

MEDIÇÃO DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS EM AMBIENTES CONSTRUÍDOS

Lorenzo Coiado (1); Luiza Higino (2); Wendler Zacariotto (3); Lia Mota (4); Alexandre Mota (5);

(1) Engenheiro Eletricista, Mestrando bolsista CAPES do Programa de Pós Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, lorenzo.cc@puccampinas.edu.br, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Rodovia Dom Pedro I, km 136, CEP 13086-900, Campinas (SP), Brasil, +55-19-3343-7177

(2) Graduanda em Engenharia Elétrica, luiza.hss@puc-campinas.edu.br, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Rodovia Dom Pedro I, km 136, CEP 13086-900, Campinas (SP), Brasil, +55-19-3343-7177

(3) Graduando em Engenharia Elétrica bolsista PIBITI-CNPq, wendler.az@puc-campinas.edu.br, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Rodovia Dom Pedro I, km 136, CEP 13086-900, Campinas (SP), Brasil, +55-19-3343-7177

(4) Professora Doutora, Docente permanente do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Elétrica, Docente permanente do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sistemas de Infraestrutura Urbana, lia.mota@puc-campinas.edu.br, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Rodovia Dom Pedro I, km 136, CEP 13086-900, Campinas (SP), Brasil, +55-19-3343-7177

(5) Professor Doutor, Docente permanente do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Docente permanente do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Elétrica, amota@puc-campinas.edu.br, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Rodovia Dom Pedro I, km 136, CEP 13086-900, Campinas (SP), Brasil, +55-19-3343-7177

RESUMO

O conforto humano é um dos aspectos fundamentais em edificações sustentáveis e tem ganhado grande valor com as certificações ambientais existentes, como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e o AQUA (Alta Qualidade Ambiental). Os campos eletromagnéticos correspondem a um fator de conforto ainda pouco abordado em certificações, sendo fundamental nas questões de saúde humana. As dificuldades encontradas para o estudo dos campos eletromagnéticos estão relacionadas às técnicas de análise e mitigação das emissões de campo nos ambientes construídos. Neste trabalho, foram monitoradas as radiações de campo eletromagnético nas edificações da Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Utilizando um método de calibração desenvolvido em laboratório, foi possível levantar curvas características de campos eletromagnéticos dispersos no ar. Os resultados finais permitiram concluir que existem radiações nos pontos de monitoramento e que é necessário desenvolver técnicas construtivas para tentar minimizar a influência destes campos na saúde humana.

Palavras-chave: edificações sustentáveis, certificações ambientais, campos eletromagnéticos.

ABSTRACT

The comfort of Human Beings is one essential aspect in sustainable buildings and has gained value with existent environmental certifications such as LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) and AQUA (Alta Qualidade Ambiental). The electromagnetic field is not a well discussed comfort issue in certifications which it is relevant in matters of human health. The difficulties to study the electromagnetic fields are related to the built environment emission mitigation and technical analysis. In this work, radiations from the buildings of Pontifical Catholic University of Campinas were monitored. Using an empirical method of calibration, specific curves of electromagnetic fields dispersed into the air were monitored. The final results led to the conclusion that there are radiations in the monitoring points and the development of constructive techniques to minimize the influence of these fields in human health is necessary.

Keywords: sustainable buildings, environmental certifications, electromagnetic fields.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos sessenta e cinco anos, a população mundial quase triplicou, passando de 2,5 bilhões de pessoas em 1950 para 7,3 bilhões hoje em dia e com previsão de continuar crescendo até o ano de 2070 de acordo com as projeções demográficas (WORLDWATCH, 2007). O crescimento populacional vinculado à urbanização tem gerado reflexões a respeito da necessidade de rever o uso de energia elétrica pela população e as implicações que podem causar em relação à sustentabilidade. Foi possível observar, com o passar dos anos, que a utilização da energia elétrica está em curva ascendente e que isto pode vir a gerar um colapso de fornecimento. Isso é causado, em parte, pela variedade e quantidade de aparelhos elétricos e eletrônicos disponíveis e instalados nas edificações. Um edifício sustentável é aquele que, além de consumir menores quantidades de energia, deve prover o conforto aos usuários (LAMBERTS, 2004). Desse modo, tem aumentado a busca por certificações que avaliem o desempenho ambiental das edificações, considerando as concepções arquitetônicas hoje desenvolvidas (BUENO, 2010).

