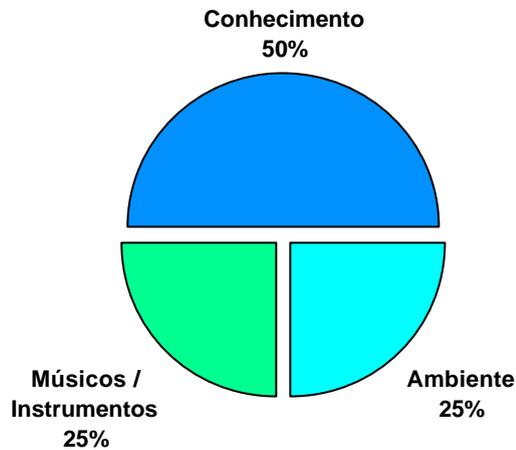
By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda.



A execução de uma música, feita por uma orquestra, ou por um conjunto de músicos, tocando habilmente seus instrumentos, objetivando executar aquela composição com total fidelidade, ocorre em um certo ambiente que apresenta um comportamento acústico específico para aquele lugar e configuração.

Desejando guardar este momento musical tão especial em uma mídia, em um CD por exemplo, teremos que optar por algum processo de gravação. Se escolhermos um estúdio, este irá procurar recriar o ambiente original para fazer a gravação. Executada esta gravação, a matéria vai para a técnica e começa-se a formação e constituição das faixas do CD. Este é o processo da mixagem. Em seguida, vem a masterização, que realiza um acerto final, principalmente entre as faixas do CD. Após estas etapas, teremos em mãos o nosso primeiro CD, que agora irá ser analisado em uma sala de audição crítica, pouco comum no Brasil, onde o resultado final deverá ser bem avaliado. Estas salas, muito freqüentes no exterior, são chamadas de BLR (Balanced Listening Room) e se enquadram dentro da proposta de norma número IEC 60268-13. Após as avaliações finais, e eventuais correções, o original é enviado à produção para a confecção das cópias do nosso CD. Dentro de todo este universo, há vários fatores de suma relevância para podermos conquistar o sucesso que almejamos: imortalizar aquele momento musical e voltarmos a ele como se estivéssemos "in loco", sempre que desejarmos.

Fatores de Sucesso

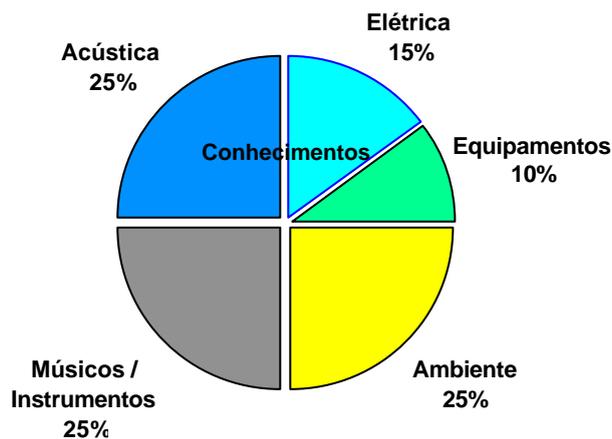


By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda.



Os fatores de sucesso para a realização de um projeto desta envergadura, envolvem, além de bons músicos e bons instrumentos (~25%), que são fundamentais, um ambiente apropriado para a gravação (~25%), e também profundos conhecimentos de gravação, microfonação, mixagem e masterização. As porcentagens indicadas são apenas orientativas, para se ter uma idéia das dimensões de cada área envolvida.

Fatores de Sucesso



By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda.

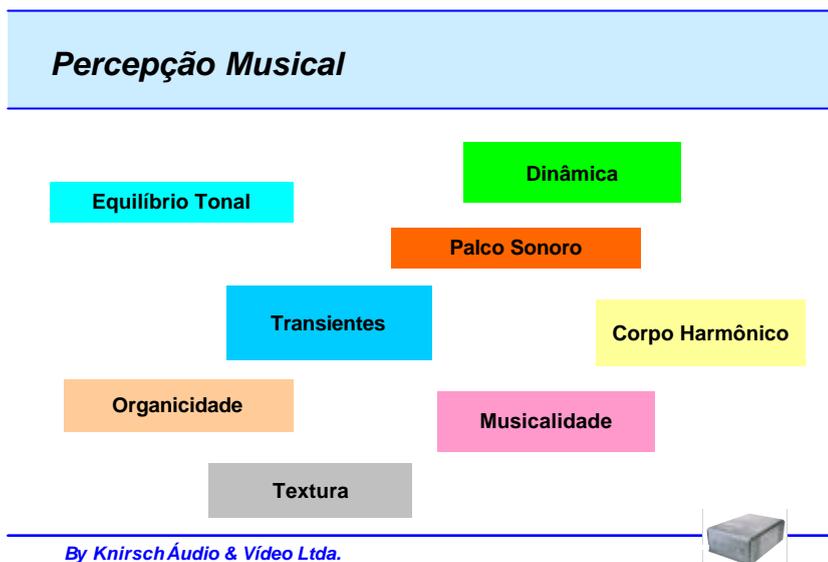


Os conhecimentos de **acústica**, necessários para a otimização de cada um dos ambientes envolvidos, perfazem 50% dos fatores de sucesso, visto que esses ambientes

poderão interferir grandemente no resultado final da gravação. Cada um desses locais possui características próprias, bem diferentes entre si, ou seja, **o ambiente ou estúdio** da gravação, com todo conhecimento necessário de microfonação, **a técnica**, para a mixagem, **a sala de masterização** e **a sala de audição crítica** para a avaliação do resultado final.

O próximo fator fundamental, para o nosso sucesso, é a instalação elétrica, embora normalmente lhe seja atribuída pouca relevância. Em terceiro lugar, vêm os equipamentos de gravação e reprodução, aos quais geralmente se atribui uma importância maior do que lhes é de fato devida. Por favor, não se prendam às porcentagens indicadas, pois são valores aproximados, inferidos da prática.

Os Harmônicos da Energia Elétrica no Áudio



Para se avaliar o resultado final de um CD, em uma sala de audição crítica, com equipamentos de referência, é preciso se ter uma excelente percepção musical. Para isto existem muitas metodologias, todas elas evidentemente subjetivas, sendo a utilizada pela revista americana "The Absolute Sound" uma das mais famosas, como também a da revista "Stereophile", também americana. Entre as européias estão as usadas pelas revistas "AUDIO" e a "Stereoplay", ambas alemãs e a da "Diapason" francesa. No Brasil temos a metodologia da revista "Áudio & Vídeo". Na transparência, apresentamos um mix destas várias metodologias.

