

TECNOLOGIA NÃO DESTRUTIVA PARA AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE EDIFÍCIOS UTILIZANDO GEOFÍSICA

Odirlei Neumann,
Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade
Federal de Mato Grosso do Sul- PGTA-UFMS,
odingpr@gmail.com

Helena Rodi Neumann,
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/CPNV,
helena.neumann@ufms.br

RESUMO

Neste artigo apresenta-se os resultados obtidos na pesquisa realizada no Edifício em Cariacica, no Espírito Santo, que apresentava fissuras visíveis irregulares no piso de concreto estruturado por tirantes metálicos. Era necessário identificar a estrutura existente, porém sem danificar todo o edifício. Por isso, foi utilizado o equipamento Radar de Penetração no Solo (GPR), antenas blindadas de 2.0 GHz, que foi conduzido por linhas transversais e longitudinais no piso de interesse, afim de detectar os pontos de instabilidade. Comprovou-se a eficiência deste método geofísico, como método não destrutivo, e por tanto, capaz de reduzir custos na realização de projetos de reforço estrutural. Além disso, buscou-se verificar como os tirantes apareciam nas imagens produzidas pelo equipamento em questão, afim de determinar padrões para facilitar a interpretação de seções com anomalias estruturais similares, como deslocamentos de tirantes ou uso de malha de aço em pontos onde ocorreu o rompimento ocasional dos mesmos. Por fim, este artigo comprova que o GPR é um método preciso e fundamental para ser mais difundido na elaboração de diagnósticos estruturais.

Palavras-chave: GPR; reforço estrutural; piso atirantado; Ensaio Não-Destrutivo

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o padrão de desenvolvimento se baseia na exploração em excesso dos recursos naturais, e também pela geração de grandes quantidades de resíduos de todas as naturezas. Na implantação de qualquer ação antrópica há sempre o confronto entre interesses de proteção ou não ao meio ambiente. Deve-se buscar soluções que são equilibradas, ou seja, sustentáveis, que permitam o desenvolvimento, com o menor impacto ambiental possível. (ANGELIS NETO & ANGELIS, 1999).

As grandes cidades brasileiras tiveram um crescimento muito rápido e desordenado a partir da década de 1960, consolidando malhas urbanas dispersas, o que é pouco sustentável do ponto de vista do planejamento urbano. Além disso, toda esta atividade da construção civil resultou que a maior parcela dos resíduos urbanos advém deste setor. (PINTO, 1997)

Os resíduos da construção civil são produzidos tanto em construções novas quanto em reformas. É possível pensar em duas alternativas, não excludentes, para a redução de custos e a correta destinação destes resíduos (JOHN,1997): A redução do volume de resíduos produzidos; e a reciclagem dos resíduos.

Outras soluções mais inovadoras são técnicas não destrutivas, que diminuem assim a quantidade de resíduos produzidos, tornando o processo da construção civil mais sustentável. Análises podem ser feitas, como por exemplo a estrutural, e de instalações prediais, sem a necessidade de quebrar as paredes e lajes, reduzindo assim significante a quantidade de resíduo produzido. Como observa o autor Da Silva Filho, sobre END – Ensaio Não Destrutivo:

Acompanhando a tendência mundial, no Brasil a aplicação de END vem crescendo em vários setores. Acredita-se que a engenharia civil ainda é um campo no qual a utilização dos END vai se desenvolver bastante, vindo a se constituir em uma importante ferramenta para auxiliar os profissionais envolvidos no controle de suas obras. (DA SILVA FILHO et al, 2019, p.197)

Porém, Beutel et al enfatizam que o uso exitoso de END para engenharia civil depende da confiabilidade inerente associada à aplicação dos métodos, do conhecimento sobre os procedimentos e suas limitações, e do aspecto econômico. (Beutel et al., 2006) Neste sentido, demonstra-se neste trabalho uma aplicação eficaz para analisar a estrutura em tirantes metálicos de uma laje, afim de comprovar a eficiência do método.