Dentre as existentes, pode-se citar como referência duas das certificações mais utilizadas no Brasil, o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e o Processo AQUA (Alta Qualidade Ambiental). O LEED é uma certificação desenvolvida nos Estados Unidos e o AQUA é baseado na certificação francesa HQE (*Haute Qualité Environnementale*) (LEITE, 2011). Ambos os sistemas tem características em comum, como a ideal utilização da água, controle da emissão de gás carbônico, gestão de resíduos e conforto para os usuários. Tendo os Estados Unidos uma grande preocupação com a eficiência energética, o LEED foca sua liderança na sustentabilidade energética de edificações. Por outro lado, a certificação AQUA foi pioneira na preocupação do conforto relacionado às emissões eletromagnéticas, apontando a necessidade de se ter boas práticas na utilização de equipamentos geradores de campos eletromagnéticos (PUGLIERO et al, 2015, p.216).

Em Sistemas de Telecomunicações (530 kHz – 15,35GHz) existe a preocupação com a radiação eletromagnética gerada pelas redes Wi-Fi e telefones regulares, principalmente para redes sem fio, uma vez que estão sendo cada vez mais utilizadas. Já no campo Energia (50 – 60 Hertz), existe grande preocupação dos campos gerados pela frequência de 60 Hertz, que estão presentes em transformadores, condutores energizados, chuveiros elétricos etc. A principal dificuldade do monitoramento do campo eletromagnético é a ausência de uma metodologia eficaz para a medição destes agentes que estão dispersos no ar (GHIONE et al, 2005).

No Brasil, existe uma normatização ABNT NBR 15415/2006 que estabelece limites de exposição, para o público geral, considerando as faixas de 50 a 60 Hertz, porém não apresenta procedimentos claros de medição deste risco (ABNT, 2006). A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) apresentou a Resolução Normativa Nº 398, de 23 de Março de 2010 sendo que em seu texto pode-se destacar: “Os agentes de transmissão devem, até o final da fase de comissionamento de novos empreendimentos, adicionar à documentação exigida pela ANEEL o memorial de cálculo ou o relatório das medições dos campos elétrico e magnéticos” (ANEEL, 2010). Ou seja, ressalta-se a importância quanto o monitoramento das emissões eletromagnéticas nas novas edificações.

Nesse contexto, é possível afirmar, de uma maneira geral, que as tratativas do conforto humano em relação ao campo eletromagnético gerado pelas edificações são ainda incipientes no Brasil.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é monitorar a radiação de campos eletromagnéticos existentes em ambientes construídos na Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas), para a faixa de 60 Hertz (Campo Energia).

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em três etapas principais:

- a. Monitoramento de edificações, realizando medições do Campo Eletromagnético;
- b. Calibração da Antena a partir de um transformador;
- c. Análise da sensibilidade da Antena para a aferição do campo Energia.

3.1. Monitoramento de edificações

A medição do campo eletromagnético foi realizada no Campus I da PUC-Campinas com o auxílio de uma antena desenvolvida nessa Universidade. Foram escolhidas edificações dentro da Universidade com maior possibilidade de incidência de campo eletromagnético e de grande fluxo de pessoas.

3.1.1. Ponto 1 de Monitoramento

3.1.1.1 Caracterização do ambiente

O Ponto 1 de monitoramento localiza-se paralelamente à Avenida Professora Ana Maria Silvestre Adade, conforme Figura 1. Neste local, existe um estacionamento de funcionários e, em seu entorno, algumas das edificações utilizadas pela graduação e administração como laboratórios de química, laboratório de instalações elétricas, salas administrativas, auditório, conforme ilustrado na imagem de satélite da Figura 2. A presença de pessoas da comunidade universitária nesses ambientes é constante.