A parte mais importante em uma avaliação sonora de uma mídia é, sem dúvida alguma, o **equilíbrio tonal**. Em outras palavras, é a reprodução de todas as faixas de frequências, graves, médios e agudos, com a mesma intensidade sonora e de forma equilibrada. Em seguida, vem o **palco sonoro**, que no CD pode ser criado durante a mixagem, em gravações multicanal ou, se for ao vivo, com o posicionamento dos microfones durante uma gravação em tempo real. O **palco sonoro** se compõe de diversos aspectos como: largura, profundidade, altura, lateralidade, recorte, focagem, planos, etc. que não abordaremos aqui. Em seguida vem o **corpo harmônico**, que representa a fidelidade e presença dos graves e dos grave-médios na reprodução, item no qual as ondas estacionárias de uma sala, controladas ou não, tem grande influência. Outro item importante é a **dinâmica**. Normalmente, a falta de dinâmica na reprodução costuma ser atribuída aos equipamentos, porém a acústica e a elétrica, com a criação do **palco sonoro**, são fatores

predominantes para a sua existência. A **dinâmica** é a capacidade de reprodução dos diferentes níveis sonoros, da mesma maneira como os percebemos durante a execução musical, mas agora em um certo volume por nós ajustado no nosso equipamento. Temos também os **transientes**, que são a capacidade do sistema conseguir reproduzir exatamente o ritmo tocado. Este item depende totalmente dos equipamentos utilizados e sua falta ocorre principalmente em equipamentos e sistemas de entrada. Não confundir com o significado técnico de transientes na eletrônica, que representa a variação de tensão ou de corrente no tempo. A **textura** é a capacidade do sistema reproduzir um conjunto musical ou orquestral com todas as suas nuances musicais. Um dos exemplos mais belos que existem de **textura** é o famoso bolero de Ravel, usado por ele nas suas aulas de composição, exatamente para mostrar as diferentes texturas que se pode criar. A **organicidade ou transparência** é a capacidade que o sistema de reprodução tem de nos dar a impressão de estarmos vivenciando o acontecimento musical como se ele estivesse realmente ocorrendo naquele momento. Aqui, quando nos referimos ao sistema de reprodução, estamos incluindo a mídia, a sala, a elétrica e todos os equipamentos. A organicidade depende de todos os outros fatores anteriormente apresentados. Finalmente, temos a **musicalidade** que é a reprodução como se fosse ao vivo, como se todos estivessem tocando naquele instante, razão suprema de ser de qualquer reprodução sonora e de imagem.

Os Harmônicos da Energia Elétrica no Áudio

Anomalias da Energia Elétrica

- EMI / RFI (Electromagnetic Interference/ Radio Frequency Interference)
- Spikes / Transientes de Chaveamento
- Sub- / Sobretensões →

110V – 115V – 120V – 127V	
220V – 230V – 240V – 254V	
Tolerância nominal média (ANEEL)	→ +5%
	-9%
- Perda de Neutro
- Variações de tensão →

Sags (afundamento de tensão) <90% <3s	
Swells (elevações de tensão) >110% <3s	
Flickers	
- Surtos de tensão (raios)
- Fator de Potência (defasagem tensão / corrente)
- Harmônicos → de corrente / de tensão → cargas → THD%

By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda.



A acústica, como vimos, tem uma influência marcante em todo este processo. Mas ao contrário do pensamento corrente hoje entre nós, como segundo fator fundamental de sucesso, logo depois da acústica, não vêm os componentes e equipamentos eletrônicos mas sim a situação da instalação elétrica, com a qualidade de energia que é fornecida aos equipamentos. Isto é importante já de início, a partir da gravação do evento e também depois, durante a mixagem e a masterização e, muito mais ainda, durante a audição crítica para a avaliação do resultado final. A qualidade da energia elétrica é importante em cada estágio do processo de gravação, porque ela poderá tornar a gravação de baixa qualidade. Em conjunto com a acústica, ambas têm sido as principais razões para o baixíssimo nível das gravações nacionais, em relação ao padrão internacional. Se, de um lado, temos

excelentes músicos e instrumentistas, de outro, temos enormes oportunidades de melhorar as nossas gravações, para atingirmos um padrão mínimo em relação ao nível internacional.

No quadro acima, estão as principais anomalias da energia elétrica. São oito itens listados. Enquanto que os seis primeiros são de ocorrências normalmente destrutivas, os dois últimos são impurezas, sujeiras que contaminam a energia elétrica. Para os seis primeiros itens, necessitamos de proteções efetivas e para os dois últimos são necessárias competentes filtragens.

As EMI/RFI (Eletromagnetic Interference / Radiofrequency Interference) são ondas eletromagnéticas existentes no ar, advindas da propagação de ondas de estações de rádio, televisões e celulares. Estas ondas podem entrar nos nossos equipamentos, ou melhor nos nossos sistemas, ser demoduladas e ouvidas juntamente com o evento musical que estamos apreciando. Por exemplo, a interferência de uma estação de rádio, sendo reproduzida simultaneamente com a música que estamos ouvindo. Estas interferências são as mais fáceis de serem eliminadas.

Quanto aos “*spikes*”, que são transientes de chaveamento, ou seja elevações de tensão de pequena duração, que ocorrem durante por exemplo, a comutação de bancos de capacitores para a correção do fator de potência ou, então, no simples ligar/desligar de um interruptor, são interferências que uma boa filtragem da energia elétrica consegue retirar.

Quanto às diferentes tensões existentes no Brasil, existem alguns problemas dignos de nota. Levando-se em conta a tolerância média especificada pela ANEEL de +5% e -9%, na tensão nominal de 127V, que deverá se tornar padrão entre nós, teremos que, com a tolerância máxima, esta tensão passará dos 130V. E, não raramente, em algumas regiões chega a 135V, tensão esta que muitos dos nossos equipamentos importados não suportam, trabalhando permanentemente sobre-aquecidos, o que leva a uma redução de suas vidas úteis, quando não os leva precocemente à queima. Neste caso, é necessário o uso de autotransformadores abaixadores, para reduzir a tensão nominal e, com isto, garantir a vida útil normal dos equipamentos de áudio/vídeo.

