

UTILIZAÇÃO DE ELETRORRESISTIVIDADE E SONDAGEM GEOTÉCNICA NA CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS EM ÁREA DE EXPANSÃO URBANA DE MANAUS/AM.

Josué da Silva Costa¹; Helder Manuel da Costa Santos²; Jamile Dehaini³

Resumo – A área urbana de Manaus, semelhante a maioria das grandes cidades brasileiras, tem inúmeros problemas socioambientais, principalmente, decorrentes da acelerada expansão urbana, que são potencializados devido a problemas geotécnicos e a dificuldade de implantação de políticas públicas relacionadas a infraestrutura e saneamento. A caracterização geotécnica mostrou solo predominantemente fofos a pouco compacto e com nível d'água próximo a superfície (1,80 e 2,0 m de profundidade) sendo classificados como ruins para construção de sapatas e assentamentos urbanos. Foram observadas, na área de estudo, diversas trincas, como indícios de recalque, nas construções que são feitas sem os procedimentos técnicos corretos. Não foram encontradas correlações diretas dos valores de N_{SPT} e os valores de Resistividade aparente obtidos, no entanto, observou-se uma boa correlação entre os resultados de Resistência Transversal (RT) e os valores de N_{SPT} , que podem ser utilizados, a partir de investigações mais detalhadas, de forma eficaz no estudo do subsolo e conseqüentemente nos projetos de engenharia civil otimizando o tempo de sondagens e redução dos custos totais.

Palavras-Chave – Sondagem à Percussão (SPT), Sondagem Elétrica Vertical, Resistência Transversal.

Abstract – The urban area of Manaus, similar to most large Brazilian cities, has numerous socio-environmental problems, mainly due to the accelerated urban expansion, which are enhanced by geotechnical problems and the difficulty of implementing public policies related to infrastructure and sanitation. The geotechnical characterization showed predominantly soft soil, not very compact and with water level very close to the surface (between 1.80 and 2.0 meters in depth) being classified as bad for the construction of shoes and urban settlements. Several cracks were observed in the study area, as evidence of repression, in buildings that are made without the correct technical procedures. No direct correlations were found between the N_{SPT} values and the apparent Resistivity values obtained, however, there was a good correlation between the results of Transverse Resistance and the N_{SPT} values, which can be used, from more detailed investigations, effectively in the study of the subsoil and consequently in civil engineering projects, optimizing the drilling time and reducing total costs.

Key words – Standard Penetration Test (SPT), Vertical Electrical Sounding, Transverse Resistance.

¹Geól., MSc Student, Universidade do Estado do Amazonas: Manaus - AM, 69050-010, josue.peg@gmail.com

²Dr., Universidade Federal do Amazonas: Manaus - AM, 69067-005, hmcsantos@yahoo.com.br

³PhD., Universidade do Estado do Amazonas: Manaus - AM, 69050-020, jdehaini@uea.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Manaus, semelhante à maioria dos grandes centros urbanos brasileiros, apresenta inúmeros problemas decorrentes da acelerada e desordenada expansão urbana. A ocupação de áreas de forma inadequada tem provocado problemas como trincas, rachaduras, recalques, deslizamentos, alagamentos, entre outros inconvenientes, que se tornam parte do cotidiano dos moradores. As construções civis, feitas de forma adequada, por outro lado, demandam de investigação e caracterização detalhada dos primeiros metros de subsuperfície, essencial para garantir a segurança no projeto da fundação e estruturas. Caso contrário, uma caracterização superficial ou desprovida de acompanhamento técnico do solo e do subsolo, poderá causar falhas durante e após a execução da construção.

Nesse contexto, é de extrema importância o estudo das características geológico-geotécnicas das áreas de expansão urbana que são mais suscetíveis aos processos geodinâmicos externos associados ao uso e ocupação do solo inadequados. A determinação das características geológico-geotécnicas pode ser feita por meio de métodos indiretos e diretos.

Segundo Souza (2006) o uso de métodos indiretos (geofísicos) na investigação geológica e geotécnica tem aumentado muito nas últimas décadas. E de acordo com Gandolfo (2007) o método da eletrorresistividade é, seguramente, o que encontra maior abrangência nas aplicações voltadas à geologia (hidrogeologia, mapeamento e mineração), engenharia civil e estudos ambientais em geral. Esse método consiste, basicamente, no processo de injeção de corrente elétrica (contínua) no terreno, produzida por uma fonte artificial (bateria e gerador), através de eletrodos em contato galvânico com o mesmo, e da medida da diferença de potencial resultante do fluxo induzido o qual é proporcional às características de resistividade elétrica dos materiais subjacentes. Para Braga (2006) o método de eletrorresistividade admite várias formas de execução através de diferentes técnicas e arranjos. Esse autor destaca que diversos são os fatores que influenciam na resistividade elétrica de um solo ou rocha, como a resistividade intrínseca da matriz, a textura e arranjo dos poros, a porosidade e a natureza do fluido intersticial, assim como o grau de alteração e os processos que podem ocorrer nesse meio.

