



AMANDA NUNES DE SOUZA PINTO
CAROLINE DE OLIVEIRA MARQUES GONZAGA

**DIRETRIZES PARA PROJETOS DE FUNDAÇÕES POR
ESTACAS ESCAVADAS NO SUL DE MINAS GERAIS**

LAVRAS – MG

2021

AMANDA NUNES DE SOUZA PINTO
CAROLINE DE OLIVEIRA MARQUES GONZAGA

DIRETRIZES PARA PROJETOS DE FUNDAÇÕES POR ESTACAS ESCAVADAS
NO SUL DE MINAS GERAIS

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Eduardo Souza Cândido

Orientador

LAVRAS - MG

2021

AMANDA NUNES DE SOUZA PINTO
CAROLINE DE OLIVEIRA MARQUES GONZAGA

**DIRETRIZES PARA PROJETOS DE FUNDAÇÕES POR ESTACAS ESCAVADAS
NO SUL DE MINAS GERAIS**

**GUIDELINES FOR EXCAVATED PILE FOUNDATION PROJECTS IN SOUTH
MINAS GERAIS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 21 de Maio de 2021.

Dr. Eduardo Souza Cândido - UFLA

Dr. Paulo Roberto Borges - UFLA

Dr. André Geraldo Cornélio Ribeiro - UFLA



Prof. Dr. Eduardo Souza Cândido

Orientador

LAVRAS - MG

2021

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, por ser nosso guia nessa trajetória.

Às nossas famílias, por sempre acreditarem em nós e serem nossos maiores exemplos de fé, amor e honra, e por toda a confiança depositada em nós.

Ao nosso professor e orientador, Dr. Eduardo Souza Cândido, por acreditar em nossa capacidade, pela paciência em nos conduzir a cada passo desse trabalho nos últimos meses. Pelas correções e encorajamentos que nos fizeram crescer, e pelo exemplo de professor e ser humano. Ao professor Ígor José Mendes Lemes, pelo apoio e ajuda para o acontecimento deste trabalho.

Aos professores e colegas da Universidade Federal de Lavras por tornarem esses anos inesquecíveis.

Ao Renan pela incansável ajuda e incentivo durante o desenvolvimento desse trabalho. Ao Jivago, por sempre motivar o crescimento profissional e pessoal, e pelo acompanhamento durante a nossa trajetória na Universidade Federal de Lavras.

À empresa TQS por ter cedido as licenças do software TQS para a realização desse trabalho.

A cada um que direta ou indiretamente contribuíram para nossa formação e desenvolvimento pessoal.

RESUMO

O cálculo da capacidade de carga em estacas é um grande desafio para a engenharia de fundações, uma vez que as fórmulas teóricas geralmente não são confiáveis na previsão da capacidade de carga de fundações por estacas. Dessa forma, muitos autores têm proposto métodos baseados em correlações empíricas com resultados de ensaios *in situ* (SPT, CPT e outros) e ajustados com provas de carga. Como essas formulações são desenvolvidas a partir de diferentes condições geotécnico-geológicas, a definição de qual (is) se adapta melhor para estimativa da capacidade de carga passa pela avaliação de diversas formulações para as condições previstas em projeto. Nesse sentido, de forma a contribuir com os estudos e projetos relacionados a estacas escavadas este trabalho visou avaliar a aplicabilidade de diferentes metodologias semiempíricas (Aoki e Velloso, 1975; Décourt e Quaresma, 1996; Dickran Berberian, 2018; Brasfond, 1991; Pedro Paulo Costa Velloso, 1981; Teixeira, 1996; Milititsky e Alves, 1985; UFRGS, 2005; Vorcaro e Velloso, 2000 e Meyerhof, 1976) para determinação da capacidade de carga em diferentes cidades do Sul de Minas Gerais. Para atingir o objetivo proposto, foi elaborado um projeto arquitetônico e estrutural de um edifício empregando softwares comerciais. As cargas distribuídas na fundação, oriundas dos pilares, foram obtidas por meio do software TQS. Por fim, de posse das sondagens médias para as cidades de Lavras, Varginha, Três Corações, Alfenas, Três Pontas, Boa Esperança, Caxambu, Guaxupé e Machado, provenientes de Teixeira (1997), foi avaliada a viabilidade desses métodos para aplicações em projetos de estacas escavadas em cada uma das cidades por meio da análise estatística da segunda média. Com base nos resultados obtidos, pôde-se aferir que os métodos semiempíricos que melhor se adequaram para a obtenção da capacidade de carga nos solos da região do Sul de Minas Gerais foram: UFRGS e Milititsky e Alves. Já aqueles que se mostraram menos propensos a utilização para os solos e tipo de estaca tratados neste trabalho foram: Meyerhof e Pedro Paulo da Costa Velloso. Os métodos apresentados por Aoki e Velloso, Vorcaro e Velloso, Berberian, Brasfond, Teixeira e Decourt e Quaresma exibiram resultados intermediários para a utilização em solos do sul de Minas Gerais.