Uma próxima anomalia que costuma ocorrer entre nós, geralmente por desconhecimento, é a interrupção do neutro. Em instalações elétricas com duas fases, o neutro jamais deverá ser interrompido, seja por um fusível ou por um interruptor qualquer. Esta interrupção, quando involuntária, também poderá levar à queima de aparelhos. No nosso site: www.byknirsch.com.br encontra-se um artigo sobre o assunto com todos os detalhes.

As variações de tensão, onde ocorrem afundamentos e elevações da tensão com duração de até 3s, também são muito comuns entre nós e, da mesma forma, podem danificar os aparelhos.

O fator de potência será visto em uma figura específica mais adiante.

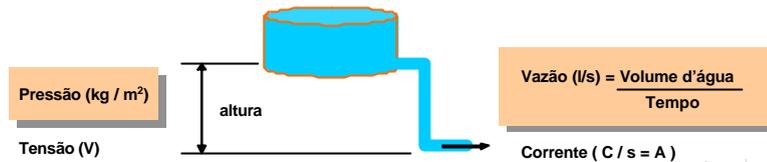
Chegamos agora à principal anomalia da energia elétrica, a nosso ver, que são os harmônicos, e que podem chegar a causar grande deterioração na qualidade da gravação e também na da reprodução. Os harmônicos são a razão desta palestra. Mostraremos a seguir o resultado de nossas pesquisas técnicas nesta área. Analisaremos como os harmônicos surgem e que efeitos provocam no resultado final de uma gravação em mídia. Não poderemos deixar de mostrar também os caminhos para a atenuação destes harmônicos, através de filtragens competentes da rede elétrica.

Rede elétrica

- Energia → Realização de Trabalho
- Energia / Tempo → Potência = Tensão x Corrente
- Energia → Tensão x Corrente x Tempo

Tensão = Pressão

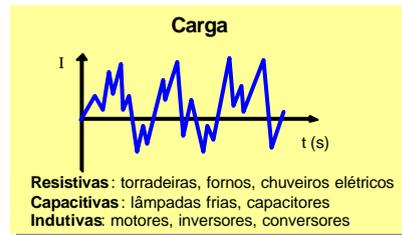
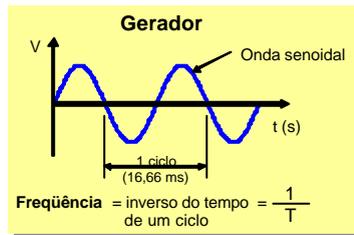
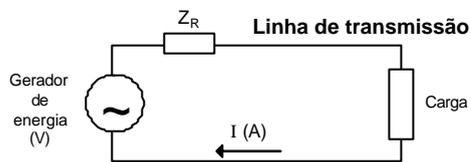
Corrente = Vazão



By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda.

Acima, apenas para relembrar, os conceitos de energia, potência, tensão e corrente, fazendo uma analogia com um sistema hidráulico, que é de compreensão mais fácil.

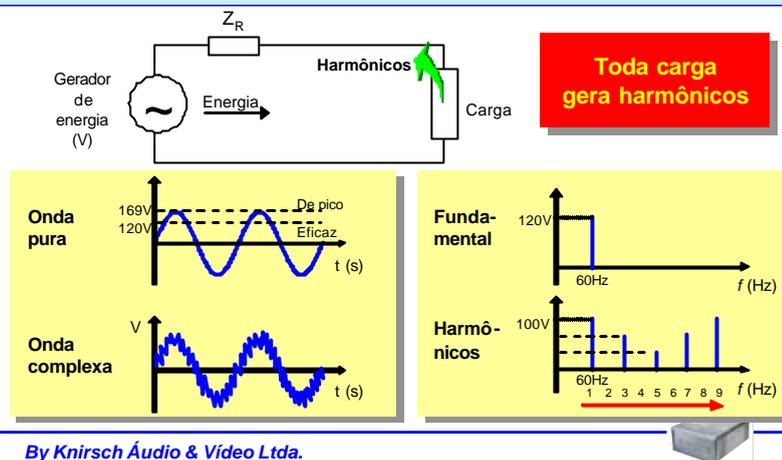
Energia elétrica



By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda.

A energia elétrica gerada em usina hidro- ou termo-elétrica é a mais pura que podemos obter.

Energia elétrica - Harmônicos

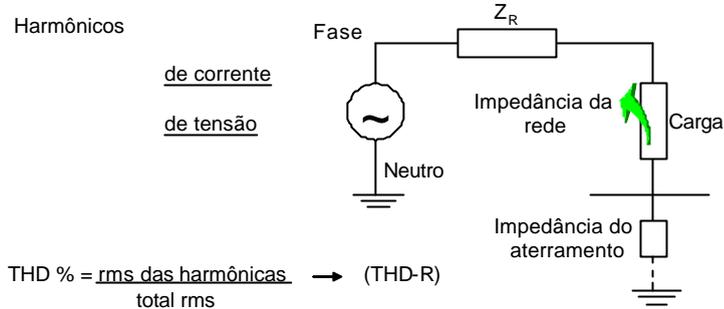


As cargas elétricas, que na verdade, nada mais são do que os inúmeros tipos de aparelhos elétricos que ligamos à rede elétrica, são os que geram os harmônicos. Estes harmônicos são ondas senoidais em corrente ou tensão, gerados pelas cargas e devolvidos à rede elétrica, criando ondas complexas de corrente e/ou tensão.

Existem dois grandes grupos de cargas: as lineares e as não-lineares. Entre as lineares estão as resistivas, as capacitivas e as indutivas e, evidentemente, as mais variadas composições entre estas três. As maiores e principais cargas deste grupo são, sem dúvida alguma, os motores, que são cargas indutivas. Outro aspecto importante é que a grande maioria dos equipamentos de áudio e vídeo possui um transformador na entrada de energia com um enrolamento ou uma bobina no primário, de forma que, estes equipamentos todos são cargas indutivas para a rede elétrica.