Dentre os métodos diretos a sondagem à percussão SPT (*Standart Penetration Test*) ou sondagem de simples reconhecimento é, reconhecidamente a mais popular, rotineira e econômica ferramenta de investigação em praticamente todo o mundo, pois permite a identificação da densidade de solos granulares, da consistência de solos coesivos e até mesmo de rochas brandas. A sondagem é executada através de perfuração por meio de trado com circulação de água, sendo utilizada para a obtenção de amostras de solo, medir o índice de resistência à penetração do solo em termos de número de golpes (N_{SPT}) e observação do nível d'água subterrânea. A execução da sondagem deve ser feita seguindo os procedimentos e equipamentos da Norma Brasileira (NBR) 6484 de 2001.

A literatura apresenta alguns trabalhos com o objetivo de integrar resultados obtidos com o método da eletrorresistividade e dados geotécnicos para caracterização dos solos. O trabalho de Braga (2006), a partir da interpretação da curva de resistividade aparente, resultante do levantamento de campo da técnica de sondagem elétrica vertical (SEV), proporcionou um modelo geoeletrico constituído de uma combinação das resistividades e espessuras das camadas geoeletricas. Com o modelo pode-se calcular os parâmetros de *Dar Zarrouk*, dentre os quais o da Resistência Transversal (RT) que têm grande importância para correlações geotécnicas. A obtenção desse parâmetro, devido aos conceitos envolvidos, é importante de acordo com Braga (1997) para o entendimento do comportamento dos materiais geológicos em subsuperfície e tem sido utilizado na correlação de sondagens SPT como os trabalhos de Braga *et al.* (1999), Giao *et al.* (2003), Sudha *et al.* (2009), Devi *et al.* (2017), Olayinka *et al.* (2019), entre outros.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. Localização da área de estudo

A área de estudo do presente trabalho está localizada na Comunidade Parque Riachuelo no Bairro Tarumã, Zona Oeste de Manaus, Estado do Amazonas (Figura 1). A Zona Oeste é um dos principais locais de expansão urbana da cidade de Manaus, a partir de 2000, com grande pressão

por empreendimentos imobiliários autorizados pelo Estado e por construções contínuas de moradias a partir de “invasões” em lotes urbanos vazios.