Portanto, com o intuito de demonstrar a aplicabilidade de métodos END, este artigo apresenta os resultados de levantamentos geofísicos realizado no mês de novembro de 2018 no piso de edifício de uma empresa de logística no município de Cariacica, no estado do Espírito Santo. O objetivo primordial do levantamento geofísico foi identificar feições geofísicas anômalas que pudessem corresponder aos tirantes dentro deste piso, para que estas informações possam subsidiar futuros cálculos estruturais, e comprovar que a metodologia é eficiente para avaliações que não envolvem quebra do edifício.

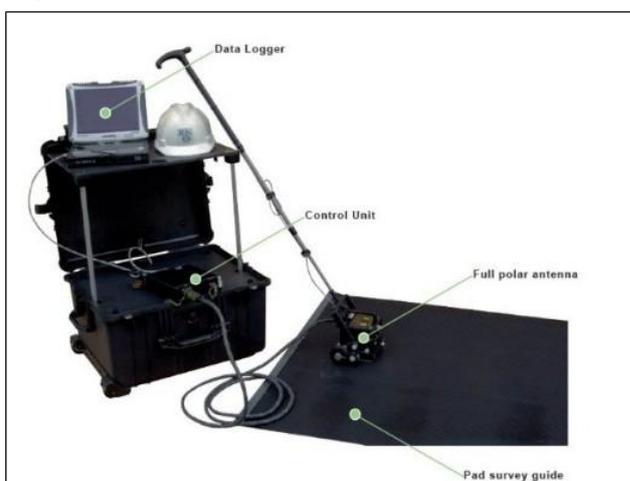
O método geofísico utilizado nos trabalhos de campo foi o GPR (*Ground Penetrating Radar*), conhecido no Brasil por georadar ou radar de penetração no solo, o qual proporciona a detecção de contrastes nas propriedades físicas em subsuperfície, e que podem ser correlacionadas à variação do material construtivo presente (bloco, concreto e ferro) e à existência de diferentes interferências, assim como identificar anomalias provenientes de ferragens/tirantes, o qual foi o objetivo principal desta pesquisa (AQUINO, 2000).

Com este trabalho, portanto, busca-se demonstrar que a geofísica pode ser utilizada como um método não destrutivo e, portanto, menos custoso para uma obra de reforma, afim de possibilitar o projeto de reforço estrutural em pisos de concreto atirantados.

2 O EQUIPAMENTO GPR

Um sistema de GPR consiste de quatro módulos principais: antena transmissora e transmissor eletrônico (Tx), antena receptora e receptor eletrônico (Rx), unidade de controle (UC) e unidade de armazenamento/apresentação dos dados, ou seja, um notebook. (NEUMANN, 2003)

Figura 1: Georadar – Antena de 2.0 GHz



Fonte: NEUMANN, 2003.

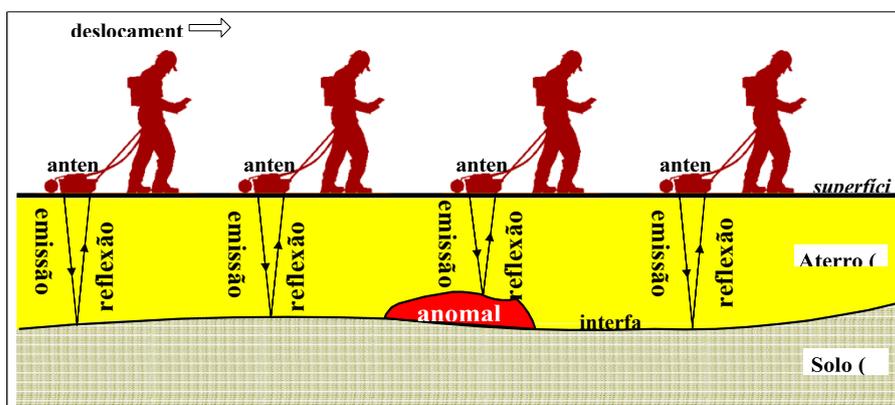
Para esta pesquisa, foi empregado o sistema GPR da US Radar, demonstrado na figura 1, fabricado nos Estados Unidos da América, o qual utiliza antena blindada com frequência central de 2.0 GHz, que proporciona maior detalhamento das anomalias encontradas. Este equipamento, por utilizar antenas blindadas, não sofre com os efeitos de interferências externas de superfície (cabos elétricos, postes, paredes, objetos metálicos, etc), o que possibilita a alta eficiência do método.