Entre as cargas não-lineares estão os conversores, inversores, computadores e *no-breaks*, que só surgiram mais recentemente, com a criação dos componentes eletrônicos mais modernos, como os tiristores e os triacs. Estas cargas geram um conteúdo de harmônicos muito elevado e são os grandes poluidores elétricos da nossa energia. Normalmente utilizam fontes chaveadas. Infelizmente, no Brasil, não existe nenhuma norma, na baixa tensão, como ocorre nos países do primeiro mundo, que controle este volume de harmônicos introduzidos na rede elétrica, gerados principalmente pelas indústrias. Temos apenas recomendações para o conteúdo harmônico na média tensão. Esta nossa política está propiciando, paulatinamente, um aumento do conteúdo harmônico da rede elétrica, prejudicando a qualidade de energia que recebemos e usamos. E a utilização desta energia de baixa qualidade traz como conseqüência o aumento da temperatura de funcionamento dos nossos aparelhos elétricos ligados a ela, o que pode causar uma redução da vida útil destes equipamentos. Em equipamentos de alta precisão, como em diversos aparelhos médicos, tem trazido alterações dos resultados medidos.

Harmônicos

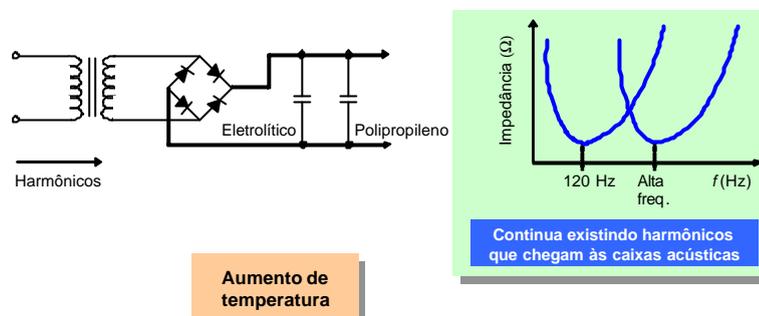


By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda.



Os harmônicos podem ser de corrente e de tensão. Estas distorções poderão ser medidas por um parâmetro chamado THD (Total Harmonic Distortion), ou seja, Distorção Harmônica Total. O THD é o quociente, expresso em porcentagem, da raiz quadrada da soma dos quadrados das tensões eficazes de cada harmônico, dividida pelo valor eficaz da fundamental. Poderemos obter estas tensões eficazes através de um analisador de redes elétricas como, por exemplo, o **Fluke Power Meter**, que mede a tensão, a corrente e a fase, por harmônicos, e nos indica o THD diretamente em porcentagem.

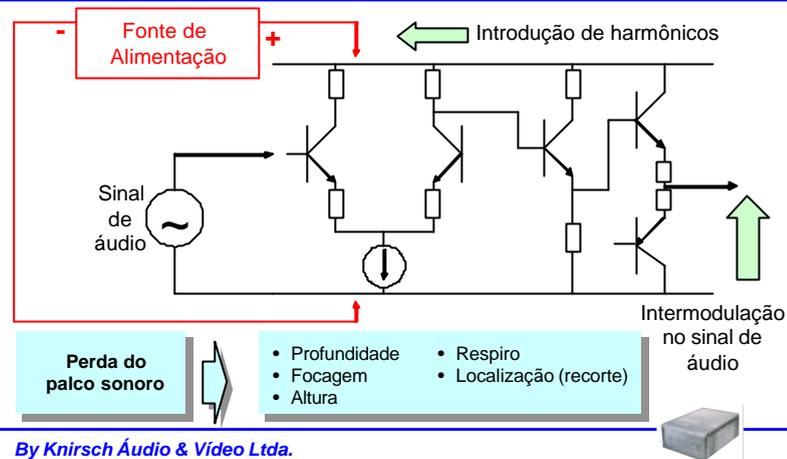
Conseqüência dos Harmônicos



By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda.

Nos nossos aparelhos de áudio e vídeo, a energia da rede elétrica é transformada, através de uma fonte de alimentação, em energia contínua, necessária para a alimentação das placas eletrônicas dos circuitos dos aparelhos. A fonte de alimentação se constitui normalmente de um transformador, que fica logo na entrada do aparelho, de uma ponte retificadora e de um circuito de filtragem, e ainda poderá haver um circuito de regulação de tensão. Assim como a fundamental da energia elétrica é retificada pela ponte retificadora, constituída de dois ou quatro diodos, assim também todos os harmônicos o serão da mesma maneira. Acontece que no circuito de filtragem, constituído normalmente por capacitores, a filtragem não é completa e resquícios dos harmônicos permanecem no *ripple* da tensão contínua que irá alimentar todos os circuitos eletrônicos. Mesmo com circuitos de regulação, ainda é possível constatar harmônicos na tensão contínua de saída.

Conseqüência dos Harmônicos



Esta tensão contínua, com o seu *ripple*, inclusos aí os resquícios dos harmônicos da energia elétrica, vai alimentar os circuitos de amplificação dos sinais de áudio e vídeo e estes harmônicos irão se sobrepor ao sinal de áudio/vídeo por intermodulação. Portanto, adicionado ao sinal de vídeo e de áudio amplificados, existirão sinais espúrios, vindos das fontes de alimentação e que vão criar as colorações no som e na imagem. Neste instante ocorrerão alterações do sinal original, causadas pela qualidade da tensão contínua dos aparelhos. Estas colorações irão alterar o palco sonoro, tanto da imagem quanto do som, levando à falta de profundidade e de focagem. Na parte da reprodução sonora, as colorações acabarão fazendo com que o acontecimento musical se desenrole nas caixas acústicas, não permitindo a criação do palco sonoro. Quanto à imagem, esta se tornará bidimensional.

Coloração do som

- Harmônicos reproduzidos que não fazem parte do original (discos CD, LP, imagem)
- Podem surgir da rede elétrica, da acústica ou dos equipamentos

By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda.



