

Validação da Tensão Admissível do Solo através das Formulações Teóricas x Ensaio de CPE (Cone de Penetração Estático)

Wandemyr Mata dos Santos Filho, MSc

Departamento de Engenharia Civil - UNAMA e **AlphaGeo** Fundações Ltda– Belém, Pará, Brasil

Rafael Ivo da Silva

UNAMA – Belém, Pará, Brasil

Leonardo Sousa Duarte

UNAMA – Belém, Pará, Brasil

RESUMO: Este trabalho tem por objetivo geral determinar a tensão admissível do solo através dos métodos teóricos de Terzaghi, Meyerhof, Hansen e Vesic e empíricos baseados no ensaio de SPT, em comparação com os resultados da tensão admissível do solo obtida através do ensaio de CPE (*Cone de Penetração Estático*) *in situ*. Para tal, se utiliza de um caso prático de uma edificação de dois pavimentos, cujo projeto de fundação foi fundamentado com base no valor da tensão admissível do solo obtido pelos métodos teóricos, acima citados, e consequentemente comprovados através da leitura obtida pela resistência oferecida pelo solo à cravação do *Cone de Penetração Estático* (CPE).

PALAVRAS-CHAVE: Fundação, Sapatas, Tensão Admissível, CPE.

1 INTRODUÇÃO

A engenharia de fundação se baseia desde os primórdios no conceito da determinação da capacidade de suporte do solo, e mais recentemente na avaliação do recalque.

Conceitualmente define-se fundações rasas, superficiais ou diretas como sendo aquelas cuja cota de assentamento não ultrapassa três (03) metros em relação a superfície do terreno. Nesta classificação se enquadram as fundações do tipo bloco isolado, sapata isolada ou associada, sapata corrida e em alguns casos o emprego de tubulões.

O importante nestes casos, é que a solução para o dimensionamento da geometria, largura, comprimento ou diâmetro, dessas fundações se baseia na determinação da capacidade de suporte do terreno, a qual se recebe a denominação de tensão admissível do solo.

Com o advento computacional, equações matemáticas consideradas até então de difícil resolução, passaram a ser mais acessíveis, as

quais disponibilizam resultados mais condizentes com os modelos propostos de ruptura do solo.

Diversos autores, tais como Terzaghi, Meyerhof, Hansen e Vesic, apresentaram formulações matemáticas para a determinação da tensão admissível do solo, com o uso de variáveis, tais como parâmetros geotécnicos (ângulo de atrito Φ , intercepto coesivo c , e massa específica γ), geometria das fundações (largura, comprimento e cota de assentamento).

Até 1998, o final da década do século passado, a engenharia de fundações regional, basicamente, se utilizava somente de valores da tensão admissível do solo gerados a partir de formulações empíricas com base no índice de resistência à penetração do amostrador do ensaio de SPT, conhecido como N-SPT.

O grande dilema, consistia na discrepância entre os valores de tensão admissível do solo obtido pelos dois (02) métodos, quando comparados entre si.

Quantitativamente, resultados obtidos pelas formulações empíricas da ordem de 100 a 150 kPa passavam a atingir valores da grandeza de 200 kPa, quando aplicadas as formulações matemática.

Somente em 2007, com o trabalho desenvolvido pelo então acadêmico de engenharia civil e engenheiro civil Mario Burnet, conseguiu-se de fato confirmar os valores obtidos pelas formulações matemáticas através da realização do ensaio de prova de carga direta em placa.

A partir desse instante, com o emprego das formulações teóricas implementadas em um programa computacional matemático, os projetos de fundações diretas passaram a ser desenvolvidos largamente com os valores da tensão admissível do solo, com base nessas equações.

Porém, a necessidade constante do atendimento básico da segurança das fundações, obrigava a confirmação desses valores de tensão admissível do solo obtidos por estes métodos analíticos.

A dificuldade da constante realização cotidiana do ensaio de prova de carga direta em placa, nos casos reais diários de elaboração de projetos de fundação, foi o principal motivador deste trabalho de pesquisa, o qual consiste na validação da tensão admissível do solo obtida pelas formulações teóricas através do emprego de um ensaio de campo denominado de **CPE** (*Cone de Penetração Estático*).