Figura 1– Localização do primeiro Ponto de monitoramento



Figura 2– Imagem de Satélite do Ponto 1

3.1.1.2 Medições do ambiente

O monitoramento foi feito no estacionamento a partir do marco zero, conforme ilustrado na Figura 3. O motivo da escolha deste ponto deve-se à observação de uma casa de transformador neste ambiente, sendo um potencial de emissão de campos eletromagnéticos para as edificações presentes no local. Na medição, direcionou-se a antena de forma linear para a casa de transformador e para o prédio mais próximo; que é o edifício onde estão localizados os laboratórios de química. A antena foi posicionada a 20 metros da casa de transformadores e a 32,26 metros da edificação. A princípio, foram desconsideradas eventuais interferências causadas pelo ambiente externo a faculdade. A Figura 4 ilustra a antena posicionada no local de medição.



Figura 3 – Distância do Ponto 1 em relação ao ambiente construído



Figura 4– Posicionamento da antena no local de medição – Ponto 1

3.1.2. Ponto 2 de Monitoramento

O Ponto 2 de monitoramento localiza-se numa das regiões de maior circulação de pessoas, sendo um dos pontos centrais da Universidade, conforme Figura 5. Neste espaço, está localizada a praça de alimentação que em seu ambiente tem dois restaurantes, três lanchonetes, duas lojas de fotocópia e encadernação e duas papelarias. Em seu entorno, existem várias edificações como a biblioteca, salas de aula do Centro Tecnológico, salas de aula dos blocos H9 ao H14, laboratório de instalações elétricas, laboratório de meio de transmissão, laboratórios de física, conforme ilustrado na imagem de satélite da Figura 6.



Figura 5– Localização do segundo Ponto de monitoramento



Figura 6– Imagem de Satélite do Ponto2

3.1.2.1 Medições do ambiente

O monitoramento foi feito no interior da praça de alimentação a partir do marco zero, conforme ilustrado na Figura 7. A escolha deste ponto deve-se à observação do grande fluxo de pessoas no local, devido à variedade e quantidade de comércios no ambiente e pela presença de uma casa de transformadora bem próxima à edificação. Na medição, posicionou-se a antena de forma linear para a praça de alimentação, quem tem 56,5 metros de comprimento e para a casa de transformador que está localizada a 24,08 metros do marco zero. A Figura 8 ilustra a antena posicionada no local de medição.



Figura 7– Distância do Ponto2 em relação ao ambiente construído e a casa de transformadores



Figura 8– Posicionamento da antena no local de medição – Ponto 2

3.1.3. Ponto3 de Monitoramento

O Ponto3 de monitoramento localiza-se numa rua no interior na Universidade, conforme Figura 9. Existe, neste ambiente, uma boa circulação de pessoas e de carros administrativos. Neste espaço, está localizada a capela, um depósito e várias salas de aula, conforme ilustrado na imagem de satélite da Figura 10.

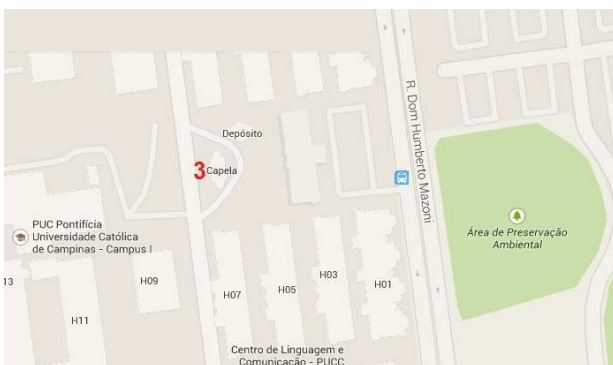


Figura 9– Localização do terceiro Ponto de monitoramento



Figura 10– Imagem de Satélite do Ponto2

3.1.3.1 Medições do ambiente

O monitoramento foi feito na rua a partir do marco zero, conforme ilustrado na Figura 11. A escolha deste ponto deve-se à observação do grande fluxo de pessoas no local e pela presença de uma casa de transformadora bem próxima à edificação. Na medição, posicionou-se a antena de forma linear a 7,92 metros da capela, e a uma distância de 53 metros da casa de transformadores. A Figura 12 ilustra a antena posicionada no local de medição.