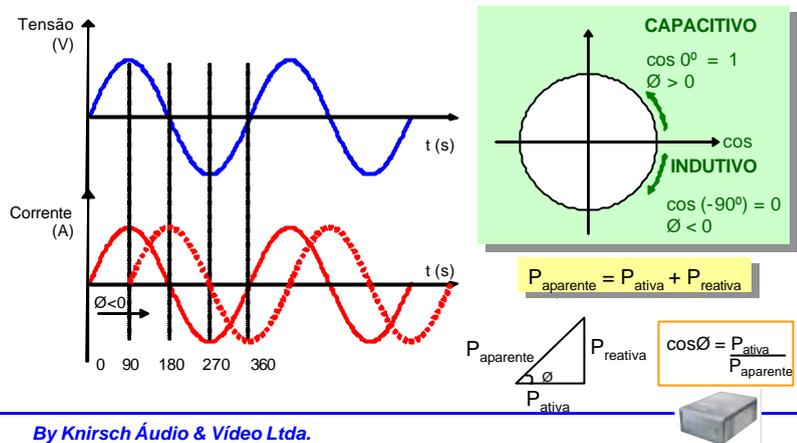
As colorações da rede elétrica são alterações por intermodulação, no sinal de áudio e vídeo, causadas pelos resquícios dos harmônicos da energia elétrica que alimenta os aparelhos eletrônicos. Estudos profundos sobre este assunto foram feitos pelos fabricantes **Mark Levinson** e **Jeff Roland**. A **Mark Levinson** procurou estudar todos os tipos de fontes de alimentação e chegou à conclusão que, mesmo com a melhor regulação possível, ainda não conseguiria retirar todos os vestígios da rede elétrica original. Então o que ela fez? Retificou a tensão da rede elétrica, transformando-a em tensão contínua e depois voltou a oscilar uma nova tensão alternada, para novamente retificar e obter uma nova tensão contínua limpa. Em outras palavras, ela foi, voltou, e criou um novo DC pela segunda vez. Ao fazer isso, a redução de harmônicos foi drástica. Esta solução resolveu o problema dos harmônicos, mas criou dois novos desafios. O primeiro, por se tratar de circuitos em série com a rede, ficou muito difícil manter a neutralidade do som no sistema e, em segundo lugar, esta solução resultou extremamente onerosa, pois utiliza muitos componentes que precisam ser de altíssima qualidade. A **Mark Levinson** usa este sistema nos seus *powers* 33 e 33H.

A **Jeff Roland** já se enveredou por dois outros caminhos. Um deles foi o uso de baterias. Embora a bateria apresente um nível de tensão contínua muito limpo (mas tem ruídos também!), esta nova solução envolve outros desafios a serem vencidos. Logo de início, é necessário se garantir uma reserva a mais de capacidade em AH (Ampère-Hora), para que a qualidade do DC seja realmente boa. Isto faz com que o volume e o peso das baterias fiquem muito grandes. Outro problema é o sistema de recarga das baterias, que precisa ser muito sofisticado, para aumentar a vida útil destes equipamentos.

A outra solução pesquisada e implementada pela **Jeff Roland** foi o uso de fontes de alimentação chaveadas. Nós mesmos já publicamos um artigo a respeito de fontes chaveadas, com muitos detalhes técnicos. Estas fontes, muito leves e de baixo custo, trabalham com frequências mais altas, o que torna a filtragem um pouco mais simples, porém o problema não fica totalmente resolvido com relação ao som e à imagem, de forma que não vêm a ser uma solução audiófila.

Fator de Potência

Defasagem entre Tensão e Corrente



By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda.

O fator de potência, que é o valor co-seno da defasagem entre a tensão e a corrente consumida pelo nosso sistema de áudio/vídeo, tem grande influência no equilíbrio tonal e na dinâmica do resultado sonoro final. Poucos equipamentos, entre os amplificadores de áudio/vídeo de alto nível, possuem correções internas do fator de potência.

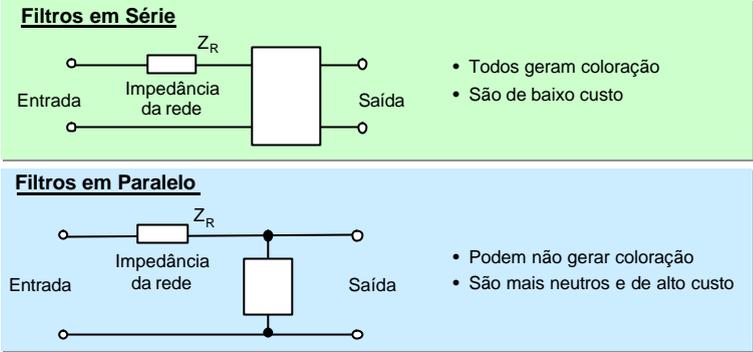
Filtragem da Rede Elétrica

Limpeza da rede elétrica	<ul style="list-style-type: none"> - Redução dos harmônicos da rede - Correção do fator de potência do sistema
Proteção	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminação de transientes, transitórios e spikes - Proteção contra raios e anomalias da energia elétrica - Proteção contra sobretensões e subtensões - Falta de energia

By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda.

Uma filtragem da rede elétrica deverá oferecer dois importantes aspectos. Em primeiro lugar, a redução dos harmônicos da rede elétrica, ou seja, a redução do THD, acompanhado de uma possibilidade de correção do fator de potência. E, em segundo lugar, uma eficiente proteção contra as anomalias aperiódicas da energia elétrica.

Componentes eletrônicos de filtragem

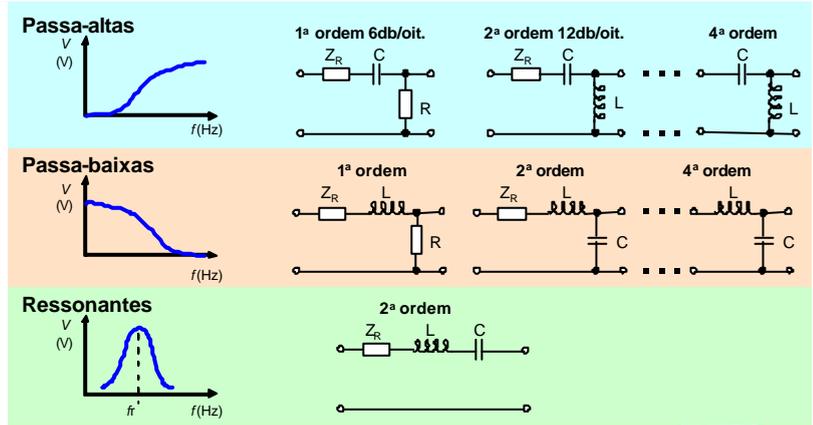


By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda.



Existem dois grandes grupos de filtros que poderão ser aplicados à rede elétrica: os filtros com componentes em série com a rede elétrica e os filtros com componentes em paralelo com a rede elétrica.