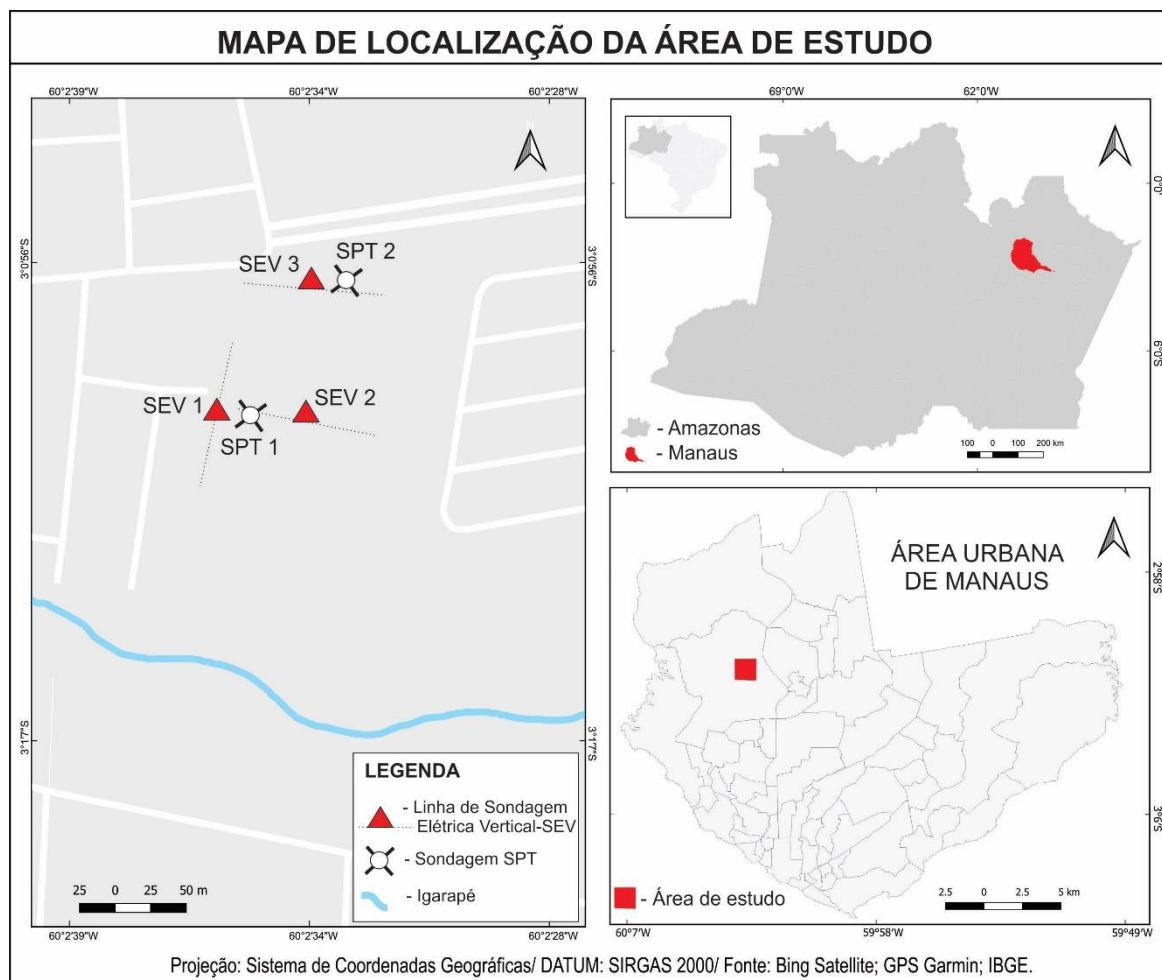


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo com os pontos de sondagens elétricas e geotécnicas.

2.2. Geologia e Pedologia local

A área estudada situa-se no domínio noroeste da Bacia sedimentar do Amazonas, entre os crátons Guiana Central, ao norte, e Brasil Central ao sul. Apresenta uma extensão de cerca de 500.000km², abrangendo partes dos estados do Amazonas e do Pará. É limitada a leste e a oeste pelos arcos de Gurupá e de Purus, respectivamente (CUNHA *et al.* 2007). A unidade exposta dominante na porção central da Bacia são as rochas sedimentares da Formação Alter do Chão, localmente, representada por sedimentos arenosos e argilosos, de idade neocretácea, sobre os quais se desenvolveram crostas lateríticas ferruginosas (REIS *et al.*, 2006), que apresentam-se deformadas por falhas e fraturas decorrentes da atuação de tectônica moderna (SILVA, 2005).

Os perfis lateríticos e os solos que ocorrem no topo dessa formação estão distribuídos numa ampla área os quais evidenciam o intenso intemperismo atuante na região. O manto de intemperismo desenvolvido forma Latossolos com até 15m de espessura. A região é constituída de Latossolos Amarelos álicos com horizonte “A” moderado e textura argilosa, areno-argilosa ou argilo-arenosa e arenosa (ROCHA, 2006). A ocorrência, predominantemente, é de Latossolos Amarelos, mas, em menor escala, ocorrem Latossolos Vermelho Amarelos e Latossolos Vermelhos. Apresentam baixa fertilidade natural com teores muito reduzidos de bases trocáveis e fósforo (MAIA, 2010).

3. COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO E GEOELÉTRICO DO SOLO

Na área de estudo foram executados 02 (dois) furos de sondagens, de 10m de profundidade cada, com a finalidade de obter a resistência das camadas, coletar amostras dos níveis amostrados

pelo amostrador padrão, conforme ocorresse variação do material perfurado, e identificar o nível de água. O avanço da perfuração do furo foi feito com circulação de água.

O método da eletrorresistividade foi realizado através de 3 (três) sondagens elétricas verticais, utilizando o arranjo *Schlumberger* para a determinação da resistividade aparente (ρ_a) do meio investigado. A localização das sondagens é mostrada na figura 1.

3.1. Sondagem SPT

A execução foi feita cravando-se o amostrador no solo com um martelo de 65kg, caindo de uma altura de 75cm (NBR 6484:2001). Foi registrado a cada 15cm de cravação a quantidade de golpes necessários para que o amostrador penetra-se 45cm no solo. O valor N_{SPT} é a soma dos golpes necessários para descer os 30cm finais. A figura 2 mostra os resultados da profundidade com o número de golpes (NSPT).

