



COMPARATIVO ENTRE ENSAIO DE SONDAGEM À PERCUSSÃO MANUAL E MECÂNICA: UM ESTUDO DE CASO NA REGIÃO OESTE DO PARANÁ

Rafael Andre Cristoferi¹
Ana Claudia Bergmann²
Vinicius Lorenzi³

RESUMO

Com o intuito de acompanhar os avanços tecnológicos relativos à construção civil no decorrer dos últimos tempos, os processos de investigação do solo têm sofrido severa evolução em seu principal método, sendo a sondagem à percussão (SPT) um exemplo. Uma evolução notada no método é o sistema de sondagem SPT mecanizado, o qual permite resultados com maior confiabilidade por se tratar de um sistema que é automatizado, garantindo maior precisão nos resultados. Dessa forma, o trabalho em questão apresenta as disparidades entre os métodos de execução convencional e mecanizada para o reconhecimento do solo, comparando a variação da energia de queda do martelo em cada método. A metodologia fora baseada na análise das imagens obtidas nos ensaios de campo resultando na medição da altura de queda do martelo para cada golpe observado, concluindo na verificação de 25 golpes em cada método estudado, mecânico e manual. Comprovou-se, por meio das observações, que existe maior variação da altura de queda, em consequência da energia potencial direcionada ao ensaio manual, em comparação com o ensaio mecânico. Sendo assim, conclui-se que uma vez encontradas menores diferenças nos resultados de altura de queda e energia potencial teórica, no ensaio mecânico, este possui maior confiabilidade nos dados obtidos.

Palavras-chave: Altura de queda. Manual. Mecânico. Sondagem. SPT.

ABSTRACT

In order to keep up with the technological advances in construction in recent times, soil research has undergone a major evolution in its main method, being percussion drilling (SPT) an example of it. A notable development in the method is the mechanized SPT drilling system, which allows results with greater reliability because it is a system that is automated, guaranteeing greater precision in the results. In this way, the study in question presents the disparities between the conventional and mechanized execution methods for soil recognition, comparing the variation of the hammer drop energy in each method. The methodology was based on the analysis of images obtained in the field tests resulting in the measurement of the hammer drop height for each observed blow, concluding in the verification of 25 blows in each method studied, mechanical and manual. By means of the observations, it has been verified that there is a greater variation of the drop height, consequently, of the potential energy directed to the manual test, compared to the mechanical test. Therefore, the present study concludes that once smaller differences in the results of fall height and theoretical potential energy were found in the mechanical test, this one has greater reliability in the obtained data.

Keywords: Height of fall. Manual. Mechanical. Drilling. SPT.

¹ Acadêmico de Engenharia Civil, da Universidade Paranaense, Campus Toledo. E-mail: rafael.cristoferi@hotmail.com

² Professora Orientadora, Especialista, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Paranaense, Campus Toledo. E-mail: anacbergmann@prof.unipar.br

³ Coorientador, Mestre, Engenheiro Civil. E-mail: vinicius@fungeo.com.br

1 INTRODUÇÃO

A investigação do solo destina-se a observar e compreender as condições geológicas do subsolo, determinando, assim, qual tipo de material é encontrado no local e quais suas características de resistência (CHIOSSE, 1975).

Compreender as características do solo remete-se a uma preocupação que acompanha a humanidade desde a pré-história, uma vez que a qualidade do solo define o formato e as dimensões mais adequadas para a execução dos elementos da infraestrutura das edificações. Nesse cenário, o desenvolvimento dos métodos de investigação dos solos torna-se essencial. Os registros no Oriente Próximo, em antigos impérios, confirmam tal necessidade, pois alguns locais recebiam edificações mais robustas e vinham à ruína, em função de recalques sofridos pela estrutura (NETO, 2012).

Dessa forma, Neto (2012) apresenta informações de que os primeiros vestígios da mecânica dos solos surgiram no século XVIII, quando as experiências, já acumuladas, começaram a ser metodizadas. O autor afirma que os primeiros dados obtidos do solo foram informações empíricas de pressões de terra, tomando como base o denominado ângulo de talude natural e peso específico do solo, tendo em seguida a classificação do tipo de solo.