Palavras – chave: Capacidade de carga. Métodos semiempíricos. Sondagem SPT. Ensaio de campo.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1	Fundações por estacas	9
2.1.2	Estacas escavadas	10
2.2	Determinação da capacidade de carga	10
2.2.1	Métodos empíricos	11
2.2.2	Métodos semiempíricos	11
2.2.3	Métodos teóricos	12
2.3	Métodos semiempíricos utilizados em projetos de estacas escavadas	12
2.3.1	Método de Aoki-Velloso	12
2.3.2	Método de Décourt-Quaresma	14
2.3.3	Método de Dickran Berberian	16
2.3.4	Método de Brasfond	18
2.3.5	Método de Pedro Paulo Costa Velloso	19
2.3.6	Método de Teixeira	20
2.3.7	Método de Milititsky e Alves	21
2.3.8	Método da UFRGS	22
2.3.9	Método de Vorcaro-Velloso	23
2.3.10	Método de Meyerhof	24
2.4	Definição do comprimento das estacas	25
2.4.1	Metodologia de Cintra e Aoki	25
2.4.1.1	Primeira metodologia de projeto	25
2.4.1.2	Segunda metodologia de projeto	26
2.4.1.3	Terceira metodologia de projeto	26
2.5	Determinação do número de estacas por bloco de coroamento	27
2.6	Dimensionamento estrutural	27
2.6.1	Armadura longitudinal	28
2.6.2	Armadura transversal	30
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1	Material	31
3.1.1	Geologia e solos do sul de Minas Gerais	31
3.1.2	Edificação e mapa de cargas	32
3.2	Métodos.....	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	Resultados.....	37
4.2	Discussões.....	45
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
5.1	Conclusões.....	49
5.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	50
	REFERÊNCIAS.....	51
	APÊNDICE A- Plantas baixas e locação dos elementos estruturais....	53

APÊNDICE B – Aplicação dos métodos semiempíricos para a cidade de Lavras-MG com estacas de 25 cm de diâmetro	
.....	56
APÊNDICE C – Resultados para a cidade de Lavras-MG.....	64
APÊNDICE D – Resultados para a cidade de Varginha-MG.....	69
APÊNDICE E – Resultados para a cidade de Três Corações-MG.....	74
APÊNDICE F – Resultados para a cidade de Alfenas-MG.....	79
APÊNDICE G – Resultados para a cidade de Três Pontas-MG.....	84
APÊNDICE H – Resultados para a cidade de Machado-MG.....	89
APÊNDICE I – Resultados para a cidade de Guaxupé-MG.....	94
APÊNDICE J – Resultados para a cidade de São Sebastião do Paraíso-MG	99
APÊNDICE K – Resultados para a cidade de Formiga-MG.....	104
ANEXO A - Sondagens médias das cidades analisadas.....	109

1. INTRODUÇÃO

A fundação é a primeira fase de construção de qualquer edificação sendo ela a responsável pela sustentação de toda superestrutura e a transmissão das cargas para o solo. Dessa forma, é necessário que seja elaborado cautelosamente um projeto que atenda todas as necessidades da estrutura, tais como: requisitos técnicos e normativos, fatores econômicos, estéticos e ambientais.

Entretanto, os projetos de fundações envolvem diversas incertezas relacionadas ao comportamento do solo, pois se trata de um material natural que apresenta variações espaciais de suas propriedades. Dessa forma, um estudo adequado que revele o perfil estratigráfico do solo no local da construção se faz necessário. Essa investigação pode ser realizada por meio de diversos ensaios de campo, tais como, *Standard Penetration Test (SPT)*, *Cone Penetration Test (CPT)*, provas de carga estática e dinâmica, ensaio dilatométrico, ensaio pressiométrico, ensaio de palheta e outros. No entanto, no Brasil esses ensaios nem sempre são realizados, ou são realizados em quantidade mínima, por serem vistos como dispendiosos e desnecessários.

No projeto de fundações a capacidade de carga é estimada por meio dos resultados desses ensaios, o que torna essa estimativa vulnerável à qualidade e o cuidado durante a execução dos testes.

Devido a variabilidade de tipos de solos existentes, a capacidade de carga do sistema estaca-solo também será variável. Portanto, são necessárias metodologias que representem essa variabilidade a fim de determinar a capacidade de carga no local da edificação. Dessa forma, apresenta-se um estudo de dez métodos semiempíricos que relacionam o valor da capacidade de carga com os dados do ensaio SPT a fim de avaliar quais métodos melhor se adequam a geologia do solo do sul de Minas Gerais, e quais se mostram superestimados e subestimados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fundações por estacas

Fundação é uma parte do sistema estrutural designada a suportar as cargas oriundas da superestrutura e conduzi-las de forma segura ao solo (ARAUJO, 2019). Dessa forma, a fundação é a parte mais importante da estrutura, visto que ela condiciona um estado de tensão e recalques aceitáveis para a estrutura (SCHULZE, 2013).

Conforme a NBR 6122 (ABNT, 2019), as fundações podem ser divididas em fundações rasas e profundas, sendo as fundações rasas aquelas em que elemento de fundação está assentado em profundidade inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação; já a fundação profunda é aquela cujo elemento de fundação está apoiado em profundidade superior ao dobro da sua menor dimensão em planta e com no mínimo 3 metros de comprimento, a qual transmite a carga ao solo pela base, pela superfície lateral ou mesmo pela combinação das duas.

No grupo das fundações profundas encontram-se as estacas e os tubulões. Se faz necessário empregar fundações profundas quando a camada de solo superficial não possui a resistência suficiente para sustentar as cargas oriundas da edificação, podendo ocasionar ruptura por cisalhamento do solo ou recalques excessivos (SCHULZE, 2013).

Assim, de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2019), as estacas podem ser definidas como elementos de fundação profunda executadas somente por equipamentos, sem que haja, em qualquer etapa de execução, trabalho manual em profundidade.

De acordo com a classificação dada pela NBR 6122 (ABNT, 2019) existem diversos tipos de estacas: estacas de concreto moldada in loco, estaca de reação (mega ou prensada), estaca escavada com fluido estabilizante, estaca escavada mecanicamente, estaca Franki, estaca hélice contínua monitorada, estaca hélice de deslocamento monitorada, estaca hélice monitorada com trado segmentado, estaca metálica ou de aço, estaca mista, estaca pré-moldada ou pré-fabricada de concreto, estaca raiz, estaca Strauss e estaca trado vazado segmentado.