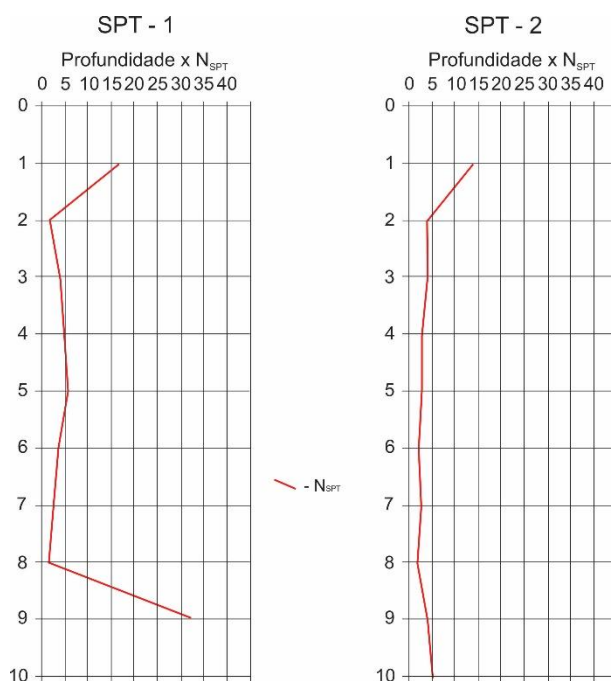


Figura 2. Relação da profundidade com o número de golpes (N_{SPT}) das sondagens efetuadas.

Na sondagem 1 (SPT 1) observa-se uma grande variação nas medidas em relação à profundidade. Em geral, ocorre um aumento gradual do número de golpes conforme se aumenta a profundidade, no entanto, devido à predominância de solo arenoso pouco compacto esse aumento é observado somente a partir de 8m. Na profundidade de 9,55m, houve a parada da sondagem devido a impenetrabilidade do amostrador barrilete causada pela presença de matacão ou rocha não permitindo o avanço da sondagem a partir dessa profundidade. A sondagem 2 (SPT 2) mostra que os valores de golpes são muito próximos no intervalo de 2m de profundidade até a profundidade de 8m. A partir dessa profundidade os valores tendem a aumentar. A predominância do solo silto-arenoso pouco compacto faz com que a resistência do solo seja baixa. A descrição das litologias das sondagens é mostrada na figura 3.

A classificação do solo, quanto ao estado de compactidade e consistência, foi feita de acordo com NBR 6484/2001, conforme a tabela 1.

A partir dessa classificação os solos das sondagens foram, predominantemente, classificados como fofo a pouco compacto.

Tabela 1. Estados de compactidade e consistência

Solo	Índice de resistência a penetração (N)	Designação
Areias e siltes arenosos	≤ 4	Fofa (o)
	5 a 8	Pouco compacta (o)
	9 a 18	Medianamente compacta (o)
	19 a 40	Compacta (o)
	>40	Muito compacta (o)

Fonte: NBR 6484/2001

3.2. Eletroresistividade

O levantamento com eletroresistividade foi feito por intermédio do conjunto de resistividade fabricado pela TECTROL- Equipamentos Elétricos e Eletrônicos Ltda, modelo TDC 1000/12R2A, com uma bateria externa 12V e de um par eletrodos (A e B) em aço inoxidável em contato com o solo além de cabos condutores e carretéis, conectores (garra e pino). Através deste circuito eletrodo/solo, estabelece-se um fluxo de corrente. Pode-se medir uma diferença de potencial, utilizando-se de outro par de eletrodos (M e N) posicionados nas proximidades, possibilitando determinar-se a resistividade aparente do subsolo. A técnica utilizada foi a Sondagem Elétrica Vertical (SEV) utilizando o arranjo *Schlumberger*. A determinação da resistividade aparente (ρ_a) do meio investigado foi feita a partir da seguinte equação:

$$\rho_a = K \times \frac{\Delta V}{I} \quad \text{Equação 1}$$

onde K é denominado fator geométrico de configuração do arranjo, pois depende unicamente da geometria da distribuição (distâncias) dos eletrodos na superfície topográfica, o ΔV é a diferença de potencial, medido no milivoltímetro, e o I é a corrente elétrica injetada. As figuras 3 e 4 mostram os modelos de camadas geoeletricas obtidas a partir do *software* IPI2Win de domínio público e sua relação com a descrição efetuada na sondagem geotécnica.