Segundo Cavalcante (2002), o ensaio SPT (*Standard Penetration Test*) pode ser dividido em quatro períodos, sendo que o primeiro foi de 1902 a 1920, quando se iniciou a obtenção de dados do solo por meio do processo dinâmico de cravação. O segundo período parte de 1927 seguindo até 1950, época em que autores renomados escreveram sobre o assunto. Em seguida começaram as discussões sobre a normalização do *Standard Penetration Test* (SPT), prolongando-se este até a década de 70. Por volta de 1977, os primeiros interesses em verificar a energia transmitida para as hastes e para o amostrador se destacam.

No entanto, foi em meados do ano de 1920 que a investigação do solo passou a ser considerada de grande importância, para garantir uma construção confiável. Buscou-se, nesse período, uma forma de transformar as sondas geológicas de percussão em um equipamento de fácil manuseio. Dessa forma, surgem os primeiros equipamentos para a realização do *Standard Penetration Test* - SPT, quando convencionou-se chamar o resultado obtido de “resistência à penetração” (NETO, 2012).

Sabe-se que a falta de uma investigação de solo adequada gera resultados negativos, como: má execução de projetos, desvio de cronogramas, aumento dos custos durante e após a

execução da obra, além de gerar impactos ambientais e gerar um risco de ruir a estrutura. (US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2001)

Entendendo assim os problemas ocasionados pela falta de conhecimento das características do solo, nota-se que antes de qualquer interação com o solo, seja ela a execução de uma edificação ou uma simples regularização do terreno, é fundamental o estudo das propriedades dele.

Nota-se que, ao longo dos anos, o ensaio SPT vem sendo realizado de forma manual, porém a necessidade de aprimorar, acelerar e dar maior precisão no processo de execução, investigação e edificação modificou o cenário em busca de aplicações mecânicas do método.

Nesse contexto, o presente trabalho tem por finalidade apresentar um comparativo entre os métodos da sondagem SPT, também conhecida como sondagem à percussão, executada de forma manual e de forma mecânica. O trabalho tem como foco um estudo de caso realizado na Região Oeste do Paraná, de modo a analisar os resultados dos testes e caracterizá-los em função de sua eficiência, indicando a precisão de cada equipamento considerando a variação de energia de queda do martelo, o principal fator de confiabilidade dos métodos.

Justifica-se a realização do presente trabalho pela necessidade de compreender as características e peculiaridades dos diferentes métodos observados para a obtenção das informações do solo. Torna-se essencial comprovar a acurácia e precisão dos dados obtidos em campo, a fim de otimizar o processo de tomada de decisões ao se tratar da eficiência na escolha das fundações.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Toda obra de engenharia possui uma ameaça de fracasso, porém, quando se trata do solo, o perigo da falha é maior do que outras áreas da engenharia civil, devido às incertezas do objeto em questão (VELLOSO; LOPES, 2015).

Se comparado aos custos de uma edificação, o valor de uma sondagem é relativamente baixo. A realização de uma investigação do solo, por meio de sondagens, fica em torno de 0,2% e 0,5% do valor global de uma obra comum, variando de forma onerosa em obras especiais ou de solo com características peculiares (SCHNAID; ODEBRECHT, 2014). Sendo assim, o custo da obtenção das características do solo torna-se mais econômico do que um futuro reparo ou inutilização de uma estrutura.

Diversos equipamentos e métodos são utilizados para a realização do estudo do solo, de modo a compreender suas características. No Brasil, destacam-se os seguintes métodos de investigação do solo: SPT (*Standard Penetration Test*), cone, piezocone, pressiómetro, palheta e dilatômetro (SCHNAID; ODEBRECHT, 2014).

A escolha do método a ser executado e a própria execução da sondagem deve ser acompanhada e orientada por um profissional legalmente habilitado, para que este consiga analisar os custos e as peculiaridades da obra e decidir pelo melhor método de ensaio e, posteriormente, pela obtenção dos dados e pela melhor solução para a interação com o solo. De forma sucinta, a escolha do método de investigação parte dos critérios de maior eficiência em relação ao menor risco de imprecisão de dados e menor custo. Estes ensaios de sondagem são realizados em campo e permitem conhecer as características das várias camadas do solo, inclusive determinar qual tipo de solo está presente (SCHNAID; ODEBRECHT, 2014).