Figura 11– Distância do Ponto3 em relação ao ambiente construído



Figura 12– Posicionamento da antena no local de medição – Ponto 3

3.1.2. Medições na edificação

Para o monitoramento das edificações, foi utilizada uma antena projetada para captar baixas frequências, conforme ilustrado na Figura 13.

A antena tem em suas dimensões 2,24 metros de altura em relação ao solo por 1,15 metros de largura. Em sua estrutura, foi utilizado cano de PVC marrom de 40 mm, 6 luvas soldáveis de PVC marrom de 40 mm, 4 cotovelos soldáveis de PVC marrom de 90°, um “TÊ” soldável de PVC marrom de 90°, uma haste de madeira de 1,50 metros, duas bases madeira com 2 cm de altura por 60 cm de profundidade por 60 cm de largura cada uma. Foram utilizados 640 metros de fio de cobre esmaltado enrolado em 4 carretéis de plástico com 4 cm de diâmetro cada um.

Para a soldagem dos tubos com as conexões foi utilizado um adesivo plástico comercial para PVC bisnaga. Um circuito amplificador de sinais é acoplado à antena para permitir a visualização de baixas frequências no osciloscópio referentes aos campos eletromagnéticos dispersos no ambiente.

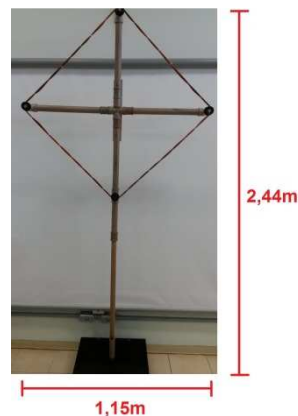


Figura 13 - Antena de medição do Campo Eletromagnético

Além da antena, utilizou-se um equipamento capaz de fazer o monitoramento das edificações. Um osciloscópio da marca *Agilent Technologies*, modelo DSO1072B, conforme ilustrado na Figura 14. Este equipamento tem dentre suas funções a opção de visualização e análise de sinais de circuitos que contenham tensão. Uma vez acoplado a antena o osciloscópio gera imagens dos campos eletromagnéticos dos Pontos de medição. Ele foi programado para levantar dados da frequência de 60 Hertz, que é o espectro do campo Energia. Os valores armazenados foram transferidos para um banco de dados e salvos em um computador por meio de um hardware de memória externa. As edificações foram monitoradas no dia 14 de Abril de 2015.



Figura 14 – Osciloscópio

3.2. Calibração da Antena

Definiu-se um padrão de montagem para a calibração da antena, conforme ilustrado na Figura 15. Em “A” apresenta-se o *VARIAC* da marca *Minipa*, um equipamento com finalidade de regular a tensão de 0 a 250 Volts em corrente alternada. Acoplado a ele encontra-se um transformador de 800 para 5 espiras, conforme apresentado em “B”, que tem a função de reduzir valores de tensão e aumentar os valores da corrente circulante, obedecendo ao Princípio da Conservação de Energia. Em “C” têm-se um solenóide com núcleo de ar de 10 espiras, com 2 cm de diâmetro cada e com 2,5mm de bitola de fio que está em curto-circuito acoplado ao transformador.

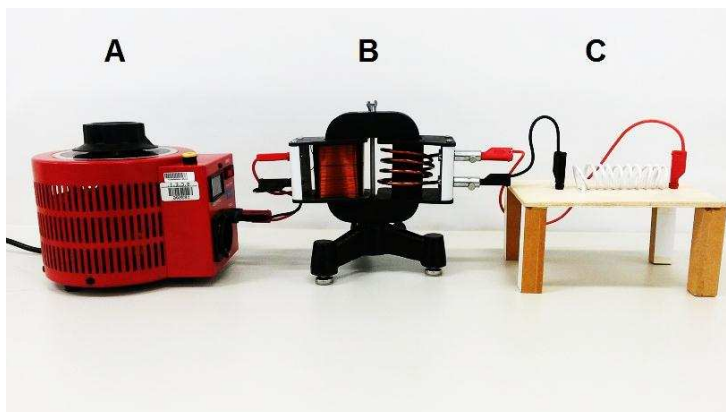


Figura 15 – Perspectiva dos equipamentos de calibração.