Décourt (1998) classifica as estacas como de deslocamento e ou escavada. Sendo a estaca de deslocamento, aquela que é introduzida no solo sem a retirada de solo, como as estacas pré-moldadas, estacas metálicas, estacas tipo Franki, estacas de madeira e estacas hélice de deslocamento. Enquanto as estacas escavadas, são aquelas executadas no local, com perfuração do terreno e retirada do solo, a exemplo das estacas tipo Strauss e estaca hélice contínua.

2.1.2 Estacas escavadas

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2019), as estacas escavadas mecanicamente sem utilização de fluidos estabilizantes, são executadas a partir de perfuração ou escavação no terreno, portanto, com retirada de solo. E em seguida é preenchida de concreto e somente são empregadas em perfis de solo que mantenham o furo estável sem necessidade de empregar fluido estabilizante ou revestimento.

Para estacas escavadas, a perfuração no terreno é feita até a profundidade descrita no projeto com trado, posteriormente a concretagem é feita com auxílio de um funil com no mínimo 1,5m de comprimento, este utilizado para direcionar o fluxo do concreto. A depender do esforço ao qual a fundação é submetida, a armação pode ser feita antes ou depois da concretagem (PÉREZ, 2014).

Segundo Pérez (2014), as estacas escavadas com trado mecanizado apresentam baixo custo e maior propensão para serem executadas em solos coesivos, porosos e acima do nível d'água, sendo estes alguns dos fatores que acarretam a larga utilização desse tipo de estaca.

2.2 Determinação da capacidade de carga

A capacidade de carga admissível de uma fundação, também conhecida como capacidade de suporte, carga de ruptura, carga última, capacidade de carga última ou capacidade de carga na ruptura, é a máxima carga que esta fundação suporta sem produzir recalques prejudiciais a superestrutura ou sem romper o terreno ou à estaca propriamente dita. (CINTRA; AOKI, 2010; NBR 6122, 2019). Essa é obtida calculando-se a capacidade de carga que leva à estaca a ruptura e dividindo-a por um coeficiente de segurança. (BERBERIAN, 2018).

Berberian (2018) afirma que um bom projeto de fundações por estacas não deve permitir que haja ruptura do solo de apoio nem do material da fundação, e que os recalques diferenciais decorrentes estejam sempre dentro de valores estruturalmente admissíveis.

A NBR 6122 (ABNT, 2019) apresenta os seguintes fatores que devem ser considerados para a determinação da carga admissível de estacas: características geotécnicas do subsolo; profundidade da ponta; dimensões e forma dos elementos; posição do nível d'água; eventual alteração das características dos solos (expansivos, colapsáveis, etc.) devido a agentes externos (encharcamento, contaminação, agressividade, etc.); alívio de tensões; eventual ocorrência de solicitações adicionais como atrito negativo e esforços horizontais

devidos a carregamentos assimétricos; características ou peculiaridades da obra; sobrecargas externas; inclinação da carga; inclinação do terreno; estratigrafia do terreno; recalques.

Existem vários métodos para a determinação da capacidade de carga. Entre eles estão os métodos empíricos, os métodos estatísticos, que podem ser teóricos, quando o cálculo é feito de acordo com a teoria desenvolvida dentro da mecânica dos solos, ou semiempíricos, quando são usadas correlações com ensaios *in situ*, os métodos dinâmicos que utilizam de parâmetros obtidos durante a cravação das estacas (repique elástico e nega de cravação), e as provas de carga, que constituem o método mais confiável para determinação da capacidade de carga.

2.2.1 Métodos empíricos

Métodos empíricos são aqueles que se baseiam nas informações obtidas por meio de sondagens e principalmente na experiência e capacidade de julgamento do projetista. Nesse processo a capacidade de carga é estimada levando-se em conta apenas as camadas de solo atravessadas. Os métodos empíricos devem ser utilizados somente como previsão inicial, pois não são suficientemente confiáveis (BERBERIAN, 2018).

2.2.2 Métodos semiempíricos

A sondagem de simples reconhecimento com o SPT é o método de investigação geotécnica mais utilizado no Brasil, devido a isso, os profissionais da área de geotecnia buscam métodos de previsão de capacidade de carga que empreguem os resultados obtidos nas sondagens a percussão, como é o caso dos métodos semiempíricos (VELLOSO; LOPES, 2011; MILITITSKY, 1986).

Assim, a NBR 6122 (ABNT, 2019) define os métodos semiempíricos como aqueles que relacionam ensaios de caracterização de perfil de solo, como SPT, CPT e outros, com as tensões admissíveis ou resistentes de cálculo. Estes métodos por vezes são baseados somente na experiência do autor, no ensaio SPT, análises de prova de carga e em recomendações normativas, entretanto oferecem ótimos valores para referência de cálculo, tendo em vista a falta de métodos matemáticos realistas e a complexidade dos parâmetros do solo (BERBERIAN, 2018).

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2019), apesar de os métodos semiempíricos serem bastante difundidos, é ressaltado a necessidade de apurar a aplicação de cada método, assim como as dispersões dos dados e as restrições das regiões.

2.2.3 Métodos teóricos

As fórmulas teóricas de capacidade de carga de elementos de fundação por estaca constituem um vasto campo da engenharia de fundações, por ser um assunto de grande interesse entre os pesquisadores. Diversos autores já pesquisaram o problema teoricamente e apresentaram suas contribuições, atualmente há um grande repertório de formulações na área (CINTRA; AOKI, 2010).

Essa diversidade de preposições decorre da dificuldade de ajustar um bom modelo físico e matemático à questão da ruptura em fundações profundas. No caso de fundações rasas, o modelo de ruptura geral estabelecido por Terzaghi (1943) é bem aceito, que, entre outras hipóteses, considera a sapata pouco embutida no solo, a uma profundidade inferior à sua largura. Nesse caso, a ruptura implica o levantamento de uma parte do maciço de solo, visível à superfície do terreno, e conseqüentemente tombamento da sapata. Em se tratando de fundações profundas, porém, tal modelo de comportamento físico é inaplicável. Existem diversas tentativas de solucionar o problema, mas que ainda não são eficazes, sobretudo para estacas em areia. Portanto, na prática de projeto de fundações por estacas, deve-se atentar ao uso restrito e com cautela de fórmulas teóricas para previsão da capacidade de carga (CINTRA; AOKI, 2010).