O ensaio à percussão SPT é um dos métodos mais utilizados no Brasil. Belincanta e Ferraz (2000) afirmam que, em razão de ser um método simples, robusto e eficiente, o *Standard Penetration Test* é a forma de investigação mais comum no Brasil para a obtenção das características do solo.

Da mesma forma, segundo Schnaid e Odebrecht (2014), o sistema de sondagem mais popular é o SPT, por se tratar de um método com maior viabilidade financeira em todo o mundo, em especial no Brasil. Este serve tanto para solos granulares quanto para os de consistência coesiva, e ainda pode ser aplicado em rochas brandas.

Os métodos de execução da sondagem à percussão (SPT) na forma manual e na forma mecânica possuem características de execução parecidos. Assim Velloso e Lopes (2015) descrevem que o ensaio é realizado de acordo com a NBR 6484 (ABNT, 2001), sendo este executado de metro a metro. Consiste na cravagem de um amostrador padrão por meio de pancadas com um martelo padrão de 65 kgf em cada 75 cm de altura.

Onde a energia potencial teórica, energia que o corpo possui devido à atração gravitacional da Terra em relação a um nível de referência, é de 487,5 J, que corresponde ao martelo de 65 kgf caindo a uma altura de 75 cm e com aceleração da gravidade de 10 m/s².

Conforme a NBR 6484 (ABNT, 2001), quando houver qualquer variável que altere a energia disponível para a cravação do amostrador padrão, deve ser apresentada a medida desta energia de queda e sua respectiva correlação.

O ensaio inicia-se com um furo por meio de um trado até a profundidade de 100 cm, sendo, na sequência, inserido o primeiro segmento do tubo de revestimento. Após cada metro

de perfuração, coleta-se uma amostra do solo por meio de um amostrador-padrão fixado na ponta de uma haste. Marca-se, tomando como referência o tubo de revestimento, uma fração de 45 cm divididos em três trechos iguais de 15 cm cada. Apoiando-se o martelo na cabeça da haste, inicia-se a cravação do amostrador, até a marca dos 45 cm, com a queda livre do martelo a uma altura de 75 cm. Nota-se que deve ser anotado o número de golpes necessários para a introdução de cada trecho de 15 cm. As amostras coletadas a cada metro devem ser colocadas em um recipiente hermético para posterior análise de laboratório (NBR 6484, ABNT, 2001).

Schnaid e Odebrecht (2014) dizem que o resultado do ensaio se dá pelo número N_{spt} , que é o número de golpes necessárias para que o amostrador padrão penetre no solo os últimos 30 cm, isso após ultrapassar inicialmente 15 cm.

O martelo possui diversas variações de modelo, sendo que esta variação é o que diferencia o método manual do método mecânico. Desse modo, este possui dois métodos para a elevação, um por meio de gatilho, em que a elevação é manual, tratando-se então do método de execução SPT manual, ou por meio de um guincho auto propelido, no qual o martelo é elevado de forma automática, o que garante um golpe controlado e, conseqüentemente, uma uniformidade no resultado obtido. Este último trata-se do método SPT mecanizado (SCHNAID; ODEBRECHT, 2014).

Conforme Baillot e Junior (1999), o sistema de execução automático é dotado também de um trado hidráulico denominado *hollow auger*. Na forma manual os trados utilizados para a abertura do furo são trados manuais (SCHNAID; ODEBRECHT, 2014).

Vale destacar que os principais fatores que influenciam nos resultados obtidos por meio do ensaio de sondagem à percussão podem ser definidos como: haste, dimensões do amostrador, e falha humana (BAILLOT; JUNIOR, 1999).

Afirmam Baillot e Junior (1999) que os valores obtidos no processo mecânico são mais consistentes do que os na forma manual da sondagem, por se tratar de uma forma de obter os resultados mais precisos e com menor desvio padrão.

3 METODOLOGIA

Neste trabalho os resultados foram obtidos por meio de ensaios em campo, na Região Oeste do Paraná. Foram realizados ensaios e coletadas amostras de solo por meio do método de *Standard Penetration Test* – SPT, tanto com o equipamento manual quanto com o mecânico. Tomando como base os resultados obtidos no laudo expedido por profissional capacitado e

dados observados em campo, os dados de ambos os métodos de execução foram comparados a fim de verificar as disparidades encontradas entre ambos.