A tensão aplicada ao primário (800 espiras) do transformador é reduzida no secundário (5 espiras) e, assim, tem-se uma alta corrente em circulação nos solenóides (C) conectados ao conjunto. Esta corrente circulante, ao passar pelas espiras, gera uma corrente induzida que forma um campo eletromagnético no ambiente. Este campo disperso no ambiente é utilizado para a calibração da antena. Como é possível regular a tensão de entrada, pode-se controlar o campo eletromagnético radiado pelo ambiente.

3.3. Análise da Sensibilidade da Antena

Primeiramente, calibrou-se o *VARIAC*, do padrão de montagem da Figura 15, para fornecer 0 Volts de tensão de entrada no primário do transformador. Como resposta, obteve-se 0 Volts na saída do secundário, 0 Amperes de corrente circulante e 0 Amperes de corrente induzida. Isto mostra que não houve campo eletromagnético gerado pelo conjunto, como ilustra a imagem fornecida pelo osciloscópio na Figura 16. Ao aplicar uma tensão de 55 Volts de entrada no primário do transformador, obteve-se 0,22 Volts na saída do secundário, 10 Amperes de corrente circulante e 0,20 miliamperes de corrente induzida, conforme Tabela 1.

Tabela 1–Relação entre tensões e correntes na montagem padrão

Tensão entrada (V)	Tensão de saída (V)	Corrente circulante (A)	Corrente induzida (mA)
0	0	0	0
55	0,22	10	0,20

Nesta calibração, verificou-se que um campo eletromagnético foi gerado no ambiente, conforme ilustra a Figura 17. Desta forma, é possível demonstrar a sensibilidade da antena em relação a campos eletromagnéticos.

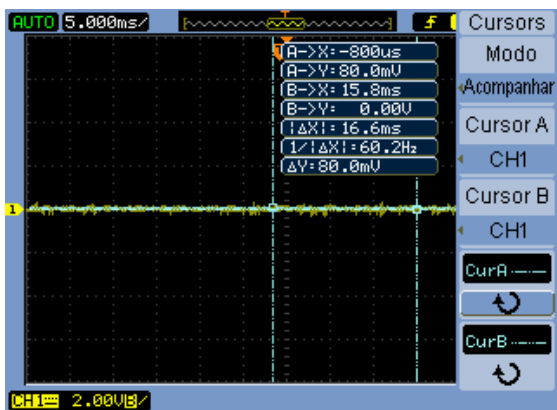


Figura 16 - Antena desligada

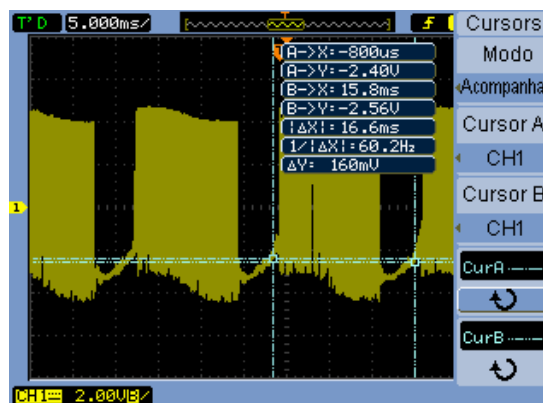


Figura 17 - Antena ligada

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A seguir, serão apresentados os resultados obtidos neste trabalho. Todas as imagens referem-se ao dia 14 de abril de 2015. Esta data foi escolhida uma vez que se tratava de um dia em que a Universidade estava aberta, ou seja, com a presença de alunos, professores, funcionários e em que as atividades ocorriam normalmente. Os gráficos mostram a incidência de campos eletromagnéticos presentes nos pontos de medição.