O princípio básico consiste em estabelecer uma correlação direta na obtenção da tensão admissível do solo com o emprego de uma metodologia de ensaio de campo, simples, rápida, eficiente e econômica, através do **CPE** (*Cone de Penetração Estático*).

Deste modo o trabalho se divide em apresentar os métodos teóricos utilizados para determinar a tensão admissível do solo, apresentar os ensaios de laboratório para a caracterização do solo em estudo e correlacionar o ensaio do CPE com a aplicação dos métodos teóricos e empíricos para a validação da tensão admissível do solo no terreno da fundação assentada na cota de dois (02) metros.

2 CPE (*Cone de Penetração Estático*)

2.1 Descrição do Equipamento

“O Cone de Penetração Estática é um instrumento que tem por finalidade fornecer índices sobre a resistência que o solo oferece à sua penetração” (ABGE, 1980).

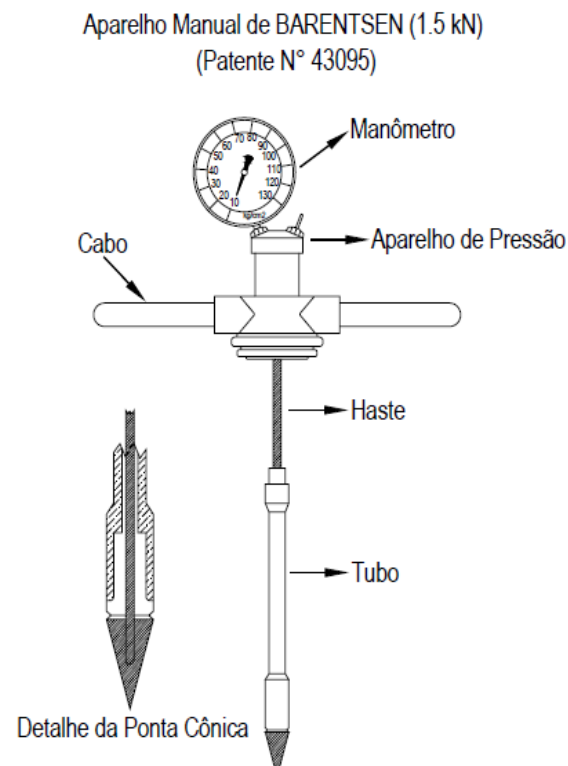


Figura 1. Aparelho desenvolvido por Barentsen (AOKI, 1973 apud SOUZA,2007)

Röhm (1984) apud Tsuha (2003) relata que engenheiros e arquitetos já se utilizavam do artifício de cravar varas de madeira no solo já no século XIX. O objetivo era obter uma resultante de reação do solo durante a cravação dos objetos. A evolução desse processo resultou no desenvolvimento dos cones de penetração. Estes evoluíram da necessidade de se adquirir dados em subsolos que não eram obtidos por quaisquer outros meios (SANGLERAT,1972 apud SOUZA,2007).

De acordo com Sanglerat (1972), o Cone de Penetração Estática consiste de uma haste metálica munida de uma ponta cônica que pode ser introduzida no terreno por meio de um processo estático. Com o CPE a energia necessária para efetuar a penetração é obtida

por meio de sistemas de macacos hidráulicos, coroa-pinhão, corrente e outros.

Röhm (1984) afirma que as determinações das propriedades do solo, com o auxílio dos cones de penetração, são baseadas no fato de que a resistência a penetração apresentada pelo solo é função de suas características geotécnicas.

Segundo Sanglerat (1972) apud Souza (2007), as características dos vários tipos de penetrômetros estáticos permitem avaliar corretamente os diagramas de penetração, pois os resultados encontrados podem variar de acordo com cada tipo de aparelho, visto que os métodos variam de acordo com cada um deles, o que reflete nas leituras realizadas.

Existem dois tipos de penetrômetros estáticos, sendo eles:

a) *CPE de Ponta Móvel*: a resistência de ponta é medida de acordo com o avanço do cone localizado logo abaixo do revestimento e impede o atrito do solo contra a haste do aparelho;

b) *CPE de Ponta Fixa*: a ponta e a haste se movem simultaneamente. Este tipo de aparelho mede a resistência de ponta e o atrito lateral. A resistência à penetração é obtida através do deslocamento dos anéis dinamométricos. Neste trabalho utilizou-se este modelo.