3 METODOLOGIA

Os métodos geofísicos são técnicas de rastreamento em superfície, não invasivos, e, portanto, não destrutivos, empregados em diversas aplicações como: meio ambiente, geotecnia, engenharia e mineração, assim como na identificação de objetos enterrados. (NEUMANN, 2004) Para a elaboração deste artigo, o método selecionado foi o GPR (*Ground Penetrating Radar*), apresentado acima, que é um método de investigação geofísica que se fundamenta na emissão e recepção de ondas eletromagnéticas de alta frequência em subsuperfície.

O funcionamento do método GPR se baseia na seguinte sistemática: um pulso (onda) de energia eletromagnética é irradiado para o interior do solo por uma antena transmissora (Figura 2), a energia refletida é captada pela antena receptora, sendo o sinal, então, amplificado, formatado, armazenado e apresentado na tela de um notebook.

Figura 2: Esquema de emissão e reflexão do sinal GPR em subsuperfície

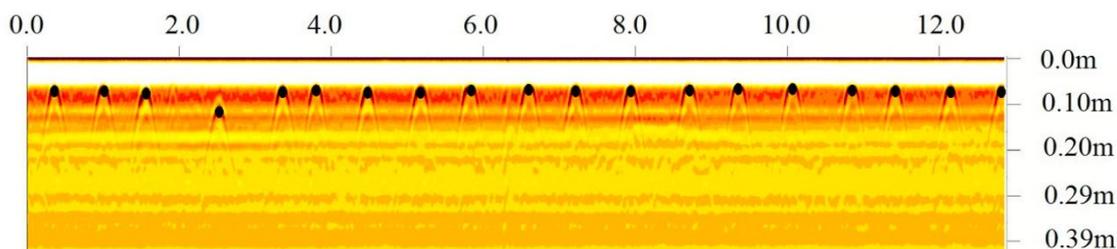


Fonte: Arquivo pessoal

As reflexões da onda eletromagnética em subsuperfície ocorrem nas interfaces de materiais com diferentes propriedades dielétricas. A propriedade física envolvida neste fenômeno é a permissividade dielétrica, que é expressa pelo coeficiente dielétrico “K”. (ANNAN, 1992)

O GPR fornece seções contínuas em tempo real (distância percorrida x profundidade) dos perfis executados em campo, proporcionando o imageamento de alta resolução das estruturas ou feições em subsuperfície, demonstrado no exemplo da Figura 3, onde se podem ver a hipérbole de difração ocasionada na detecção de interferências (Pontos de cor preta).

Figura 3: Exemplo de seção GPR obtida neste trabalho



Fonte: Arquivo pessoal

A frequência da antena é escolhida de modo a fornecer a relação mais vantajosa entre a penetração e a resolução para um determinado objetivo, sendo que a maioria dos sistemas pode operar sob várias frequências. (ANNAN, 1992) Assim, ondas de radar com frequências que variam de 10 a 200 MHz apresentam maior profundidade de penetração que as frequências

situadas no intervalo de 250 a 2000 MHz, que apresentam maior resolução, ou seja, maior detalhamento.

O processamento dos dados e a interpretação dos resultados também são realizados de acordo com o intuito do levantamento, ou seja, neste trabalho estão voltados para a identificação de anomalias hiperbólicas, as quais fornecem a localização das ferragens nas estruturas analisadas.

Utilizaram-se antenas blindadas de 2.0 GHz, e foram realizadas linhas transversais e longitudinais ao piso de interesse, para com isto poderemos detectar todas as estruturas internas as mesmas em toda a área do galpão da empresa citada acima.