Dentre os autores que já propuseram formulações teóricas para estacas, pode-se destacar: Terzaghi, Skempton, Meyerhof, Vesic, Randolph, Poulos, e outros (BERBERIAN, 2018).

2.3 Métodos semiempíricos utilizados em projetos de estacas escavadas

2.3.1 Método de Aoki-Velloso

O método de Aoki e Velloso (1975) foi desenvolvido a partir de comparações entre resultados de provas de carga em estacas e o ensaio SPT. O método pode ser utilizado tanto com dados do SPT como do ensaio CPT, porém, nesse trabalho serão apresentadas somente as equações para dados do ensaio SPT.

De acordo com os autores, a capacidade de carga (R) é dada pela Equação 1.

$$R = R_L + R_P \quad (1)$$

O cálculo das resistências lateral (R_L) e de ponta (R_P) é dado pelas Equações 2 e 3, respectivamente.

$$R_L = U * \sum \frac{\alpha K N_L \Delta_L}{F_2} \quad (2)$$

$$R_P = \frac{K N_P A_P}{F_1} \quad (3)$$

Sendo:

α : relação entre as resistências de ponta e lateral do ensaio de penetração estática;

K: coeficiente de conversão da resistência de ponta do cone para N_{SPT} ;

N_P : valor da resistência à penetração na camada imediatamente abaixo da camada que a ponta se encontra;

N_L : valor da resistência média à penetração da camada de solo analisada;

Δ_L : Espessura da camada de solo;

A_P : Área da ponta;

U: Perímetro da ponta;

F_1 e F_2 : fatores de escala e execução.

Portanto, a equação de Aoki e Velloso (1975) (Equação 4) para capacidade de carga de elementos de fundação é:

$$R = U * \sum_{i=1}^n \frac{\alpha K N_L \Delta_L}{F_2} + \frac{K N_P A_P}{F_1} \quad (4)$$

Os coeficientes K e α são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficiente K e razão de atrito α (Continua).

Solo	K (MPa)	α (%)
Areia	1	1,4
Areia siltosa	0,8	2
Areia siltoargilosa	0,7	2,4
Areia argilosa	0,6	3
Areia argilossiltosa	0,5	2,8
Silte	0,4	3
Silte arenoso	0,55	2,2
Silte arenoargiloso	0,45	2,8
Silte argiloso	0,23	3,4
Silte argiloarenoso	0,25	3
Argila	0,2	6
Argila arenosa	0,35	2,4
Argila arenossiltosa	0,3	2,8
Argila siltosa	0,22	4

Tabela 1 – Coeficiente K e razão de atrito α (Conclusão).

Argila siltoarenosa	0,33	3
---------------------	------	---

Fonte: Adaptado de Aoki e Velloso (1975).

Para estacas escavadas os autores recomendam que F_1 seja considerado igual a 3 e F_2 igual a 6.

Os autores também recomendam que, para o cálculo da carga admissível na estaca (P_a), o valor de R calculado seja dividido por um fator de segurança igual a 2.

2.3.2 Método de Décourt-Quaresma

Décourt e Quaresma em 1978 propõem uma equação que segue o mesmo formato da equação de Aoki-Velloso, a capacidade de carga é dada pelo somatório da resistência de ponta e a resistência lateral (EQUAÇÃO 1). Aqui será apresentado o método já com as alterações propostas por Décourt (1996). A resistência lateral e de ponta são dadas pelas Equações 5 e 6.

$$R_L = \beta U L 10 \left(\frac{N_L}{3} + 1 \right) \quad (5)$$

$$R_p = \alpha C N_p A_p \quad (6)$$

Onde:

N_p : valor médio do índice de resistência à penetração na ponta ou base da estaca obtido a partir de três valores: o correspondente ao nível da ponta ou base da estaca, o imediatamente anterior e o imediatamente posterior;

C: coeficiente característico do solo;

A_p : área da ponta;

N_L : média dos valores de N_{SPT} ao longo do fuste. Na determinação de N_L , os valores de N menores que 3 devem ser considerados iguais a 3, e maiores que 50 devem ser considerados iguais a 50. Não se considera os valores que serão utilizados na avaliação da resistência de ponta.

U: perímetro da base;

L: comprimento da estaca.

Dessa forma, a capacidade de carga proposta por Décourt e Quaresma e dada pela Equação 7.

$$R = \beta U L 10 \left(\frac{N_L}{3} + 1 \right) + \alpha C N_p A_p \quad (7)$$

Os valores de α e β para estacas escavadas são tabelados e apresentados abaixo (Tabela 2).

Tabela 2 - Parâmetros α e β para estacas escavadas em geral.

Solo	A	B
Argilas	0,85	0,8
Solos intermediários	0,6	0,65
Areias	0,5	0,5

Fonte: Adaptado de Décourt (1996).

Os valores de C também dependem do tipo de solo e estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Coeficiente característico do solo C.

Solo	C (kPa)
Aterro	0
Pedregulhos	400
Areia com pedregulhos	400
Areia	400
Areia siltosa	362
Areia siltoargilosa	325
Areia argilosa	287
Silte arenoso	250
Areia argilossiltosa	244
Silte areno argiloso	238
Silte	232
Argila arenosa	225
Argila siltoarenosa	219
Argila arenossiltosa	213
Silte argiloarenoso	207
Silte argiloso	200
Argila siltosa	160
Argila	120

Fonte: Adaptado de Velloso e Lopes (2010).