3 METODOLOGIA APLICADA

Este trabalho consiste em uma “trilogia” iniciada em 1998, com a implementação computacional feito por Pereira, E.N, e Ribeiro, M.M (1998) apud Burnet, 2007, os quais conseguiram através do software computacional MATHCAD, criar um ambiente mais ágil, simples e eficiente de aplicação das formulações matemáticas propostas pelos autores Terzaghi, Meyerhof, Hansen e Vesic para o cálculo da tensão admissível do solo, com o emprego dos parâmetros geotécnicos (γ , Φ e c) e de assentamento da fundação.

Nove (09) anos depois, em 2007, Burnet, M.A, conseguiu definitivamente confirmar os resultados da tensão admissível do solo obtidos analiticamente, cujos valores sempre se apresentam superiores em comparação com o uso de formulações empíricas com base no N-

SPT, valor este comumente utilizado na prática do dimensionamento de fundações superficiais.

Na prática, as fundações dimensionadas com base nas formulações empíricas do N-SPT sempre apresentam dimensões maiores do que as obtidas através das formulações teóricas.

O empasse, portanto, consistia na comprovação dos valores analíticos, fato que só foi possível com a realização de ensaios de prova de carga em placas, conforme figura 2.



Figura 2. Ensaio de prova de carga direta em placa (BURNET, 2007).

Neste momento, havia-se atingido mais uma etapa nesta caminhada pela qualidade na obtenção do valor da tensão admissível do solo. Dessa forma, vários projetos de fundação superficiais foram dimensionados com base nas formulações teóricas, o que na prática implicava no emprego de valores da tensão admissível do solo de uma ordem de grandeza de 100 a 250 kPa para 250 a 350 kPa e valores da ordem de 200 a 250 kPa para 450 kPa a 600 kPa.

Devido a relativa dificuldade de aplicação do ensaio de prova de carga em placa nos casos reais de obras de fundações superficiais, e pela impaciência dos clientes quanto ao tempo necessário para a realização deste ensaio de campo (porém com a permanente necessidade), desenvolveu-se uma metodologia simples, prática e eficiente para a validação “in situ” da tensão admissível do solo em comparação com os valores obtidos pelos métodos teóricos, na permanente necessidade do conceito de segurança de fundações.

Surge então o emprego do ensaio de campo através do equipamento de penetração com ponteira cônica, denominado de **CPE** (Cone de Penetração Estática).

Portanto, neste trabalho, objetiva-se a validação do valor da tensão admissível do solo

obtida pelos métodos analíticos através do emprego do ensaio de campo **CPE**, para o caso real de uma obra de uma residência unifamiliar de dois pavimentos com estrutura apórtica em concreto armado.

Esta fundação foi dimensionada em sapatas retangulares isoladas cêntricas assentadas na cota de dois (02) metros, com tensão admissível do solo adotada igual a 250 kPa, conforme projeto de fundação e perfil do terreno mostrados nas figuras 3.b e 3.c.

Cota de Assentamento

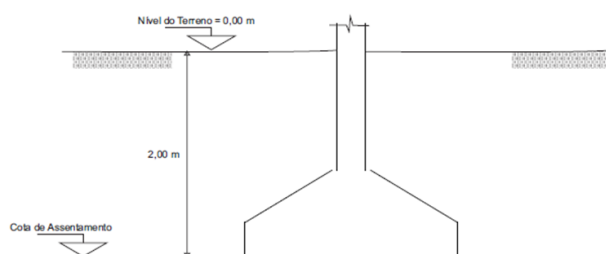


Figura 3. Cota de assentamento da sapata

O princípio do emprego do **CPE** é relativamente simples, consistindo na cravação do cone manualmente, com velocidade constante sem causar grandes perturbações ao solo, praticamente de forma estática.



Figura 3. Cravação do CPE na cota de assentamento

Diferentemente da prova de carga em placa, a qual se realizava, seria aplicada em somente um (01) ponto do solo, ou seja, em uma única sapata, o ensaio do **CPE** consegue ser aplicado em todas as sapatas, contemplando uma total verificação da tensão admissível do solo em toda a área de abrangência da fundação.