4 LEVANTAMENTO DE DADOS

Como já foi descrito anteriormente, o levantamento GPR foi realizado com as antenas blindadas de frequência central 2.0 GHz. A seleção destas antenas de altas resoluções foi fundamental na qualidade dos dados obtidos, isto porque proporcionou o detalhamento e a penetração suficientes para os objetivos propostos.

Os dados de campo foram adquiridos através de perfilagem contínua, com arranjo dipolo (*ou common off-set*), que corresponde a uma separação constante entre as antenas transmissora e receptora. A amostragem espacial foi de 1,0 mm, o que proporcionou dados de alta resolução.

Os levantamentos de dados em campo foram desenvolvidos na área de interesse através da execução de 24 perfis GPR perpendiculares e paralelos na área de interesse, com intuito de se proporcionar a cobertura total do local investigado. Assim o GPR pode fornecer a exata posição das ferragens, bem como a extensão ao longo das áreas de estudo, como era possível verificar nas demarcações deixadas no local.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos dados de GPR podem ser observados nas seções GPR interpretadas, as quais devido ao seu tamanho e para facilitar a visualização, apenas algumas foram selecionadas para comprovar neste artigo a eficácia do método. Nestas seções GPR podemos

observar a posição exata de cada tirante dentro do piso de concreto, esta posição esta demarcada com um ponto de cor preta.

Segue abaixo a tabela com a posição exata de cada tirante do levantamento realizado, além de informações sobre distância média, quantidade e cobrimento destes tirantes. Além de observações pertinentes em caso de interferências encontradas, as quais diferem do padrão da laje atirantada.

Tabela 1: Exemplo de seção GPR demonstrando falhas estruturais

PROJETO TEGMA					
Linha	Comprimento da linha (m)	nº de Tirantes	Distância média entre os tirantes (m)	Profundidade dos tirantes (m)	Observações
29	45,4	64	0,7	0,05 a 0,12	Anomalia na posição 11 metros
30	74,9	109	0,69	0,05 a 0,11	Anomalia na posição 37,7 metros
31	74,9	108	0,69	0,05 a 0,15	Anomalia nas posições 0.2 e 39,8 metros
32	58,9	86	0,68	0,04 a 0,09	
33	27	41	0,66	0,05 a 0,15	
34	35,1	49	0,72	0,05 a 0,06	Anomalia na posição 34,5 metros
35	70,3	101	0,70	0,05 a 0,11	Anomalia nas posições 19.8 e 69.5 metros
36	87,3	125	0,70	0,05 a 0,15	Anomalia na posição 46.4 metros
37	86,9	123	0,71	0,05 a 0,11	Anomalia na posição 40.8 metros
38	37,8	52	0,73	0,05 a 0,10	Anomalia na posição 23 metros
39	48,1	69	0,70	0,04 a 0,09	Anomalia na posição 0.2 metros
40	46,9	68	0,69	0,04 a 0,11	Anomalia na posição 46.8 metros
41	48	71	0,68	0,05 a 0,09	Anomalia nas posições 0.2 e 47,5 metros
42	100	141	0,71	0,04 a 0,11	Anomalia nas posições 0.2, 49,5 e 99,8 metros
43	88,1	123	0,72	0,05 a 0,1	Anomalia nas posições 39 e 88 metros
44	53,3	75	0,71	0,04 a 0,15	Anomalia na posição 24 metros

45	35,1	50	0,70	0,04 a 0,09	Anomalia nas posições 0.2 e 35 metros
46	33	50	0,66	0,05 a 0,08	
47	18,9	---	---	---	Malha de Ferragens?
48	32,4	32	1,01	0,04 a 0,08	Anomalia nas posições 0.0 a 9,7 metros
49	33	47	0,70	0,07 a 0,11	
50	19	28	0,68	0,06 a 0,15	Anomalia na posição 18.8 metros
51	12,8	19	0,67	0,04 a 0,09	
52	12,8	20	0,64	0,05 a 0,1	