A amostragem foi coletada em terrenos distintos, devido a não interferência por diferentes características de solo na metodologia empregada. Para a realização deste trabalho, foram coletadas 25 amostras de golpes de martelo pelo método mecânico e 25 amostras de golpes pelo método de sondagem à percussão manual.

A sondagem foi realizada em conformidade com a NBR 6484 (ABNT,2001) e executada por uma empresa especializada da região.

3.1 SONDAGEM A PERCUSSÃO MECÂNICA X MANUAL

Dessa forma, a operação do SPT mecânico iniciou-se com o posicionamento do equipamento. Em seguida utilizou-se a perfuração com o trado helicoidal, acoplado ao equipamento hidráulico, até alcançar 100 cm de profundidade. Após este processo, inseriu-se o amostrador padrão com o auxílio do martelo, também acoplado no equipamento hidráulico.

Figura 1 – Equipamento mecânico

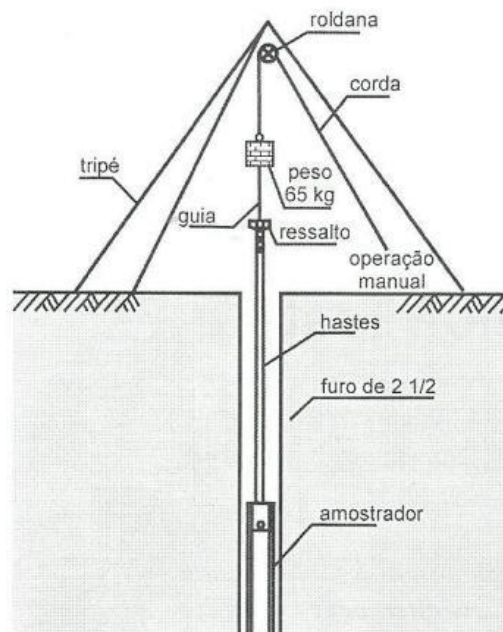


Fonte: O autor, 2018

Para a cravação do amostrador, marcaram-se 45 cm em sua haste, dividindo-a em 3 seções de 15 cm. Anotou-se o número de batidas do martelo necessárias para cravar os últimos 30 cm, obtendo um valor para cada seção de 15 cm, resultando, assim, no Nspt do trecho.

O processo de execução com o equipamento manual assemelha-se ao mecânico, porém todas as etapas são braçais. Assim sendo, foi feita a perfuração com trado helicoidal manual e o martelo içado manualmente até a altura de 75 cm com auxílio de roldana e corda.

Figura 2 – Equipamento manual



Fonte: Felipe Cava, 2016

3.2 OBTENÇÃO DE DADOS

Inicialmente, os dois métodos foram gravados em formato de vídeo a fim de obter imagens do curso do martelo, desde o início da queda livre até o momento em que este entra em choque com a cabeça de bater.

Para a realização da obtenção de dados da altura de queda do martelo, podem ser realizados ensaios de sondagem gravados com o auxílio de uma filmadora (ODEBRECHT, 2013). Para obter a confiabilidade necessária de tal grandeza, inseriu-se uma mira topográfica durante as gravações, ao lado dos equipamentos, para assim ter uma medida conhecida como referência. Além disso, manteve-se o equipamento de filmagem fixo durante todo o processo para evitar distorções dos dados referentes ao posicionamento da imagem.

Figura 3 – Mira topográfica como medida de referência no equipamento mecânico



Fonte: O autor, 2018

Figura 4 – Mira topográfica como medida de referência no equipamento manual



Fonte: O autor, 2018

As gravações foram analisadas quadro a quadro, a fim de obter as medidas exatas de cada momento do trajeto do martelo. As imagens, após serem separadas em quadros, passaram a ser analisadas no software AutoCAD com a finalidade de obter o valor da altura de queda do martelo.

O tratamento da imagem se deu pelo ajuste da escala, tendo como referência de medida a mira topográfica, a qual foi inserida durante as gravações.