Devido à enorme facilidade, porém proporcional inconsistência de resultados, além da cravação do **CPE** em todas as sapatas, dividiu-se a área das fundações em quatro (04) partes, ou quadrantes, e fez-se a penetração do ensaio do **CPE** no centro de cada quadrante e uma quinta penetração no centro geométrico das sapatas, representando o registro de um total de cinco (05) leituras por cada sapata, conforme mostrado na figura 3.e abaixo.

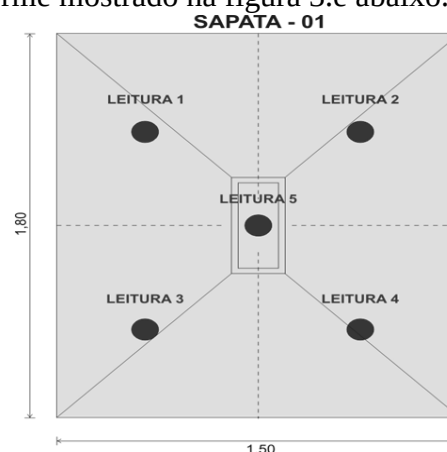


Figura 4.e: Vista da planta-baixa para esquema de cravação do CPE na sapata escavada.

Cuidados do tipo, regularização, nivelamento e limpeza do terreno na cota de assentamento das fundações foram realizadas.

Devido não haver nenhum registro na literatura acadêmica a respeito dos procedimentos, critérios e interpretação do ensaio do **CPE** aplicado na Engenharia de Fundações, vários critérios foram adotados com o intuito de se obter uma melhor interpretação no tratamento dos resultados obtidos, tais como: I) Coleta de amostras deformada do solo: foram coletadas amostras do solo, e transportadas ao Laboratório de Mecânica dos Solos da UNAMA, para realização de ensaios de caracterização, tais como granulometria, limites de consistência (LL e LP) e massa específica real dos grãos.

Ainda, foram moldados corpos-de-prova para realização do ensaio do CBR, com energia de compactação equivalente ao proctor normal.

Neste caso, vale ressaltar que o intuito do ensaio de CBR foi de criar um procedimento para aferição do anel dinamométrico do **CPE**, no que se refere a determinação da constante elástica do anel.

Sendo assim, a ideia consiste no princípio de se fazer o ensaio tradicional do CBR com energia de proctor normal, a qual mais se assemelha às condições do solo “in situ”, e a partir dos valores do CBR do solo compactado, correlacionar com a leitura do **CPE** realizada no mesmo corpo-de-prova do solo empregado no ensaio do CBR.

Com isto, através de um retro análise, se obtém o valor da constante elástica do anel dinamométrico do **CPE** e consequentemente a determinação da tensão admissível do solo ensaiado através da penetração do cone.

II) Coleta de amostras indeformadas do solo: o propósito de se fazer a coleta de amostras indeformadas do solo na cota de assentamento das sapatas, foi de se obter o valor da massa específica natural do solo seca e comparar o valor do ensaio de compactação e realizar o ensaio de cisalhamento direto do solo para a obtenção dos parâmetros de ângulo de atrito e intercepto coesivo do solo ensaiado,

III) Critério de cravação do **CPE**: quanto ao ensaio do cone de penetração estático propriamente dito, não se obteve na literatura específica maiores comentários sobre procedimentos quanto a aspectos referentes e velocidades de cravação, tão pouco quanto ao critério de ruptura do solo durante a cravação do **CPE**.

Sendo assim, observou-se quanto a velocidade de cravação que este se realizava com o menor impacto possível, para não causar grandes perturbações ao solo. Já ao critério de ruptura do solo, adotou-se inicialmente a observação do giro no sentido anti-horário do ponteiro do extensômetro acoplado ao anel dinamométrico do **CPE**.

Entretanto, em alguns casos, duas situações distintas ocorriam neste instante:

A primeira na qual ocorria da ponteira cônica do **CPE** penetrar totalmente no solo, mas mesmo assim o ponteiro do extensômetro não girar no sentido anti-horário.

A segunda, na qual ocorria que existia a impossibilidade do avanço da cravação do **CPE**, até o ponto médio da altura da ponteira cônica, também não se observando o giro anti-horário do extensômetro.