Filtros em série



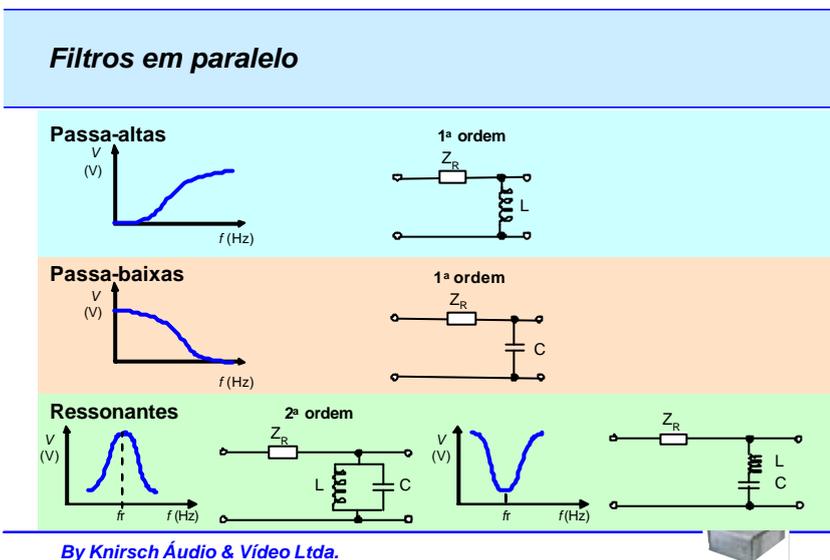
By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda.



Acima temos alguns exemplos de filtros com componentes em série com a rede elétrica. Entre todos eles, os mais usados pelos fabricantes são os filtros passa-baixas, principalmente os de segunda ordem. Em extensas e profundas análises que realizamos quanto à aplicação destes filtros com componentes em série, para a filtragem da rede elétrica, na alimentação de equipamentos de áudio e vídeo, observamos que, ao mesmo tempo em que ocorre uma filtragem de uma certa faixa de harmônicos, normalmente em altas frequências, novas colorações são criadas e injetadas na rede elétrica em outras

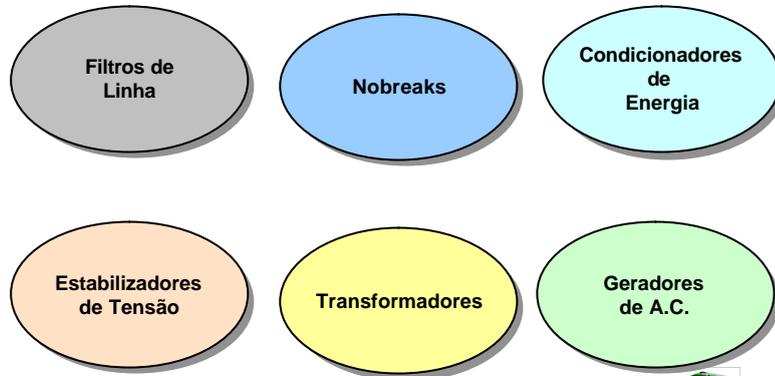
regiões do espectro audível, prejudicando a reprodução do som e da imagem. Como toda carga gera harmônicos e como os componentes em série têm a característica de aumentar a impedância da linha, vimos que a influência destes harmônicos, somada ao aumento da impedância da linha, traz grandes alterações ao sinal original da imagem e do som, acarretando uma deterioração marcante no sinal original de áudio e vídeo. Todas as nossas análises e pesquisas mostraram que, mesmo confeccionando os componentes em série com a mais alta tecnologia possível e com a mais baixa impedância praticável, não se consegue evitar a introdução de uma coloração indesejável. **Portanto concluímos que, em sistemas de altíssima qualidade de gravação e reprodução de imagem e som, não é recomendável o uso de componentes em série com a rede elétrica, com o risco de se introduzir colorações indesejáveis no sinal eletrônico da mídia de forma permanente.**

Os Harmônicos da Energia Elétrica no Áudio



Entre os filtros com componentes em paralelo com a rede elétrica, os passa-baixas são muito usados, assim como alguns filtros ressonantes que se prestam bem a esta finalidade.

Aparelhos de filtragem

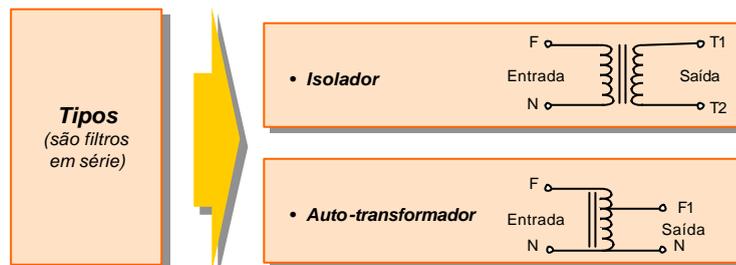


By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda.



Vamos aqui comentar os principais aparelhos de filtragem que existem no mercado. São eles: os filtros de linha, *nobreaks*, transformadores, estabilizadores de tensão, geradores de AC, e condicionadores de energia. Existem alguns aparelhos que usam adaptações de baluns de ferrite, que vamos comentar junto com os transformadores.

Transformadores



- Retiram harmônicos acima de 8 kHz
- Introduzem muita coloração em baixas frequências de 100 a 500 Hz
- Os auto-transformadores têm menos coloração

By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda.



Os transformadores são componentes elétricos, colocados em série com a rede elétrica que, além de transformar os níveis de tensão, também têm propriedades de filtragem. Conseguem retirar harmônicos da rede somente a partir de 8KHz. Quando os conectamos aos sistemas de áudio e vídeo, surgem mudanças sonoras que, de início, podem parecer até muito agradáveis, pois a primeira impressão que nos dão é que o som