Os autores também recomendam a Equação 8 para o cálculo da carga admissível na estaca (P_a).

$$P_a = \frac{R_p}{4} + \frac{R_L}{1,3} \quad (8)$$

2.3.3 Método de Dickran Berberian

Berberian (2018), em seu livro Engenharia de Fundações, propõem uma equação que segue o mesmo formato da equação de Aoki-Velloso, a capacidade de carga é dada pelo somatório da resistência de ponta e a resistência lateral (EQUAÇÃO 1). O autor propõe a Equação 9.

$$R_T = \frac{K_{PDBméd} N_{Pméd} A_P}{F_{EP}} + \frac{K_{LDB} N_{72} A_L}{F_{EL}} \quad (9)$$

Em que:

R_T : carga de ruptura da estaca (sob o ponto de vista geotécnico) em toneladas (t);

$K_{PDBméd}$: coeficiente de correlação médio para o cálculo da parcela de ponta, em t/m²;

$N_{Pméd}$: média do número de golpes para o cálculo da parcela de ponta;

A_P : área da ponta ou base, em m²;

F_{EP} , F_{EL} : fatores de correção devido ao efeito escala e do processo construtivo gerado pela diferença entre as geometrias do cone e da estaca;

K_{LDB} : fator de correlação entre a resistência de ponta do ensaio cone com a resistência lateral e o tipo de solo;

N_{72} : número de golpes necessários à cravação dos últimos 30 cm de uma amostragem total de 45 cm do amostrador padrão N_{SPT} ;

A_L : área lateral da estaca em cada camada, ou preferivelmente por metro de estaca.

Esse método é recomendado para $N_{SPT} \leq 50$. O fator N_P utilizado na Equação 9 é dado pela Equação 10.

$$N_P = \frac{[(45 - P) N_S + (55 + P) N_I]}{100} \quad (10)$$

Sendo:

N_S : N_{SPT} na camada superior;

N_I : N_{SPT} na camada inferior;

P : penetração da ponta da estaca nas camadas (cm).

Os valores de K_{PDB} e K_{LDB} propostos por Berberian estão apresentados nas Tabela 4, 5 e 6.

Tabela 4 – Valores de K_{PDB} e K_{LDB} propostos por Berberian para areias (Continua).

Areias	K_{PDB} (t/m ²)	K_{LDB} (t/m ²)
Pura	100	1,4
Muito pouco siltosa	80	1,28

Tabela 4 – Valores de K_{PDB} e K_{LDB} propostos por Berberian para areias (Conclusão).

Pouco siltosa	84	1,5
Siltosa	80	1,6
Muito siltosa	75	1,64
Silto argilosa	70	1,68
Muito pouco argilosa	60	1,68
Pouco argilosa	58	1,62
Argilosa	60	1,8
Muito argilosa	50	1,5
Argilo siltosa	50	1,4

Fonte: Adaptado de Berberian (2018).

Tabela 5 – Valores de K_{PDB} e K_{LDB} propostos por Berberian para siltes.

Siltes	K_{PDB} (t/m²)	K_{LDB} (t/m²)
Puro	40	1,2
Muito pouco arenoso	45	1,26
Pouco arenoso	50	1,24
Arenoso	55	1,2
Muito arenoso	60	1,2
Areno argiloso	45	1,26
Muito pouco argiloso	38	1,14
Pouco argiloso	30	0,96
Argiloso	23	0,78
Muito argiloso	20	0,72
Argilo arenoso	23	0,74

Fonte: Adaptado de Berberian (2018).

Tabela 6 – Valores de K_{PDB} e K_{LDB} propostos por Berberian para argilas (Continua).

Argilas	K_{PDB} (t/m²)	K_{LDB} (t/m²)
Pura	40	1,2
Muito pouco arenosa	50	1,2
Pouco arenosa	60	1,08
Arenosa	70	0,84
Muito arenosa	80	0,56
Areno siltosa	60	0,84
Muito pouco siltosa	40	1,04
Pouco siltosa	42	0,96
Siltosa	44	0,88
Muito siltosa	46	0,78

Tabela 6 – Valores de K_{PDB} e K_{LDB} propostos por Berberian para argilas (Conclusão).

Silto arenosa	66	0,98
Turfa	0	0

Fonte: Adaptado de Berberian (2018).

O autor estipula que, para estacas escavadas mecanicamente sem lama, os fatores F_{EP} e F_{EL} devem ser iguais a 4 e 4,6 respectivamente. O autor também recomenda que, para o cálculo da carga admissível na estaca (P_a), o valor de R_T calculado seja dividido por um fator de segurança igual a 2.

2.3.4 Método de Brasfond

Segundo a publicação da empresa Brasfond (1991), é possível obter a capacidade de carga de uma estaca escavada a partir da Equação 11.

$$Q_u = \alpha N_P A_P + \beta N_S U \Delta L \quad (11)$$

Em que:

Q_u : carga de ruptura;

α : coeficiente que depende do tipo de solo onde se situa a ponta da estaca;

N_P : média dos valores de N_{SPT} determinados a um metro acima e um metro abaixo da ponta da estaca;

A_P : área da ponta da estaca;

β : índice de atrito lateral;

N_S : média dos valores do índice de resistência à penetração medida ao longo do fuste. Para valores superiores a 40 deve-se adotar 40;

U : perímetro do fuste da estaca;

L : comprimento unitário.

A Tabela 7 apresenta os valores de α e β .

Tabela 7 – Valores de α e β (Continua).

Solo	α (kPa)	β (kPa)
Argila siltosa	80	5
Silte argiloso	100	5
Argila arenosa	120	5
Silte arenoso	150	5
Areia argilosa	180	5
Areia siltosa	210	5

Tabela 7 – Valores de α e β (Conclusão).