Deste modo, adotou-se como critério de ruptura do solo os dois instantes os quais registravam-se tanto a cravação total da ponteira cônica, quanto a parcial, independente do giro anti-horário do ponteiro do extensômetro.

Sendo assim, adota-se como sendo o valor de **CPE** a tensão de ruptura do solo, nos dois casos de cravação, total e parcial, sendo a tensão admissível do solo obtida a partir deste resultado em função da aplicação do fator de segurança ($FS = 3$).

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 Estudo de Caso – Residência Unifamiliar

O estudo de caso trata-se de um terreno localizado no Condomínio Reserva Jardins, Marituba – PA. O mesmo encontrava-se sem nenhuma edificação e o solo em seu estado natural.

Seu destino é a construção de uma residência unifamiliar, constituída de dois pavimentos, para tanto houve a necessidade de realizar estudos geotécnicos que justificassem a execução de uma fundação superficial para receber a edificação.

Os estudos geotécnicos foram divididos em quatro etapas:

I) Sondagem Geotécnica do tipo SPT;

II) Ensaio de laboratório;

III) Cálculo da Tensão Admissível do Solo através dos Métodos Teóricos;

IV) Cálculo da Tensão admissível do Solo através do Ensaio de **CPE**.



Figura 5: Abertura das sapatas escavadas

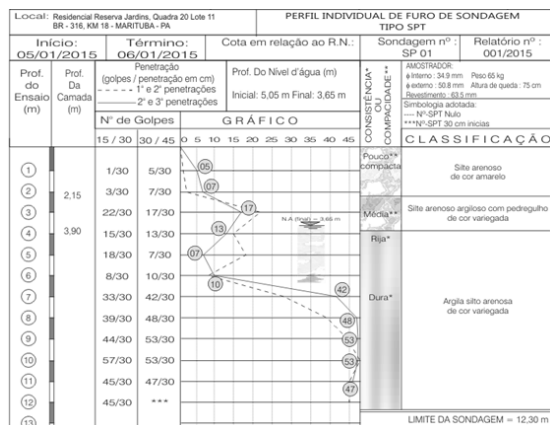


Figura 6: Perfil individual do furo de sondagem, SP-01 (ALPHAGEO Fundações, 2015).

A partir dos perfis de sondagem, verificou-se a possibilidade de se construir uma fundação rasa, em sapata, a uma cota de assentamento de 2,00 m, uma vez que o nível d'água encontrado está a uma profundidade de 3,65 m para o SP – 01, e 3,70m para o SP – 02.

A seguir, a tabela 1 apresenta os resultados dos perfis de sondagem para cota de assentamento de 2,00 m.

Tabela 1: Resultados dos perfis individuais de sondagem, do tipo SPT, para cota de 2,0 m.

PERFIL	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO	NSPT	COMPACTIDADE	N. A.
SP - 01	SILTE ARENOSO DE COR AMARELO	7	POUCO COMPACTA	NÃO
SP - 02	SILTE ARENOSO DE COR AMARELO	6	POUCO COMPACTA	NÃO

4.1.1 - ENSAIO CPE

Para a execução do ensaio foi utilizado um cone de penetração estática, de ponta fixa, o procedimento consiste na cravação do cone no solo, na profundidade de assentamento da fundação. O ensaio é paralisado quando o cone penetra totalmente, ou, quando o solo não permite mais o seu avanço tornando-se impenetrável. As sapatas ensaiadas foram divididas em 04 (quatro) partes, em seguida fez-se a aplicação do cone no centro de cada quadrante e posteriormente no eixo, totalizando cinco cravações por sapata.

Foram realizadas 25 (vinte e cinco) cravações no total, em 05 (cinco) sapatas distintas. Após a cravação verificou-se o encurtamento diametral do anel dinamométrico do equipamento através das leituras realizadas no extensômetro. A tabela 2 a seguir apresenta os valores obtidos nas leituras das sapatas retangulares.

Tabela 2: Valores do **CPE** obtidos nas Sapatas.