fica mais limpo na parte das altas frequências e, na parte dos médios baixos, surge um volume sonoro maior, o que em consequência aumenta o corpo harmônico. Este resultado pode variar de sistema para sistema. Mas, à medida que realizamos audições mais críticas, vamos percebendo que os discos são reproduzidos com uma característica tonal muito semelhante entre si e isso, com o passar do tempo, pode causar fadiga auditiva. Este fenômeno se explica pelo fato dos transformadores serem circuitos elétricos em série e, portanto, introduzem novos harmônicos. Neste caso, em baixas frequências, em torno de 100 a 500Hz, surgem colorações na rede elétrica. Entre os dois tipos básicos de transformadores existentes, os isoladores e os autotransformadores, são os autotransformadores que trazem menor coloração. O volume de coloração introduzida dependerá muito do cuidado na construção eletromecânica destes componentes e do projeto elétrico. Em princípio, estes aparelhos devem ser evitados sempre que possível. Muitos estúdios, inclusive em nível internacional, usam transformadores isoladores de alta potência na relação 1:1, na entrada da energia elétrica, muitas vezes com o objetivo de tornar a rede elétrica balanceada. Este procedimento apresenta muitos pontos negativos, pois normalmente aumenta o THD da linha elétrica e pode se tornar audível na mídia gravada. A rede elétrica balanceada traz muito pouco benefício pois, com a necessidade da introdução de um transformador isolador, acaba introduzindo também colorações em baixa frequência e aí as vantagens praticamente se anulam. A colocação em série com a rede elétrica traz mais prejuízos do que vantagens à mídia gravada e, portanto, deve ser evitada a todo custo.

Outra prática que está ocorrendo agora no mercado é a adaptação do uso de baluns com núcleos de ferrite para a energia elétrica. Neste caso, a situação se agrava ainda mais, porque além do uso do princípio do balun, que nada mais é do que bobinas em série/paralelo adaptadas à rede elétrica, o uso do ferrite introduz novas colorações nos agudos, tornando a gravação/reprodução da mídia metálica. O resultado é falta de neutralidade no sinal de áudio e vídeo da mídia.

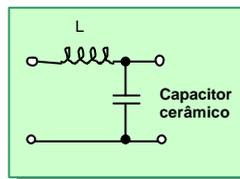
Os Harmônicos da Energia Elétrica no Áudio

Filtros de linha

Tipos

- Formato de uma régua
- Com tomadas de uso específico

- Não eliminam harmônicos (são muito leves)
- Eliminam transientes, spikes (100 kHz a 300 kHz)
- Usam filtros série passa-baixas de 2ª ordem
- Coloração de 3 kHz a 12 kHz: Metalizam os agudos
- Usam transformadores isoladores em algumas tomadas



By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda.



Sem dúvida nenhuma, entre os diversos aparelhos de filtragem existentes no mercado, os mais largamente usados e divulgados são os já famosos **filtros de linha**. Estes, via de regra, são usados como extensão de tomadas e possuem internamente um filtro série passa-baixas de 2.a ordem. Usam uma pequena bobina de ferrite e um capacitor que chega,

em alguns casos, a ser de cerâmica. Estes componentes em série produzem uma coloração típica que é a metalização dos agudos, muito comum em grande parte dos CDs gravados no Brasil. Em alguns poucos casos, são usados também transformadores isoladores, criando a também típica coloração nos médios baixos. Esta é a filtragem mais empregada entre nós e a mais perniciosa para a rede elétrica em todos os aspectos.

Os Harmônicos da Energia Elétrica no Áudio

Estabilizadores de tensão - Nobreaks

- **Construídos com transformadores isoladores com tapes (em série)**
- **Possuem a mais alta coloração entre os aparelhos de filtragem**
- **Não recomendados para áudio e vídeo**

By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda.



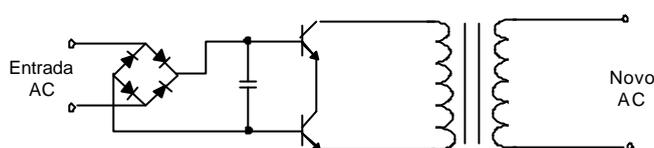
Todos os **estabilizadores de tensão** utilizam-se de transformadores isoladores e, portanto, sofrem dos mesmos problemas destes componentes. Na verdade, como muitos modelos se utilizam de tapes (derivações no secundário), o volume de harmônicos é maior ainda. Existem outros que trabalham com o assim chamado núcleo saturado, que permite alguma limitação para tensões maiores, mas estes são ainda mais ricos na geração de harmônicos. Os **estabilizadores de tensão** são, sem dúvida, dos aparelhos de filtragem que mais harmônicos injetam na rede e não deveriam ser utilizados em nenhum sistema de áudio/vídeo. Como não existe uma solução eletrônica neutra para se estabilizar a tensão, a não ser através de componentes em série com a própria rede, conseqüentemente todas as possibilidades são problemáticas, por gerarem harmônicos. E também pelo fato de haver um aumento da impedância da linha, temos mais ainda que procurar uma alternativa. Uma possibilidade seria a de se fazer um circuito eletrônico em paralelo, capaz de controlar os valores máximos e mínimos da tensão, de modo a poder desligar o sistema caso necessário. Por isso recomendamos, como função relevante dos aparelhos de filtragem, não a estabilização da tensão, mas sim a proteção do sistema contra sobretensões e subtensões, ou seja, através de um controle dos limites máximos e mínimos permitidos.

Acrescento aqui também os tão comentados **nobreaks**. São muito falados no mercado e muitos estão usando estes aparelhos, sem ter realmente idéia de como eles funcionam. Além de utilizarem transformadores isoladores, como os estabilizadores de tensão, geram um novo AC, a partir de baterias, normalmente através de um comando digital em PWM. Porém a onda gerada, na maioria destes aparelhos, é uma onda quadrada e não

uma onda senoidal, como deveria ser, com filtros agregados para reduzir um pouco os harmônicos. Mesmo nos aparelhos que se dizem gerar uma onda senoidal, esta não é pura e tem um conteúdo harmônico muito alto, chegando até a ser proibitivo seu uso. De todos os aparelhos comentados, estes apresentam o maior conteúdo harmônico.

Os Harmônicos da Energia Elétrica no Áudio

Geradores de AC



Desvantagens:

- É um filtro série - Pode ter coloração
- Baixa potência
- Alto custo

Vantagem:

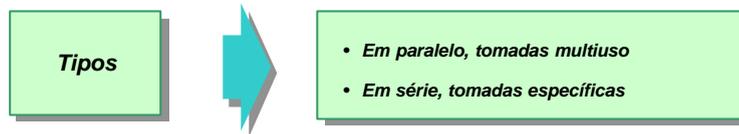
- Reduz harmônicos

By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda.