Areia	270	5
Areia com pedregulhos	300	5

Fonte: Brasfond (1991).

A empresa também recomenda que a carga admissível da estaca seja dada pela Equação 12.

$$P_a = \frac{Q_u}{2} \quad (12)$$

2.3.5 Método de Pedro Paulo Costa Velloso

Pedro Paulo Costa Velloso desenvolveu em 1981 um método semiempírico para cálculo da capacidade de suporte de estacas, baseado nas experiências realizadas com o *Diepsondering*, e por correlação direta (na falta do CPT) com dados do N_{SPT} .

Na análise desenvolvida por Pedro Paulo, admite-se não ocorrer atrito negativo no fuste da estaca nem camadas mais compressíveis abaixo da ponta da estaca. Da mesma forma que outros autores, resistência total é considerada como a soma da contribuição lateral e da ponta.

A capacidade de carga (R) é dada pelas Equações 13, 14 e 15.

$$R = \alpha_{pp} \beta_{pp} r_p A_p + \alpha_{pp} \lambda_p \sum_1^n f_{si} P_i \Delta_{li} \quad (13)$$

$$r_p = \frac{a N1^b + a N2^b}{2} \quad (14)$$

$$f_{si} = a' N_i^{b'} \quad (15)$$

Sendo:

α_{pp} : fator de execução (1,0 para estaca escavada e 0,5 para estaca cravada);

λ_p : fator em função do tipo de carregamento da estaca (1,0 para compressão e 0,7 para tração);

f_{si} : atrito lateral médio medido na haste do ensaio CPT [kPa];

β_{pp} : fator de carga da ponta em função da dimensão da ponta da estaca, relaciona o modelo do cone ao comportamento da estaca. Para estaca tracionada $\beta_{pp} = 0$ e para estaca comprimida ($\beta_{pp} = 1,016 - 0,016 * D / d$), sendo $d = 3,6$ cm que é o diâmetro da ponta do cone CPT;

P_i : perímetro do segmento i do fuste da estaca;

Δ_{li} : comprimento do segmento i do fuste da estaca;

N_1 = valor médio de N do SPT, calculado desde a cota da ponta da estaca até dois diâmetros acima da mesma;

N_2 : valor médio de N do SPT, calculado desde a cota da ponta da estaca até um diâmetro abaixo da mesma;

N_i : valor de N do SPT correspondente a camada i ;

a , b , a' e b' : parâmetros de correlação entre o SPT e o CPT, apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Fatores de correlação a , b , c e d .

Solo	a (kPa)	b	a' (kPa)	b'
Areias sedimentares submersas*	600	1	5	1
Argilas sedimentares submersas*	250	1	6,3	1
Solos residuais de gnaiss Arenos Siltosos submersos*	500	1	8,5	1
Solos residuais de gnaiss Silto Arenosos submersos*	400*	1*	8*	1*
	470**	0,96**	12,1**	0,74**

*dados obtidos na área da Refinaria Duque de Caxias (RJ)

** dados obtidos na área da Açominas (MG)

Fonte: Adaptado de Velloso (1981).

2.3.6 Método de Teixeira

O método desenvolvido por Teixeira (1996) foi formulado de acordo com a aplicação prática de alguns métodos de previsão de capacidade de carga, como os de Décourt-Quaresma e Aoki Velloso. Nesse método ele propõe a Equação 16 para a capacidade de carga, com base em dois parâmetros, α e β .

$$R = R_p + R_L = \alpha N_p A_p + \beta N_L U L \quad (16)$$

Sendo:

N_p : valor médio do índice de resistência à penetração medido no intervalo de 4 diâmetros acima da ponta da estaca e 1 diâmetro abaixo;

N_L : valor médio do índice de resistência à penetração ao longo do fuste da estaca;

O parâmetro α está relacionado a resistência de ponta e varia em função do tipo de solo e estaca, de acordo com a Tabela 9.

Tabela 9 – Valores para o parâmetro α (Continua).

Solo ($4 < N_{spt} < 40$)	Tipos de estacas α (kPa)			
	Pré-Moldada e Perfil Metálico	Franki	Escavada a céu aberto	Raiz
Argila siltosa	110	100	100	100
Silte argiloso	160	120	110	110
Argila arenosa	210	160	130	140
Silte arenoso	260	210	160	160

Tabela 9 – Valores para o parâmetro α (Conclusão).

Areia argilosa	300	240	200	190
Areia siltosa	360	300	240	220
Areia	400	340	270	260
Areia com pedregulhos	440	380	310	290

Fonte: Adaptado de Teixeira (1996).

Já o parâmetro β , que se refere à resistência de atrito lateral, varia segundo o tipo de estaca, assim como apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores para o parâmetro β .

Tipos de estacas	β (kPa)
Pré-Moldada e Perfil Metálico	4
Franki	5
Escavada a céu aberto	4
Raiz	6

Fonte: Adaptado de Teixeira (1996).

2.3.7 Método de Milititsky e Alves

Este método foi elaborado por Milititsky e Alves (1985) com base em estudos estatísticos de quinze provas de cargas realizadas para estacas tipo escavadas no estado do Rio Grande do Sul. Com base neste estudo, os autores propuseram a Equação 17 para a determinação da capacidade de carga (Q_T).

$$Q_T = M_2 N_p A_p + M_1 N_L UL \quad (17)$$

Sendo:

M_1 e M_2 : coeficientes de proporcionalidade, propostos pelos autores e apresentados na Tabela 11;

N_p : média dos valores de N_{SPT} na ponta da estaca, desde o valor imediatamente acima até o valor imediatamente abaixo da cota da ponta da estaca;

N_L : média dos valores de N_{SPT} ao longo do fuste da estaca, exceto o último valor acima da ponta da estaca.

Tabela 11 – Valores de M_1 e M_2 .