CONVENÇÕES:	SAPATAS						
	SE	9	12	13	19	20	21
Leitura 01	70	60	70	60	40	55	60
Leitura 02	70	70	70	65	50	53	50
Leitura 03	60	75	65	80	55	54	85
Leitura 04	60	75	70	80	60	52	55
Leitura 05	60	70	80	65	60	62	60
Leitura Média (µm)	64	70	71	70	53	55	62

Após a realização das leituras, multiplicou-se seus valores médios pela constante elástica do anel dinamométrico para encontrar o valor da carga aplicada em cada sapata, de acordo com a tabela 3.

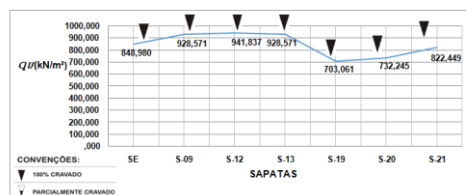
Tabela 3: Determinação da Carga Aplicada por Sapata através do **CPE**.

	SAPATAS						
	SE	S-09	S-12	S-13	S-19	S-20	S-21
Deslocamento Médio	64	70	71	70	53	55	62
Constante Elástica				0,65			
Carga Aplicada por Sapata (kgf)	41,6	45,5	46,15	45,5	34,45	35,88	40,3

Em seguida dividiu-se a força aplicada pela base do cone para determinar a tensão de ruptura (q_u) em cada sapata, como apresentado na tabela 4.

Tabela 4: Determinação da Tensão de Ruptura do Solo por Sapata, **admitida** através do **CPE**.

	SAPATAS						
	SE	S-09	S-12	S-13	S-19	S-20	S-21
Carga Aplicada por Sapata (kgf)	41,60	45,50	46,15	45,50	34,45	35,88	40,30
Área da Base do Cone (cm²)				4,90			
Tensão de Ruptura do Solo (kgf/cm²)	8,49	9,29	9,42	9,29	7,03	7,32	8,22
Tensão de Ruptura do Solo (kN/m²)	848,98	928,57	941,84	928,57	703,06	732,24	822,45
Tensão de Ruptura média do Solo (kN/m²)				843,67			



A média aritmética das tensões de ruptura dividida pelo fator de segurança ($FS = 3$, para fundações superficiais), resulta na tensão admissível do solo em estudo, conforme apresenta a tabela 5.

Tabela 5: Determinação da Tensão Admissível do Solo, **admitida** através do **CPE**.

	SAPATAS						
	SE	S-09	S-12	S-13	S-19	S-20	S-21
Tensão Média das Sapatas (kN/m²)				843,67			
Fator de Segurança FS				3,00			
Taxa Admissível do Solo (kN/m²)				281,22			
Taxa Admissível do Solo (kgf/cm²)				2,81			

O **CPE** foi aplicado nos corpos-de-prova ensaiados no CBR, correlacionando suas leituras de acordo com a umidade de cada corpo-de-prova

Tabela 6: Determinação da tensão do solo admissível através do **CPE X CBR**.

	CP-01	CP-02	CP-03
Deslocamento Médio	135	130	35
Constante Elástica		0,65	
Área da Ponta do CPE (cm²)		4,90	
Tensão de Ruptura do Solo (kN/m²)	1790,82	1724,49	464,29
Tensão de Ruptura do Solo (kgf/cm²)	17,91	17,24	4,64
Taxa Admissível do Solo (kgf/cm²)	5,97	5,75	1,55

CONVENÇÕES:
 ▼ 100% CRIMADO
 ▼ PARCIALMENTE CRIMADO

4.1.2 - Métodos Teóricos

A obtenção dos valores de tensão de ruptura (q_u) e tensão admissível (q_a) se deram através dos cálculos das formulações teóricas dos autores Terzaghi, Meyerhof, Hansen e Vesic. Estes métodos seguem como parâmetros as variáveis do solo (γ , Φ e c). Os resultados, obtidos através de ensaios de laboratório, se encontram na tabela 7 abaixo.

Tabela 7: Tensão admissível através dos Métodos Teóricos.

Método	Parâmetros Utilizados	q_u (kN/m²)	q_a (kN/m²)
MT Terzaghi	$\Phi = 30^\circ$; $\gamma = 17,24 \text{ kN/m}^3$ $c = 25 \text{ kN/m}^2$; $D = 2,00 \text{ m}$ $B = L = 1 \text{ m}$	2118,18	706,06
MT Meyerhof		3387,76	1129,25
MT Hansen		3420,84	1140,28
MT Vesic		5234,94	1744,98

Nota: a) MT = teórico. B) $q_a = q_u / FS$; FS = 3.