O **gerador de AC** transforma a energia alternada da rede em energia contínua, para então gerar uma nova energia alternada. Este processo reduz bastante os harmônicos da rede, quando o AC é gerado de forma analógica, porém como são aparelhos com componentes em série, geram novos harmônicos. Existem processos e tecnologias que conseguem significativas reduções nos níveis de harmônicos. Dentre todos os aparelhos de filtragem, são os de custo mais elevado, quando os analisamos do ponto de vista do custo por KW de potência disponível que eles podem oferecer ao nosso sistema.

Condicionadores de energia



- Podem atender os itens de filtragem de AC
- Podem atender os itens de proteção

By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda.



E aqui entramos na análise dos **condicionadores de energia**. Alguns destes aparelhos podem atender às seis funções que apresentamos para os aparelhos de filtragem. São equipamentos que, de modo geral, nos oferecem a filtragem do AC e a proteção dos nossos equipamentos. Existem dois grandes grupos de condicionadores de energia: um com tomadas específicas e com componentes em série e outro grupo, bem menor, com tomadas multiuso e componentes em paralelo. Os condicionadores de energia com componentes em série, pelas razões acima apresentadas, geram um volume de harmônicos muito alto. Os que utilizam circuitos em paralelo, apresentam várias topologias, como vimos anteriormente, e podem ser muito potentes, permitindo uma drástica redução dos harmônicos, principalmente daqueles de baixas frequências, que são os mais difíceis de serem retirados e que trazem maior coloração para o nosso som. Estes condicionadores de energia podem reduzir os harmônicos, com um resultado sonoro muito neutro. Como são filtros específicos para uma dada tensão da rede, não permitem bivoltagem. O que acontece também é que, para atender às quatro últimas funções de proteção indicadas, de maneira correta, o condicionador deve ser destinado apenas a uma tensão da rede. Portanto, devem ser evitados os aparelhos que são de bivoltagem, pois não poderão atender a todas as funções necessárias.

Alguns condicionadores de energia apresentam uma característica que é muito interessante aqui no Brasil. Como vocês sabem, de vez em quando a energia elétrica cai e, quando retorna, pode voltar no primeiro instante com uma tensão mais alta, eventualmente queimando algum aparelho. Estes condicionadores possuem um dispositivo interno que, na queda da tensão da rede, se desligam automaticamente e não religam quando a energia retorna, de forma a proteger todo o nosso sistema. Eles religam apenas manualmente. Esta é uma característica muito importante que já salvou muitos sistemas por aí

ORIENTAÇÕES PRÁTICAS

Os Harmônicos da Energia Elétrica no Áudio

Recomendações gerais para redução de harmônicos

- Menos é Mais.
- Utilize fiação dedicada e separada (duas fases: neutro, terra).
- Prefira fusíveis no lugar de disjuntores (Áudio – Alemanha).
- Para fases e neutro utilize fiação sólida, para aterramento utilize fiação flexível (Efeito Skin / pelicular).
- Contatos por pressão, evite soldas.
- Melhore o aterramento do neutro. O neutro não deve ser interrompido!
- Use aterramento TT para o sistema com proteção.
- Evite transformadores e filtros de linha.
- Utilize extensões neutras e minimalistas.
- Utilize condicionadores de energia com componentes em paralelo.

By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda.



- Fazendo um fechamento da nossa palestra: **menos é mais**, ou seja, em caso de dúvida e falta de conhecimento do que fazer com a energia elétrica, é melhor não fazer nada, não acrescentar nada à rede elétrica, pois o risco de se aumentar o conteúdo harmônico da energia elétrica é muito maior sem um conhecimento detalhado da situação. Em seguida, colocamos um guia prático, em ordem simples e econômica, para ser seguido na otimização de instalações elétricas.
- A utilização de uma fiação dedicada saindo da entrada do estabelecimento para os equipamentos de áudio e vídeo é recomendável, pelo fato de reduzir um pouco a contaminação de harmônicos no sistema de áudio/vídeo a ser alimentado.
- Como disjuntores e fusíveis são componentes de proteção utilizados em série com a rede elétrica, os que tiverem menor impedância, ou seja os fusíveis, deverão ser empregados nas aplicações de alimentação elétrica para áudio e vídeo. Portanto, em todos os circuitos destinados ao áudio e vídeo deveremos dar preferência ao emprego de fusíveis. Isto é muito pertinente, principalmente em estúdios. A razão para isto é que os elementos interruptores nos fusíveis, normalmente chamados de elos-fusíveis, possuem impedâncias menores do que a soma da bobina de curto-circuito e das resistências dos bimetálicos dos disjuntores.
- A fiação dedicada para a alimentação dos equipamentos deverá empregar fios sólidos, também chamados de fios rígidos, para a fiação das fases e do neutro e fiação flexível para o aterramento. Os fios sólidos, em comparação com os cabos flexíveis de mesma bitola, apresentam um aumento maior da impedância em altas frequências, devido ao efeito *Skin*, também chamado de efeito

pelicular. Esta característica dos fios sólidos corrobora na redução do fluxo dos harmônicos pela rede elétrica.

- Os contatos elétricos realizados por pressão dos elementos apresentam resistências mais baixas do que os contatos soldados. Portanto, nas emendas da fiação elétrica da rede, é recomendável se evitar soldas com estanho/chumbo.
- É importante melhorar o aterramento do neutro da nossa rede elétrica, pela razão de ser preponderantemente uma rede elétrica aérea e, por isto, com aterramento do neutro insuficiente!. A confecção de uma malha de aterramento na superfície do estabelecimento é muito recomendada, para abaixar a impedância do neutro, o que colabora com a estabilidade da tensão elétrica e reduz o ruído drasticamente.
- O aterramento do terra deverá ser feito conforme a norma NBR5410 em TT, por dentro do aterramento do neutro, para aumentar a segurança e reduzir o ruído. No quadro geral de entrada, principalmente de estúdios, onde estão o neutro e o terra, poderemos montar um sistema que permita transformar o aterramento TT em TN, quando o estúdio não estiver sendo usado.
- Recomendamos que seja evitado o uso de transformadores, filtros de linha, estabilizadores de tensão, *nobreaks*, ferrites envolvendo cabos de força, pelo fato de serem os maiores introdutores de harmônicos na rede elétrica.
- Quando necessário, o melhor é usarmos somente extensões neutras e minimalistas.
- Para a filtragem, finalmente, o ideal é utilizarmos condicionadores de energia com todos os componentes em paralelo.

Agradeço a atenção de todos vocês!! Muito Obrigado!!