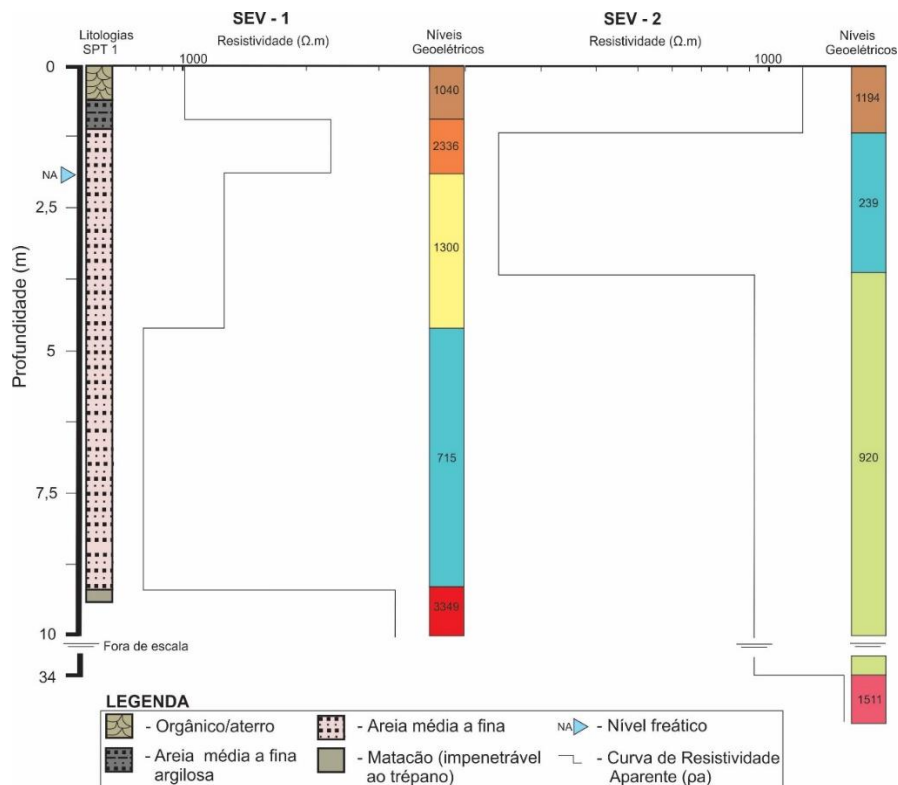


Figura 3. Correlação das litologias com as curvas de resistividade aparente e seus respectivos modelos de nível geoeletrico.

O perfil estratigráfico mostra a predominância de solo arenoso e pouco compacto em praticamente todos os níveis investigados e que o terreno foi aterrado. O nível d'água foi encontrado a 1,80m de profundidade.

A SEV-1 teve uma abertura dos eletrodos de corrente de 40m, de cada lado. A SEV, como mostra a figura 3, apresentou 5 níveis geoeletricos. A sondagem de simples reconhecimento SP-01 foi executada no mesmo ponto desta sondagem. A camada 1 apresentou uma resistividade 1040 $\Omega.m$ com espessura de cerca de 90cm. O local da sondagem apresentava solo bastante compactado e exposto, por vezes, com fragmentos de cascalho em superfície. A camada 2 com aproximadamente 1m de espessura apresentou valores altos de resistividade, em torno de 2000 $\Omega.m$ e a camada 3 com cerca de 2,2m de espessura a resistividade foi da ordem de 1300 $\Omega.m$. A camada 4 apresentou resistividade da ordem de 714 $\Omega.m$, e perfaz cerca de 4,9m de espessura e alcança uma profundidade de cerca de 9,2m. Abaixo da profundidade de 9,2m, os valores de resistividade foram da ordem de 3000 $\Omega.m$. Neste mesmo nível, a sondagem SPT-01 mostrou-se impenetrável, devido a presença de matação ou rocha.

A SEV-02 apresentou quatro camadas geoeletricas conforme mostra a figura 3. Com aproximadamente 1m de espessura, a primeira camada apresentou resistividade da ordem de 1194 $\Omega.m$, possivelmente devido a compactação alta do solo e a quantidade de material arenoso e matéria orgânica. A segunda apresentou uma resistividade de 239 $\Omega.m$ e tem cerca de 2,2m de espessura. A camada 3 mostra uma resistividade de 920 $\Omega.m$, e aproximadamente 30,8m de espessura. Após cerca de 34,1m de profundidade (camada 4) a resistividade foi de 1511 $\Omega.m$, que pode indicar a presença de material arenoso pouco compacto.

A sondagem 3 (SEV-03) foi realizada no mesmo local da sondagem SPT 2, conforme mostrado no mapa de localização da figura 1. A curva de resistividade aparente e as litologias descritas na sondagem podem ser observadas na figura 4.