Tipos de escavação	M_1	M_2
Perfuração mecânica	2,45	60
Tipo Strauss	2,35	60

Fonte: Adaptado de Milititsky e Alves (1985).

2.3.8 Método da UFRGS

O método proposto por Lobo (2005), baseia-se na transferência de energia que o processo de cravação do amostrador causa no solo e na análise das variações de energia em relação ao tempo. Assim, a autora divide os aspectos de transferência de energia em duas fases, no primeiro momento o martelo é liberado de uma certa altura e a energia potencial transforma-se em energia cinética e perdas por atrito e em seguida, quando o martelo atinge a extremidade superior da haste, a energia cinética é convertida em energia cinética, energia elástica, energia térmica e outras, que são dissipadas. Já as variações de energia com o tempo são separadas em três partes: quando $t_1=0$, $t_2=t$ e $t=\infty$. Em $t_1=0$, é o instante imediatamente antes da liberação do martelo, $t_2=t$ diz respeito ao momento imediatamente anterior ao martelo sobre a cabeça de bater e $t=\infty$ se refere ao tempo que a cravação do amostrador no solo já ocorreu. Após a análise teórica desenvolvida no trabalho de Lobo (2005), a autora fornece a Equação 18, na qual a força de reação dinâmica do solo à cravação do amostrador (F_d) é calculada em função da aplicação de conceitos de energia.

$$F_d = \frac{\eta_3 [\eta_1 (0,75 + \Delta p) M_m g + \eta_2 \Delta p M_h g]}{\Delta p} \quad (18)$$

Sendo:

η_3 : coeficiente de eficiência do sistema;

η_1 : coeficiente de eficiência do martelo;

Δp : penetração permanente do amostrador devido à aplicação de um golpe;

M_m : massa do martelo;

g : aceleração da gravidade;

η_2 : coeficiente de perdas ao longo das hastes;

M_h : massa da haste.

Os valores adotados para η_1 e η_2 são de 0,761 e 1, respectivamente. E o valor do coeficiente de eficiência do sistema (η_3) é dado pela Equação 19.

$$\eta_3 = 1 - 0,0042L \quad (19)$$

Sendo:

L : comprimento das hastes.

Dessa forma é possível calcular a carga de ruptura da estaca (Q_{rup}), a partir da Equação 20.

$$Q_{rup} = \alpha_4 \frac{0,2P}{a_l} \Sigma F_d \Delta l + \beta_3 0,7F_d \frac{A_p}{a_p} \quad (20)$$

Sendo:

Q_{rup} : carga de ruptura;

α_4 : coeficiente de resistência lateral para o tipo de estaca;

P: perímetro da estaca;

al: área lateral total do amostrador;

ΣF_d : força de reação dinâmica do solo à cravação do amostrador

Δl : comprimento das camadas;

β_3 : coeficiente de resistência de ponta para o tipo de estaca utilizado;

A_p : área da ponta da estaca;

a_p : área de ponta do amostrador.

Os valores de α_4 e β_3 são dados pela Tabela 12.

Tabela 12 – Valores de α_4 e β_3 .

Tipos de estaca	α_4	β_3
Pré-Moldada	1,5	1,1
Metálica	1,00	1,00
Hélice Contínua	1,00	0,6
Escavada	0,7	0,5

Fonte: Adaptado de Lobo (2005).

2.3.9 Método de Vorcaro-Velloso

No método proposto por Vorcaro e Velloso em 2000, foram aplicados aos resultados das cargas de prova estáticas do Banco de Dados da COPPE UFRJ a técnica da regressão linear múltipla e para definição do perfil de solo foram realizadas sondagens à percussão (VELLOSO; LOPES, 2011; VORCARO, 2000). Nesse procedimento, os solos são classificados em 5 grupos, conforme Tabela 13.

Tabela 13 – Grupos de solos.

Grupos				
1	2	3	4	5
Areia	Areia Siltosa	Silte	Silte Arenosoargiloso	Silte Argiloso
	Areia Siltoargilosa	Silte Arenoso	Silte Argiloarenoso	Argila
	Areia Argilosa	Argila Arenosa	Argila Arenossiltosa	Argila Siltosa
	Areia Siltosa	Argila Siltoarenosa		

Fonte: Adaptado de Velloso e Lopes (2011).

As Equações 21 e 22 mostram o cálculo da resistência de ponta (XP) e a resistência lateral (XF), respectivamente, as quais serão utilizadas para o cálculo da carga estimada (Q_{EST}).

$$XP = AN_{ponta} \quad (21)$$

$$XF = U\Sigma N_{fuste} \Delta L \quad (22)$$

Em que:

A: área da ponta da estaca;

U: perímetro do fuste da estaca em metros;

ΔL : espessura de solo em metros, ao longo da qual N pode ser considerado constante;

N_{fuste} : N_{SPT} médio ao longo do fuste;

N_{ponta} : N_{SPT} na cota de apoio da estaca;

Para cada um dos grupos expostos pela Tabela 13, são propostas equações para estimativa da carga de ruptura (Q_{EST}), sendo as Equações 23, 24, 25 e 26 utilizadas para determinação das estimativas de capacidade de carga para estacas escavadas.

$$Q_{EST} = \exp[(6,23 \ln XP + 7,78 \ln XF)^{\frac{1}{2}}], \text{ para bases de solo do grupo 2} \quad (23)$$

$$Q_{EST} = \exp[(4,92 \ln XP + 7,78 \ln XF)^{\frac{1}{2}}], \text{ para bases de solo do grupo 3} \quad (24)$$

$$Q_{EST} = \exp[(6,96 \ln XP + 7,78 \ln XF)^{\frac{1}{2}}], \text{ para bases de solo do grupo 4} \quad (25)$$

$$Q_{EST} = \exp[(7,32 \ln XP + 7,78 \ln XF)^{\frac{1}{2}}], \text{ para bases de solo do grupo 1 e 5} \quad (26)$$

2.3.10 Método de Meyerhof

O método de Meyerhof (1976), descrito por Fellenius (2015), racionalizou a experiência disponível em uma equação que fornece a capacidade de carga em função do índice de resistência à penetração (N), obtido por meio da sondagem SPT, como mostra a Equação 27.

$$R = R_p + R_L = m N_p A_p + n N_l A_l L \quad (27)$$

Em que:

m : coeficiente de ponta;

n : coeficiente do fuste;

N_p : valor de N do SPT, na cota da ponta da estaca;

N_l : média dos valores de N do SPT, ao longo do fuste da estaca;

L : comprimento da estaca;

A_p : área da ponta da estaca;

A_l : área lateral.