4.1. Teste no Ponto1 de monitoramento

Ao posicionar a antena no marco zero do Ponto1 de monitoramento, observou-se, conforme Figura 18, uma incidência de campo eletromagnético a 20 metros da casa de transformadores. Ao aproximar a distância da casa de transformadores em 10 metros, foi possível observar uma forte presença de campo eletromagnético, vindo ao sentido desta edificação, conforme ilustrado na Figura 19.

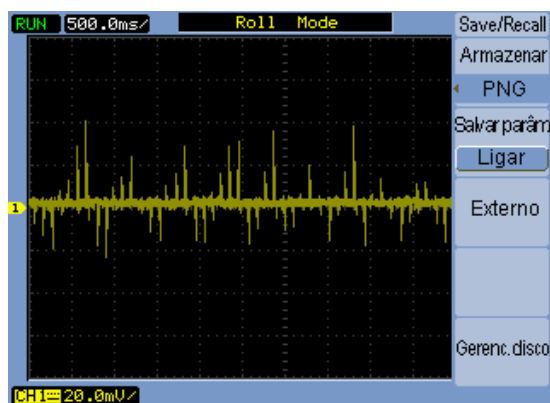


Figura 18 - Campo eletromagnético no marco zero do Ponto1 de monitoramento

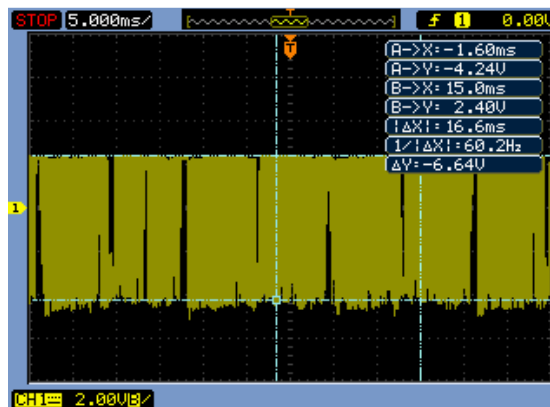


Figura 19 - Campo eletromagnético a 10 metros do marco zero

4.2. Teste no Ponto2 de monitoramento

Ao posicionar a antena no marco zero do Ponto 2 de monitoramento observamos, conforme a Figura 20, a presença de um campo eletromagnético interferindo, de forma intermitente, na faixa do Campo Energia.

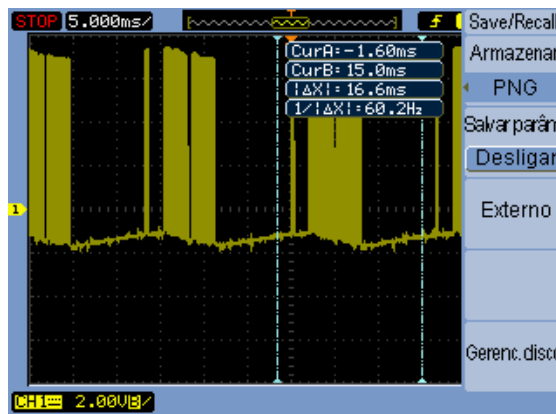


Figura 20 - Campo eletromagnético no Ponto 2 de monitoramento

4.3. Teste no Ponto3 de monitoramento

Ao posicionar a antena no marco zero do Ponto3 de monitoramento, observou-se, conforme a Figura 21, a presença de um campo eletromagnético no ambiente. Ao isolar os sinais, foi possível observar um campo eletromagnético, na faixa de 30,1 kHz interferindo no campo Energia, conforme Figura 22.