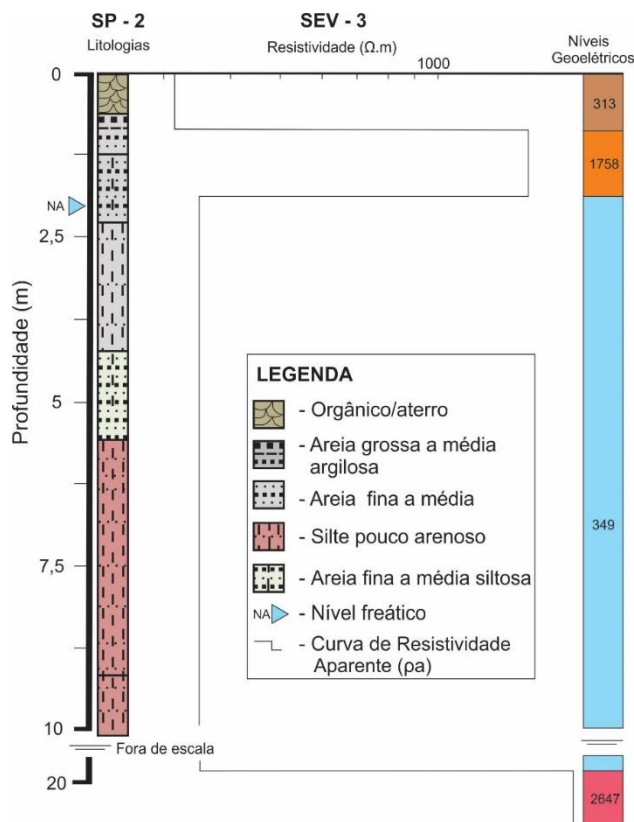


Figura 4. Correlação das litologias com a curvas de resistividade aparente.

O perfil estratigráfico descrito na sondagem 2 (SP-2) mostra conteúdo maior de material de granulometria silte/areia e um solo natural com menor contribuição de aterro. O nível d'água foi encontrado a 2,05m de profundidade.

A SEV-03 apresentou quatro níveis geométricos. O primeiro com aproximadamente 0,8m de espessura com resistividade da ordem de 313 Ω.m. O segundo com resistividade da ordem de 1758 Ω.m com um pouco mais de 1m de espessura com o nível freático em torno de 1,90m. A terceira camada (nível geométrico) apresentou 18m de espessura com resistividade em torno de 349 Ω. A partir de aproximadamente 20,6m de profundidade a resistividade aumenta para 2647 Ω.m.

Nenhuma relação específica entre resistividade e valor N foi observada. Resultados semelhantes também foram relatados por Braga *et al.* (1999), Gao *et al.* (2003), Sudha *et al.* (2009), Devi *et al.* (2017).

Os resultados das resistividades e espessuras obtidas da curva (figuras 4 e 5) foram usados para calcular a Resistência Transversal (T) dos níveis geométricos usando a equação 2. As resistências transversais foram calculadas na profundidade em que os valores N foram registrados para correlacionar os dois parâmetros. A equação é mostrada a seguir:

$$T = \sum_i^n \rho_i h_i$$

Equação 2

onde ρ_i e h_i são a resistividade e a espessura da n-ésima camada, respectivamente.

Os valores de Resistência Transversal obtidos são mostrados no gráfico da figura 5.

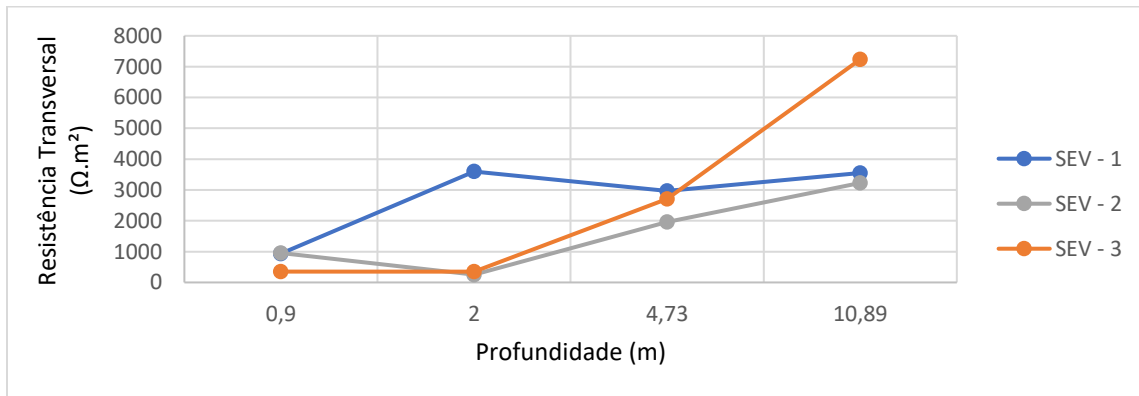


Figura 5. Relação da Resistência Transversal das sondagens elétricas com a profundidade.

Os resultados obtidos a partir da equação 2, foram correlacionados com os parâmetros N_{SPT} . As SEVs 1 e 2 foram relacionadas com a Sondagem SPT 1. A figura 6 mostra o resultado da correlação.