Figura 5 – Análise de medida no software AutoCAD do equipamento mecânico



Fonte: O autor, 2018

Figura 6 – Análise de medida no software AutoCAD do equipamento manual



Fonte: O autor, 2018

3.3 ENERGIA POTENCIAL TEÓRICA

A altura de queda do martelo forneceu informações suficientes para análise da energia potencial teórica de cada golpe realizado. Para isso, foi aplicada a Equação (1) para sua definição.

$$E = m \cdot g \cdot h \qquad \text{Equação (1)}$$

Sendo:

- (E) energia potencial teórica
- (m) massa do martelo
- (g) aceleração da gravidade
- (h) altura de queda do martelo

Para a execução do presente trabalho, foram desconsideradas as perdas de energia e a velocidade durante a queda do martelo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Diante dos dados coletados e tratados, nota-se que a altura de queda do martelo até a cabeça de bater varia na ordem de centímetros e de formas diferentes em cada método. A tabela 1 expõe as alturas de queda de cada golpe obtidas pelos ensaios mecânico e manual. Neste cenário, nota-se uma grande variação no método manual, com uma amostragem de amplitude de 22,81 cm, comparado a uma amplitude de 0,69 cm do método mecânico.

Assim, observam-se variações na ordem de 30% e 0,92% para o valor fixado inicialmente pela norma (75 cm) para os métodos manual e mecânico, respectivamente.

Nota-se ainda que o método de SPT mecânico apresenta dados mais homogêneos quando comparado com o manual. Devido à baixa variação de valores, o método mecânico, em sua altura de queda, possui um desvio padrão de 0,19 cm. O método manual, por sua vez, apresenta dados não uniformes, com um desvio padrão de 6,21 cm.

Silva (2015) afirma em seu trabalho que, no método com o levantamento manual do martelo, a variação da altura de queda é bastante significativa, pois interfere no resultado do ensaio, gerando informações que podem não ser representativas sobre o solo estudado.

Tabela 1 – Dados obtidos por meio da análise do ensaio mecânico e manual

Queda	Método Mecânico	Método Manual
	Altura de queda (cm)	Altura de queda (cm)
1	75,44	93,50
2	75,54	82,48
3	75,69	86,38
4	75,66	93,95
5	75,53	77,85
6	75,51	75,51
7	75,50	72,86
8	75,50	71,48
9	75,45	77,43
10	75,49	71,14
11	75,43	75,06
12	75,00	75,41
13	75,06	71,34
14	75,09	71,43
15	75,61	75,80
16	75,63	77,91
17	75,52	82,72
18	75,49	83,52
19	75,28	82,45
20	75,30	76,73
21	75,34	80,07
22	75,13	80,10
23	75,28	75,27
24	75,21	75,84
25	75,40	73,40
Desvio Padrão	0,191021814	6,217022412

Fonte: O autor, 2018

Da mesma maneira que houve variação na altura de queda do martelo em cada golpe, foi possível notar a variação da energia potencial teórica que está ligada de forma diretamente proporcional com a altura de queda.

Tais dados, conforme apresentados a seguir na tabela 2, indicam uma variação de 4,49J no ensaio mecânico e uma variação de energia de 148,27 J no ensaio manual. Sendo assim, a variação de energia na sondagem à percussão realizada de forma mecânica é 33,02 vezes menor que a obtida por meio do ensaio com o equipamento manual.

De modo igual, obtém-se maior discrepância na análise da energia potencial teórica no método manual, sendo que neste obtém-se um desvio padrão de 40,41 J, valor elevado quando confrontado com o desvio padrão do ensaio mecânico que possui um desvio de 1,24 J.

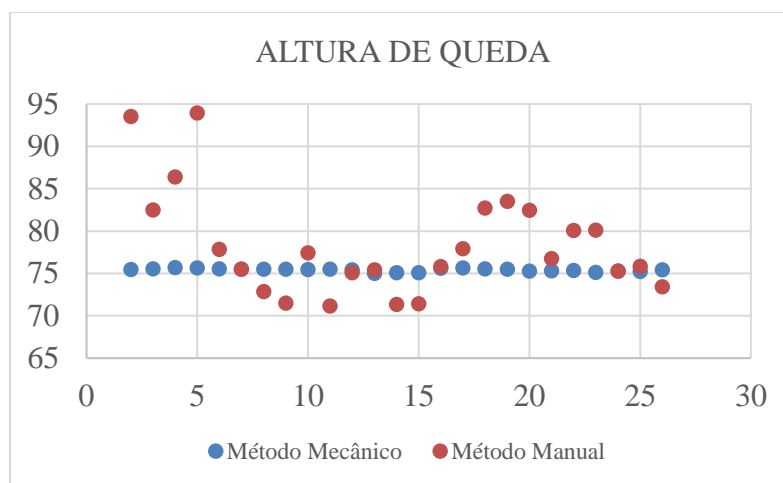
Tabela 2 – Variação da energia potencial teórica no ensaio mecânico e manual.