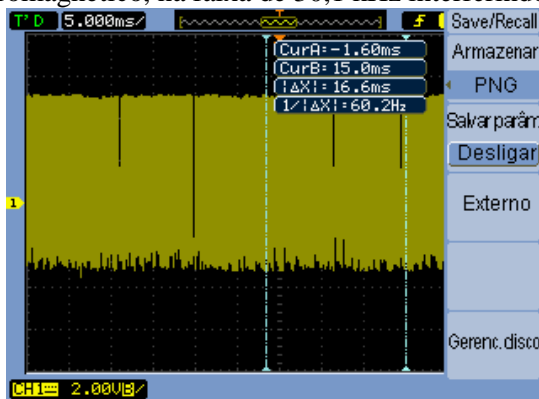


Figura 21 - Campo eletromagnético no Ponto3 de monitoramento

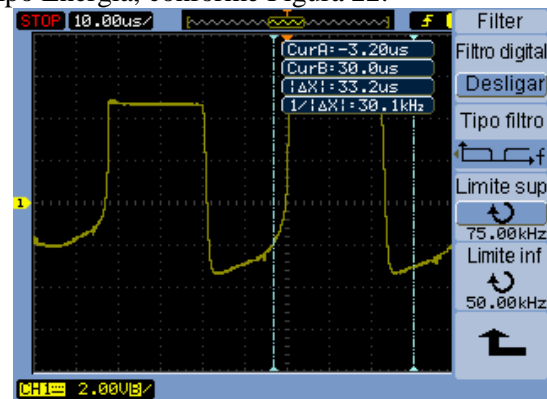


Figura 22 - Campo eletromagnético interferindo no Ponto3 de monitoramento

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, é possível verificar a presença efetiva de campos eletromagnéticos dispersos nos locais de medição. No Ponto 1 de monitoramento, destaca-se a presença de radiações em ambientes com uma boa circulação de pessoas, como laboratório de química e salas administrativas, sendo importante ressaltar que a distância das edificações ao campo emissor é pequena, inferior a 10 metros. O Ponto 2 destaca-se por ser uma das edificações de maior circulação de pessoas na Universidade (praça de alimentação) e percebe-se, neste local, a presença de um campo eletromagnético que interfere na faixa do Campo Energia. O Ponto 3 destaca-se pela presença de um campo de grande amplitude e que está presente em todas as edificações em seu entorno, como salas de aula, capela e depósito.

Assim, ressalta-se a necessidade de se desenvolver técnicas construtivas pensando nas radiações de campos eletromagnéticos dispersos no ar. Mais ainda, é importante desenvolver estudos capazes de localizar e mitigar a presença dos campos eletromagnéticos em ambientes construídos e propor soluções na tentativa de afastar os pontos de emissão do convívio humano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT NBR 15415:2006. Métodos de medição e níveis de referência para exposição a campos elétricos e magnéticos na frequência de 50 Hz e 60 Hz. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, outubro de 2006.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa 398/2010. ANEEL: Brasília, 23 de março de 2010.
- BUENO, C.; ROSSIGNOLO, J. A. Desempenho ambiental de edificações: cenário atual e perspectivas dos sistemas de certificação. Revista Minerva–Pesquisa & Tecnologia, 7 (1), p. 45-52, 2010.
- GHIONE, Sergio et al. Effects of 50Hz electromagnetic fields on electroencephalographic alpha activity, dental pain threshold and cardiovascular parameters in humans. Neuroscience letters, v. 382, n. 1, p. 112-117, 2005.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. 2ª edição. São Paulo: Pro Livros, 2004.

LEITE, Vinicius Fares. Certificação ambiental na construção civil–Sistemas LEED e AQUA. Belo Horizonte, 2011.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. C. Uso de Instrumentos Computacionais para Análise do Desempenho Térmico e Energético de Edificações no Brasil. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.5, n.4, p. 47-68, out./dez. 2005.

PUGLIERO, V.; COIADO, L. C.; PIMENTEL, L.L; JACINTHO, A. E. P. G. A.; MOTA, L. T.; MOTA, A. A. Overview of Certification Methodologies for Sustainable Constructions of Brazilian Buildings. American Journal of Applied Sciences, v. 12, i. 3, p. 216 -221, may/2015.

WORLDWATCH,Institute. State of the world 2007: Our urban future. Washington, DC: Author, 2007.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Pontifícia Universidade Católica de Campinas por disponibilizar o espaço da Universidade como objeto de estudos de Campos Eletromagnéticos em ambientes construídos. Além disso, os autores agradem a CAPES e ao CNPq pelas bolsas e pelo suporte financeiro a este trabalho.