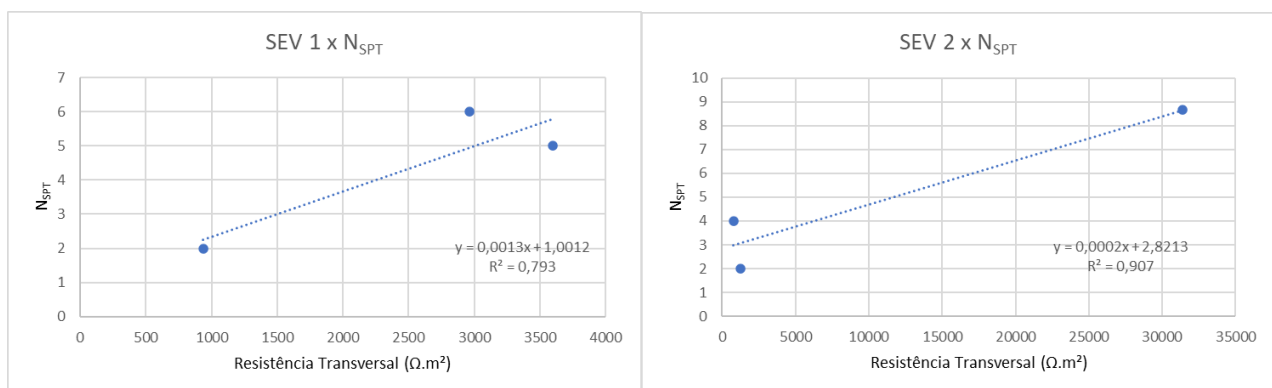


Figura 6. Relação dos valores N_{SPT} (SPT 1) e as Resistências Transversais de cada SEV.

As equações obtidas da função linear foram:

SEV 1:

$$y = 0,0013x + 1,0012$$

Equação 3

SEV 2:

$$y = 0,0002x + 2,8213$$

Equação 4

Os coeficientes de correlação (R^2) para as equações 3 e 4 foram respectivamente 0,793 e 0.907.

Para a SEV 3 a Resistência Transversal foi correlacionada com os valores N_{SPT} da sondagem SPT 2, conforme mostra a figura 7.

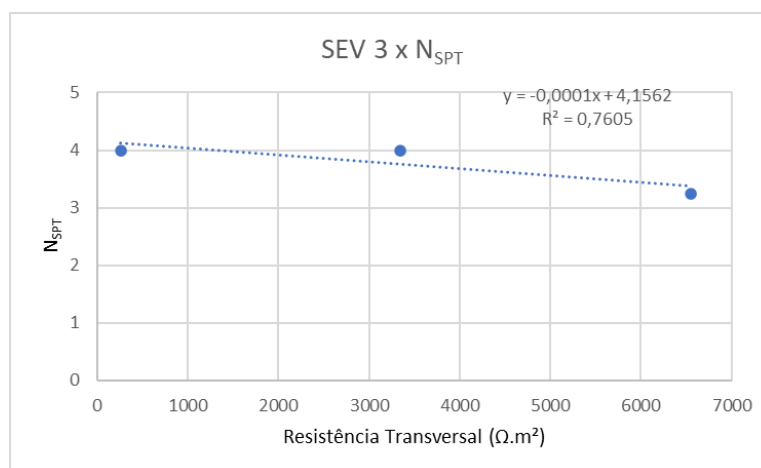


Figura 7. Relação dos valores N_{SPT} (SPT 2) e a Resistência Transversal da SEV-3.

A equação obtida da função linear foi:

$$y = -0,0001x + 4,1562$$

Equação 5

O coeficiente de correlação (R^2) para a equação 5 foi de 0,7605.

3.3. Discussões

Os resultados mostrados evidenciam que não é possível uma correlação direta dos valores de N_{SPT} e os valores de Resistividade aparente obtidos. No entanto, a correlação dos N_{SPT} com a Resistência Transversal mostrou coeficientes de correlação promissores, sendo necessária a continuação dos trabalhos em mais pontos e com maior profundidade de investigação.

Os resultados dos ensaios geoeletricos e do SPT definiram o solo da área de estudo como arenoso e siltoso, fofo, pouco compacto e com o nível de água próximo a superfície, ou seja, com baixa capacidade de suporte sendo por isso não adequado para a construção de fundações. Devido as condições geotécnicas do terreno a maioria das residências apresentava trincas, fissuras, rachaduras e recalques conforme mostram as fotos da figura 8. Além disso, a área era suscetível a inundação e enchente.

Devido as condições socioeconômicas dos moradores da área de estudo ser de baixa renda, comum de áreas de expansão urbana por meio de "invasão", suas construções modestas de alvenaria, sem o mínimo necessário de estruturas de engenharia, agravava os problemas de cunho geotécnico, como trincas, recalques e rachaduras que foram observadas em muitas construções.

A especulação imobiliária e a ausência do poder público levam a população pobre a ocupar terrenos nas periferias de expansão dos grandes centros urbanos sem estudos prévios geotécnicos e a implantação de loteamentos e bairros irregulares geram enormes prejuízos materiais e risco de vida aos moradores. Somam-se a isso a ausência ou deficiência das políticas públicas relacionadas a infraestrutura e saneamento básico na maioria dos bairros da capital amazonense.



Figura 8. A-Trincas e rachaduras nas paredes de uma residência. B- Trincas em um muro de uma residência.