4.1.3 - Métodos Empíricos

Os valores da tensão admissível (q_a) foram obtidos através dos cálculos das formulações empíricas dos autores Terzaghi e Meyerhof, que são baseados no valor do N-SPT, e na relação N/5.

Tabela 8: Tensão admissível baseados no valor de N-SPT.

Método	Parâmetros Utilizados	q_u (kN/m²)	q_a (kN/m²)	q_{eqv}
ME Meyerhof	$N = 6$; $D = 2,00 \text{ m}$; $B = L = 1 \text{ m}$	-	29,70	0,11 x
ME Terzaghi		-	75,00	0,27 x
ME (N/5)		-	120,00	0,43 x
M CPE	$D = 2$; Cravação no solo	844,00	281,33	1,00 x

Nota: a) ME = Empírico. B) $q_a = q_u / FS$; FS = 3. C) $q_{eqv} = q_a / q_{aCPE}$

5 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 - Métodos Empíricos x CPE

Os resultados obtidos para tensão admissível do solo, tanto nos métodos teóricos quanto no **CPE** são muito satisfatórios.

O valor encontrado através do Cone de Penetração Estático foi superior ao de Terzaghi, no entanto, os resultados encontrados em Meyerhof, Vesic e Hansen, foram respectivamente superiores ao **CPE** e Terzaghi.

A partir dos resultados, pode-se estabelecer uma relação de equivalência entre os métodos teóricos e o **CPE**, conforme apresentado na tabela 9.

Tabela 9: Valores de tensão admissível do solo, MT x CPE para os parâmetros geotécnicos do solo adotados no caso prático de dimensionamento de fundação.

Método	Parâmetros Utilizados	q_u (kN/m²)	q_a (kN/m²)	q_{eqv}
MT Terzaghi	$\Phi = 21^\circ$; $\gamma = 17,24 \text{ kN/m}^3$	820,28	273,43	0,97 x
MT Meyerhof	$c = 20 \text{ kN/m}^2$; $D = 2,00 \text{ m}$	1137,2	379,07	1,35 x
MT Hansen	$B = L = 1 \text{ m}$	1323,33	441,11	1,57 x
MT Vesic		1976,23	658,74	2,34 x
M CPE	$D = 2$; Cravação no solo	844,00	281,33	1,00 x

Nota: a) MT = teórico. B) $q_a = q_u / FS$; FS = 3. C) $q_{eqv} = q_a / q_{aCPE}$

Para se ter um resultado mais bem ajustado da tensão admissível, o engenheiro projetista admitiu dentro do intervalo de valores, a tensão de 250 kPa. Esse valor é perfeitamente aplicável para o desenvolvimento do projeto, pois é menor que o resultado de Terzaghi e do **CPE**, e maior que os valores dos métodos conservativos baseados no N-SPT.

Uma outra análise consiste em correlacionar os métodos empíricos com o **CPE**. Nesse caso o valor da tensão admissível do CPE supera significativamente os valores obtidos pelos tradicionais métodos empíricos.

Através da tabela 10 é possível comparar os valores da tensão admissível e suas relações de equivalência.

Tabela 10: Tensão Admissível, Métodos Empíricos x CPE.

Método	Parâmetros Utilizados	q_u (kN/m²)	q_a (kN/m²)	q_{eqv}
ME Meyerhof	$N = 6$; $D = 2,00 \text{ m}$; $B = L = 1 \text{ m}$	-	29,70	0,11 x
ME Terzaghi		-	75,00	0,27 x
ME (N/5)		-	120,00	0,43 x
M CPE	$D = 2$; Cravação no solo	844,00	281,33	1,00 x

Nota: a) ME = Empírico. B) $q_a = q_u / FS$; FS = 3. C) $q_{eqv} = q_a / q_{aCPE}$

Quando comparado aos métodos empíricos, o **CPE** apresenta uma larga vantagem. Verifica-se que a tensão admissível obtida pela relação N/5 é igual a 0,43 vezes o valor da tensão pelo **CPE**.