	Método Mecânico	Método Manual
Queda	Energia Potencial Teórica (J)	Energia Potencial Teórica (J)
1	490,36	607,75
2	491,01	536,12
3	491,99	561,47
4	491,79	610,68
5	490,95	506,03
6	490,82	490,82
7	490,75	473,59
8	490,75	464,62
9	490,43	503,30
10	490,69	462,41
11	490,30	487,89
12	487,50	490,17
13	487,89	463,71
14	488,09	464,30
15	491,47	492,70
16	491,60	506,42
17	490,88	537,68
18	490,69	542,88
19	489,32	535,93
20	489,45	498,75
21	489,71	520,46
22	488,35	520,65
23	489,32	489,26
24	488,87	492,96
25	490,10	477,10
Desvio Padrão	1,241641789	40,41064568

Fonte: O autor, 2018

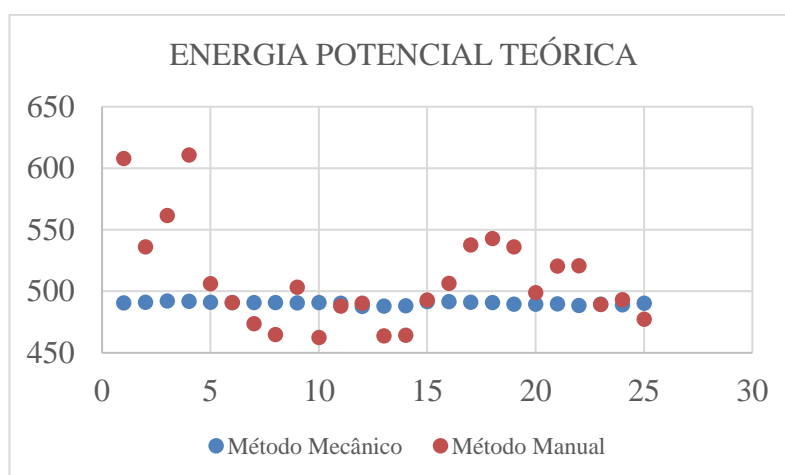
Com as figuras 7 e 8 a seguir, variação da altura de queda e variação de energia potencial, respectivamente, é possível observar as dispersões dos dados anteriormente discutidos.

Figura 7 – Dispersão da altura de queda para o método manual e mecânico.



Fonte: O autor, 2018

Figura 8 – Dispersão da energia potencial teórica para o método manual e mecânico.



Fonte: O autor, 2018

Ainda pode-se analisar os valores de variância de cada método de modo que tais dados permitem reafirmar a diferença de heterogeneidade de cada grupo, sendo que o método de sondagem à percussão mecânico possui uma taxa de variância de 0,036 para a altura de queda e taxa de 1,54 para a energia potencial. Os valores de variância do método manual ressaltam a imprecisão do método de execução, sendo que para altura de queda obteve-se uma taxa de 38,65, enquanto para a energia de queda a variância chega a 1633,02.

Quando analisada a significância entre a diferença de valor obtidos entre os grupos, obtêm-se valores significativamente diferentes, uma vez que o valor-p, 0,0204 é menor que o

nível de significância estabelecido de 0,05. Diante de tais resultados, por meio de tal análise estatística amplamente reconhecida, entende-se que a possibilidade de haver um resultado de maior diferença no método mecânico é de apenas 2,04 %, sendo desconsiderado pelo método estatístico, o qual estabelece um nível de significância de 5 %.