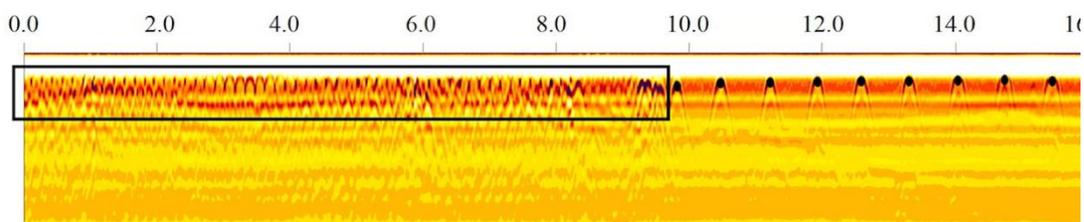
Fonte: Arquivo pessoal

Analisando a Tabela 1 é possível constatar que normalmente a distancia média entre os tirantes é de 0,71 metros, sem grandes variações. Porém, a profundidade dos tirantes varia de 0,04 a 0,15 metros do início da laje, o que demonstra por vezes a ocorrência de anomalias, uma vez que o recobrimento em concreto da estrutura metálica não deveria ser maior que 0,05 metros.

Ao todo foram realizados 1179,9 metros em linhas de investigação geofísica para esta pesquisa, resultando em um total de 1651 pontos mapeados. Lembrando que estas informações e as inferências adotadas de interpretação são suscetíveis às pequenas variações de localização (de ordem milimétrica) por serem baseadas num método indireto de investigação do subsolo, que é heterogêneo, e onde se aplicou uma velocidade média de superfície para a onda GPR.

Como já mencionado, os levantamentos de campo foram desenvolvidos in loco através da execução de 24 perfis GPR perpendiculares e paralelos, com intuito de se proporcionar a cobertura total das áreas investigadas. Assim o GPR pôde fornecer a exata posição das ferragens, bem como a extensão ao longo das áreas de estudo. A seguir serão apresentados alguns resultados significativos obtidos:

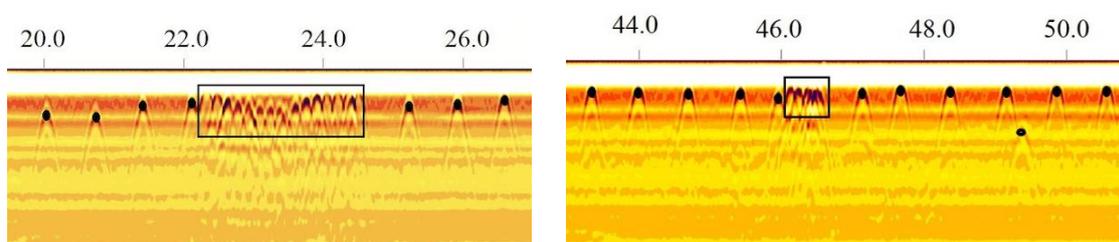
Figura 4: Seção GPR com diferentes soluções estruturais



Fonte: Arquivo pessoal

Esta seção contínua acima (Figura 4) demonstra claramente a mudança da solução estrutural neste trecho do piso do galpão. Parte apresenta os tirantes, porém a parte inicial possui ferragens de menor pitola, possivelmente uma malha de aço, representada pelo aparecimento de pequenas hipérboles, mais fracas e mais próximas.

Figuras 5 e 6: Exemplo de seção GPR demonstrando falhas estruturais



Fonte: Arquivo pessoal

Já as figuras 5 e 6 demonstram falhas da estrutura de tirantes do piso de concreto. A primeira, apresenta um trecho no qual provavelmente os tirantes se romperam, e um pequeno reforço com malha de aço foi feita para corrigir o problema, porém criou um ponto de extrema vulnerabilidade no piso. Já a outra imagem, também apresenta hipérboles seriadas, porém de menor largura, demonstrando provavelmente, uma correção de fissura com correção em malha de aço. Porém, nesta imagem ainda é possível identificar outra falha grave, o deslocamento de um tirante (ponto preto na faixa amarela), que perde sua função estrutural, e enfraquece a estrutura em questão.