Caso o projeto de fundação da residência em estudo fosse desenvolvido com base na relação N/5, as dimensões das sapatas seriam consideravelmente maiores que as atuais, conforme as figuras 7 e 8.

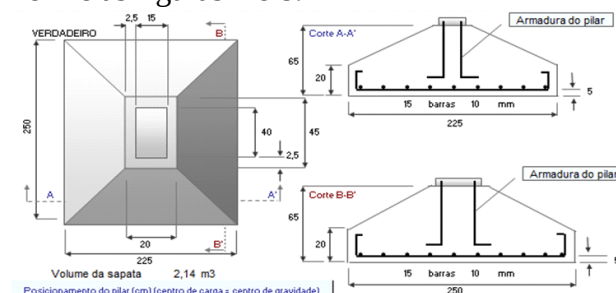


Figura 7: Sapata S – 01, tensão admissível = 120 kPa, Método Empírico

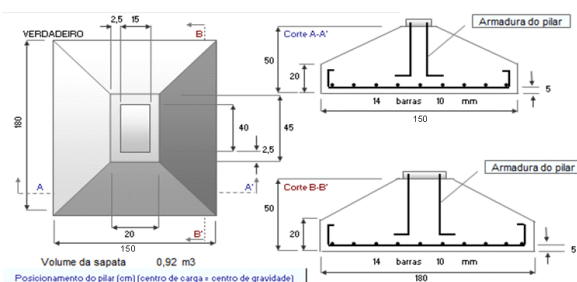


Figura 8: Sapata S – 01, tensão admissível = 250 kPa, Método Teórico

Observa-se que se a sapata fosse dimensionada pelo método empírico N/5, ela teria um volume 2,33 vezes maior que a sapata do projeto, o que resultaria num maior custo de material, mão de obra e tempo.

5.2 - Acompanhamento da Obra

Após 9 meses de iniciada, foi realizado uma visita técnica na obra, conforme levantamento fotográfico verificou-se que a mesma se encontra em perfeito estado, sem incidência de nenhuma patologia, o que indica que o projeto de fundação foi seguramente desenvolvido.



Figura 9: Vistas da fachada, vigas, pilares e lajes, em condições perfeitamente satisfatórias, sem registro de nenhum tipo de patologia

6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Confirma-se mais uma vez a tendência de valores inferiores obtidos pelas formulções empíricas, quando comparadas com os valores formulções matemáticas consagradas propostas pelos autores tais como Terzahi, Meyerhof, Hansen e Vesic.

Para o dimensionamento deste projeto de fundação direta, os valores neste trabalho de pesquisa de $\Phi = 21^\circ$ e $c = 20$ kPa possibilitaram admitir-se valores de tensão admissível do solo igual a 250 kPa, conforme devidamente já foi confirmado pelo método do **CPE**.

Entretanto, após a realização dos ensaios de cisalhamento direto em amostras do solo, verificou-se que estes valores passaram à ordem de grandeza $\Phi = 34^\circ$ e $c = 25$ kPa, gerando o valor de Tensão Admissível = 706 kPa, ou seja, o valor da tensão admissível de projeto, apesar de ser superior ao valor obtido pelas formulções empíricas, ainda assim é mais conservador do que o valor obtido utilizando-se os parâmetros geotécnicos do solo provenientes de ensaios de laboratório.

Deste modo, com o propósito prático de se estabelecer um método rápido, direto e eficiente de confirmação dos valores de tensão admissível do solo para o dimensionamento de fundações diretas, surgiu a aplicação do método de ensaio “in situ” conhecido como **CPE** (Cone de Penetração Estático).

REFERÊNCIAS

Burnet, M. *Análise da Capacidade de Carga de Fundações Superficiais*, Dissertação de Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil da UNAMA, 2007

RÖHN, S. A. *Considerações sobre penetrômetros dinâmicos leves aplicados na construção e avaliação de pavimentos de baixo custo*. Dissertação - EESC/USP, São Paulo, 1984.

SANGLERAT, G. *History of the penetrometer. In: The penetrometer and soil exploration*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1972.

SOUZA, F. W. C. de “*Avaliação do Penetrômetro Manual na Capacidade de Carga de Fundações Superficiais em Solos Arenosos*”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. Campina Grande, 2007.gth