Além disso, por meio da análise estatística, observa-se que F calculado (5,746), é maior que o valor de F crítico, (4,043), ressaltando a diferença significativa no desempenho dos métodos manuais e mecânicos analisados. Tais dados são apresentados a seguir nas tabelas 3 e 4, por meio da análise da altura de queda e da energia potencial teórica, respectivamente.

Tabela 3 – Variância da altura de queda.

RESUMO						
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
Método Mecânico	25	1885,08	75,4032	0,036489		
Método Manual	25	1959,63	78,3852	38,65137		

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	111,1541	1	111,1541	5,746198	0,020465	4,042652
Dentro dos grupos	928,5086	48	19,34393			
Total	1039,663	49				

Fonte: O autor, 2018

Tabela 4 – Variância da energia potencial teórica.

RESUMO						
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
Método Mecânico	25	12253.08	490.1232	1.5428227		
Método Manual	25	12737.595	509.5038	1633.0203		

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	4695.095705	1	4695.0957	5.7447714	0.0204803	4.0426521
Dentro dos grupos	39229.51456	48	817.28155			
Total	43924.61026	49				

Fonte: O autor, 2018

Torna-se evidente, ainda, a significativa diferença entre as variações de cada método quando aplicado o Teste-T de Student, de forma que o método manual tem maior heterogeneidade quando comparado ao método mecânico. Em tal teste, a evidência da significância é possível ser notada devido ao valor $P(T \leq t)$ bi-caudal ser próximo a zero, tanto para a altura de queda, quanto para a energia potencial teórica.

Tabela 5 – *Teste-T de Student* da altura de queda.

	<i>Método Mecânico</i>	<i>Método Manual</i>
Média	75.4032	78.3852
Variância	0.036489333	38.65136767
Observações	25	25
Hipótese da diferença de média	0	
gl	24	
Stat t	-2.397122931	
$P(T \leq t)$ uni-caudal	0.01233236	
t crítico uni-caudal	1.71088208	
$P(T \leq t)$ bi-caudal	0.024664721	
t crítico bi-caudal	2.063898562	

Fonte: O autor, 2018

Tabela 6 – *Teste-T de Student* da energia potencial teórica.

	<i>Método Mecânico</i>	<i>Método Manual</i>
Média	490.1208	509.5038
Variância	1.542822667	1633.020284
Observações	25	25
Hipótese da diferença de média	0	
gl	24	
Stat t	-2.396825278	
$P(T \leq t)$ uni-caudal	0.012340395	
t crítico uni-caudal	1.71088208	
$P(T \leq t)$ bi-caudal	0.024680791	
t crítico bi-caudal	2.063898562	

Fonte: O autor, 2018

4 CONCLUSÃO

Por meio dos resultados obtidos com esta pesquisa, ressalta-se a importância da investigação geotécnica para a execução de edificações, em função de seus benefícios. Destaca-se também a necessidade da busca contínua da implementação de meios tecnológicos nos processos de execução das técnicas existentes, reduzindo erros operacionais. Dessa forma, verificam-se as disparidades entre o método de sondagem à percussão mecânica e manual, no

qual, por meio de análises *in loco*, depara-se com a maior precisão e confiabilidade do método mecânico em relação ao manual, uma vez que os parâmetros de continuidade foram os critérios observados para este cenário.

Conforme afirma Cavalcante (2012), de acordo com o equipamento utilizado e o sistema de operação, a altura de queda do martelo pode sofrer variações significativas de valores, sendo que até mesmo em métodos mecânicos é possível a existência da mesma variação. Da mesma forma, devido à variação de altura de queda, fica evidente a variação da energia potencial teórica, obtendo-se valores acima e abaixo do preconizado.

Em conformidade com Baillot e Junior (1999), os métodos de sondagem com equipamentos mecânicos possuem resultados confiáveis e mais precisos. Reafirma-se que, de fato, a sondagem SPT realizada com o equipamento mecânico possui menor interferência humana durante as etapas de execução, principalmente ao que se refere ao içamento do martelo. Assim sendo, na forma mecânica, obtém-se uma menor variação da altura de queda do martelo e menor variação da energia potencial teórica.

Além disso, a grande variação entre os resultados encontrados causa ora um superdimensionamento da fundação - gerando assim um custo desnecessário para a execução dela -, ora um subdimensionamento, que, por sua vez, gera um risco iminente à estrutura toda.