4. CONCLUSÕES

A investigação geotécnica e geolétrica apresentou resultados confiáveis no estudo do solo e subsolo de uma área de expansão urbana no município de Manaus/AM.

Os resultados mostraram que a área estudada é constituída, predominantemente, de material arenoso classificado como fofo a pouco compacto, com nível d'água entre 1,80 e 2,0m de profundidade, portanto, inadequado à implantação de obras de engenharia civil, principalmente, de grande porte.

Uma relação linear foi apresentada entre a resistência transversal derivada dos dados de Resistividade elétrica e os valores N obtidos a partir de ensaios geotécnicos nesse local. Os resultados mostram que a resistência transversal e os valores N de SPT representam um padrão correlacionado positivamente como esperado com uma boa relação dos coeficientes de correlação (R^2). A técnica de sondagem elétrica vertical -SEV permitiu definir com maior precisão as camadas geolétricas e estabelecer correlação com as identificadas no método de SPT. O processamento e a integração dos dados geolétricos e geotécnicos possibilitaram o refinamento das metodologias aplicadas oferecendo correlações com rapidez e redução de custos.

O estudo e desenvolvimento de metodologias na determinação da resistência do solo por eletrorresistividade mostra-se de grande potencial, visto que é um método econômico, rápido, não invasivo e eficiente em comparação aos métodos diretos *in situ* usados para determinar a resistência do solo para fins de engenharia civil e, portanto, muito útil em investigações geotécnicas, uma vez que pequenas variações locais, podem ser identificadas pelos ensaios geofísicos.

A metodologia adotada se mostrou eficaz na determinação das características geotécnicas do solo e subsolo tanto em extensão como em profundidade cujos resultados podem orientar na tomada de decisões em projetos geotécnicos na Região Amazônica que é gigantesca em recursos e dimensões geográficas, mas pobre em planejamento e gestão ambiental.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa Engsolos Análise Técnica e Engenharia, pela execução da sondagem SPT e a Universidade Federal do Amazonas por toda estrutura oferecida.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484/2001 - Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT. Rio de Janeiro. 2001.

- BRAGA, A. C. O. Métodos da eletrorresistividade e polarização induzida aplicados nos estudos da captação e contaminação de água subterrâneas: uma abordagem metodológica e prática. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 121 f. 2006.
- BRAGA, A. C. O. Métodos geoeletricos aplicados na caracterização geológica e geotécnica – Formação Rio Claro e Corumbataí, no município de Rio Claro – SP. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 169 f. 1997.
- BRAGA, A. C., Malagutti, W., Dourado, J. C., & Chang, H. K. Correlation of electrical resistivity and induced polarization data with geotechnical survey standard penetration test measurements. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, v. 4, n. 2, p. 123-130, 1999.
- CUNHA, P.R.C.; MELO, J.H.G.; SILVA O.B. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências. Petrobras*. v. 15, p. 227-251. 2007.
- DEVI, A., Israil, M., Anbalagan, R., & Gupta, P. K. Subsurface soil characterization using geoelectrical and geotechnical investigations at a bridge site in Uttarakhand Himalayan region. *Journal of Applied Geophysics*, 144, 78-85. 2017.
- GANDOLFO, O. C. B. Um estudo do imageamento geoeletrico na investigação rasa. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 2007.
- GIAO, P. H., Chung, S. G., Kim, D. Y., & Tanaka, H. Electric imaging and laboratory resistivity testing for geotechnical investigation of Pusan clay deposits. *Journal of Applied Geophysics*, 52(4), 157-175. 2003.
- MAIA, M. A. M. Geodiversidade do estado do Amazonas. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. 275 p. 2010.
- OLAYINKA, L. A., Lawal, K. M., Ahmed, A. L., Aremu, B. G., Abubakar, F., Usman, A., & Daniel, E. Correlation of geoelectrical and geotechnical parameters of data obtained from geophysical survey conducted at Ahmadu Bello University Phase II, Zaria, Nigeria. 2019.
- REIS, N. J., ALMEIDA, M. E., RIKER, S. L., & FERREIRA, A. L. Geologia e recursos minerais do Estado do Amazonas. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Manaus, p.23-27. 2006.
- ROCHA, W. V. Mapeamento geoambiental da área urbana de Manaus – AM. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil – Universidade de Brasília. Brasília. 2006.
- SILVA, C.L. Análise da tectônica cenozoica da região de Manaus e adjacências. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 282 p. 2005.
- SOUZA, L. A. P. de. Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo, São Paulo. 311p. 2006.
- SUDHA, K., Israil, M., Mittal, S., & Rai, J. Soil characterization using electrical resistivity tomography and geotechnical investigations. *Journal of Applied Geophysics*, 67(1), 74-79. 2009.