6 CONCLUSÕES

Os resultados das interpretações dos dados de GPR podem ser observados nas seções GPR interpretadas, nas quais foram destacadas as anomalias com retângulos pretos, como demonstram as imagens acima. Nestas seções GPR podemos observar a posição exata de cada tirante dentro do piso de concreto, esta posição esta demarcada com um ponto de cor preta, como já mencionado.

A tabela digital é fundamental no intuito de identificar a posição exata de cada tirante, além de informações sobre distância média, quantidade e cobertura destes tirantes. Além de observações pertinentes em caso de interferências encontradas, as quais diferem do padrão da laje atirantada. Lembrando que estas informações e as inferências adotadas de interpretação são suscetíveis às pequenas variações de localização (de ordem milimétrica) por serem baseadas num método indireto de investigação do subsolo, que é heterogêneo, e onde se aplicou uma velocidade média de superfície para a onda GPR.

O uso de métodos END – Ensaio Não Destrutivo - é uma tendência mundial em tecnologias mais inovadoras e sustentáveis. O intuito geral deste artigo foi demonstrar como a aplicabilidade deste para um uso específico e muito comum na construção civil, de localização de tirantes estruturais em uma laje, com o intuito de reformar a edificação.

A aplicação deste método oferece dados de localização precisos, como demonstrou o artigo, com equipamentos relativamente simples, pois podem ser manejados por uma única pessoa. E o principal, evita a geração de resíduos sólidos desnecessários, tornando a obra mais sustentável e com economia dos custos de execução.

REFERÊNCIAS

ANNAN, A.P. **Use and techniques of GPR in near surface geophysics. Society of Exploration Geophysicists.** Workshop Notes, Sensor & Software Inc. 1992. 110p.

AQUINO, W.F. **Métodos Geofísicos Eletromagnéticos Aplicados ao Diagnóstico da Contaminação do Solo e das Águas Subterrâneas em Área de Infiltração de Resíduos Industriais.** Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2000. 121p.

NEUMANN, O. **Caracterização e Modelagem de Análogos de Reservatório, empregando o GPR.** 2004. 123 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geofísica) - Universidade

III Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação

10 a 13 de setembro de 2019 | Naviraí - MS



Federal da Bahia, Agência Nacional do Petróleo. 2003.

JOHN, V.M. **Pesquisa e Desenvolvimento de Mercado para Resíduos.** In: RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL. São Paulo, 1996. Anais. São Paulo, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1997. p. 21-30.

ANGELIS NETO, G.; ANGELIS, B.L.D. **Impactos ambientais causados pelo destino final dos resíduos sólidos urbanos de Maringá/PR.** Acta Scientiarum, Maringá, v.21, n.4, p.929-940, 1999.

PINTO, T.P. **Reciclagem de Resíduos da Construção Urbana no Brasil.** Situação Atual. In: RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL. São Paulo, 1996. Anais. São Paulo, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1997. p. 159-170.

DA SILVA FILHO, L. C. P., LORENZI, A., CAMPAGNOLO, J. L., STRIEDER, A. J., QUININO, U. C. de M., CAETANO, L. F., **Estudos de caso sobre avaliação de estruturas de concreto através da utilização de ensaios não destrutivos.** Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, 2011, janeiro/abril. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427639587002>> Acesso em: 27 de junho de 2019

BEUTEL, R., REINHARDT, H., GROSSE, C. U., GLAUBITT, A., KRAUSE, M., MAIERHOFER, C., ALGERNON, D., WIGGENHAUSER, H., SCHICKERT, M. **Performance Demonstration of Non-Destructive Testing Methods.** 2006, in: European NDT Conference, 9: Disponível em: <http://www.ndt.net>, Berlin Germany. Acesso em: 27 de junho de 2019