Sendo assim, devido à sua maior precisão e uniformidade de dados, conclui-se que a execução da investigação do solo por meio do método à percussão é mais vantajosa e segura quando executada de forma mecanizada. Isso ocorre pois uma sondagem com precisão garante maior economia no decorrer de toda a obra, além de garantir uma segurança superior em comparação a uma sondagem sem precisão de dados.

Tratando-se de custo-benefício, após pesquisa em empresa especializada da região, obteve-se a informação de que o custo para a execução da sondagem pelo método à percussão é de R\$ 55,00 reais para cada metro de perfuração, sendo que tal preço é igual para os dois equipamentos, manual e mecânico. De tal modo, reafirma-se a vantagem da utilização do equipamento mecânico para a realização da sondagem SPT, sendo que pelo mesmo custo é possível obter maior precisão de dados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6.484**: Solo: Sondagens de simples reconhecimento com SPT: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

BAILLOT, R. T.; JUNIOR, A. R. **Sondagem a Percussão: Comparação Entre Processos Disponíveis para Ensaio SPT**. 1999.

BELINCANTA, A.; FERRAZ, R. L. **Contribuição da Universidade Estadual de Maringá no entendimento da sondagem de simples reconhecimento com SPT**. 2000.

CAVALCANTE, E. H. **Investigação teórico-experimental sobre o SPT**. Tese (Doutorado) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2002.

CHIOSSI, N. J. **Geologia Aplicada a Engenharia**. São Paulo: Gremio politécnico, 1975.

NETO, N. F. D. A. **Fundações Teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.

ODEBRECHT, E. **Medidas de Energia no Ensaio SPT**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2003.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. **Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

SILVA, E. S. **Medição de Altura de Queda e Velocidade de Impacto do Martelo no SPT**. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2015.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Engineering design: geotechnical investigations. Manual 1110-1-1804**. 2001.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações: Critérios de Projeto – Investigações do Subsolo – Fundações Superficiais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

APÊNDICES

Tabela 1 – Cálculo energia potencial teórica para o método mecânico.

Queda	Altura de queda (cm)	Aceleração da gravidade (m/s ²)	Massa do martelo (kgf)	Energia Potencial Teórica (J)
1	75.44	10	65	490.36
2	75.54	10	65	491.01
3	75.69	10	65	491.99
4	75.66	10	65	491.79
5	75.53	10	65	490.95
6	75.51	10	65	490.82
7	75.50	10	65	490.75
8	75.50	10	65	490.75
9	75.45	10	65	490.43
10	75.49	10	65	490.69
11	75.43	10	65	490.30
12	75.00	10	65	487.50
13	75.06	10	65	487.89
14	75.09	10	65	488.09
15	75.61	10	65	491.47
16	75.63	10	65	491.60
17	75.52	10	65	490.88
18	75.49	10	65	490.69
19	75.28	10	65	489.32
20	75.30	10	65	489.45
21	75.34	10	65	489.71
22	75.13	10	65	488.35
23	75.28	10	65	489.32
24	75.21	10	65	488.87
25	75.40	10	65	490.10
Desvio Padrão				1.241641789

Tabela 2 – Cálculo energia potencial teórica para o método manual.

Queda	Altura de queda (cm)	Aceleração da gravidade (m/s ²)	Massa do martelo (kgf)	Energia Potencial Teórica (J)
1	93.50	10	65	607.75
2	82.48	10	65	536.12
3	86.38	10	65	561.47
4	93.95	10	65	610.68
5	77.85	10	65	506.03
6	75.51	10	65	490.82
7	72.86	10	65	473.59
8	71.48	10	65	464.62
9	77.43	10	65	503.30
10	71.14	10	65	462.41
11	75.06	10	65	487.89
12	75.41	10	65	490.17
13	71.34	10	65	463.71
14	71.43	10	65	464.30
15	75.80	10	65	492.70
16	77.91	10	65	506.42
17	82.72	10	65	537.68
18	83.52	10	65	542.88
19	82.45	10	65	535.93
20	76.73	10	65	498.75
21	80.07	10	65	520.46
22	80.10	10	65	520.65
23	75.27	10	65	489.26
24	75.84	10	65	492.96
25	73.40	10	65	477.10
Desvio Padrão				40.41064568