Os coeficientes m e n para estacas escavadas da Equação 27, são apresentados por Fellenius (2006), sendo m igual a 120 kN/m² e n igual 1 kN/m³.

2.4 Definição do comprimento das estacas

2.4.1 Metodologia de Cintra e Aoki

Em termos geotécnicos, todo projeto de fundações por estacas culmina com a previsão da cota de parada das estacas e a fixação da carga admissível. Para a determinação do comprimento L das estacas Cintra e Aoki propõem três metodologias, apresentadas originalmente por Aoki e Cintra (2000, 2001), que devem sempre ser analisadas em conjunto. Tais metodologias serão descritas a seguir.

2.4.1.1 Primeira metodologia de projeto

Essa metodologia leva em consideração a verificação do limite último exclusivamente da estaca, sem levar em conta o aspecto geotécnico. A carga de catálogo (P_e) quantifica essa variável.

Ao se escolher o diâmetro da estaca (\emptyset), é possível obter a carga de catálogo (P_e). Conhecidos os dois valores (P_a e P_e) deve-se adotar o menor deles para garantir a segurança ao elo mais fraco do sistema (elemento geotécnico ou elemento estrutural). Nessa metodologia iguala-se P_a e P_e (EQUAÇÕES 28, 29 e 30).

$$P_a = P_e \quad (28)$$

$$P_a = \frac{R}{FS} \quad (29)$$

$$R = P_e FS \quad (30)$$

Em que:

P_a : carga admissível da estaca;

P_e : carga de catálogo da estaca;

R: capacidade de carga da estaca;

FS: fator de segurança.

Nas equações de capacidade de carga anteriormente apresentadas nos métodos semiempíricos, Item 2.3, as mesmas são dependentes de L, sendo assim, é possível determinar o comprimento máximo admissível por substituição na equação.

A Tabela 14 apresenta os valores de carga de catálogo (P_e) para estacas escavadas de diferentes diâmetros.

Tabela 14 – Carga de catálogo tradicional e carga estrutural admissível da estaca escavada mecanicamente com trado helicoidal.

Diâmetro (cm)	Carga de catálogo tradicional P_e (kN)	Carga estrutural admissível (kN)
25	200	250
30	300	360
35	400	490
40	500	640
45	600	810
50	800	1000

Fonte: Adaptado de Cintra e Aoki (2010).

Para essa metodologia, deve-se adotar os valores da carga estrutural admissível com os valores de P_e .

2.4.1.2 Segunda metodologia de projeto

Nessa metodologia adota-se o comprimento da estaca como o comprimento máximo possível de execução, devido a eventuais limitações do equipamento (Equação 31).

$$L = L_{\text{máx}} \quad (31)$$

Dessa forma, calcula-se o P_a com o $L_{\text{máx}}$. Se $P_a < P_e$, essa metodologia poderá ser adotada, se não, deve-se descartar essa metodologia.

2.4.1.3 Terceira metodologia de projeto

Para cada tipo de estaca há uma faixa de valores de N_{SPT} que provocam parada da execução das estacas, devido a ineficiência dos equipamentos. Alguns desses valores limites estão apresentados na Tabela 15. Assim, a partir do valor de N_{SPT} limite obtém-se o L comprimento máximo dessa metodologia.

Tabela 15 – Valores limites de N_{SPT} para a parada de estacas.

Tipo de estaca	N_{lim}
Pré-moldada de concreto $\emptyset < 30cm$	$15 < N_{SPT} < 25; \sum N_{SPT} = 80$
Pré-moldada de concreto $\emptyset \geq 30cm$	$25 < N_{SPT} \leq 35$
Perfil metálico	$25 < N_{SPT} \leq 55$
Tubada (oca, ponta fechada)	$20 < N_{SPT} \leq 40$
Strauss	$10 < N_{SPT} \leq 25$
Franki em solos arenosos	$8 < N_{SPT} \leq 25$
Franki em solos argilosos	$20 < N_{SPT} \leq 40$
Estação e diafragma, com lama bentonítica	$30 < N_{SPT} \leq 80$
Hélice Contínua	$20 < N_{SPT} \leq 45$
Ômega	$20 < N_{SPT} \leq 40$

Fonte: Cintra e Aoki (2010).

2.5 Determinação do número de estacas por bloco de coroamento

Com a definição do comprimento das estacas e, conseqüentemente, da carga admissível, é possível calcular o número de estacas para cada bloco de coroamento, a relação carga/estaca e o total de estacas utilizadas no estaqueamento (ALONSO, 1983). O número de estacas por bloco de coroamento é dado pela Equação 32.

$$n^{\circ} \text{ de estacas} = \frac{\text{Carga no pilar}}{\text{Carga admissível da estaca}} \quad (32)$$

Ressalta-se que a Equação 32 só pode ser utilizada quando não houver excentricidade em relação a aplicação da força vertical do pilar na estaca e se forem utilizadas estacas de mesmo diâmetro e tipo (ALONSO, 1983).

2.6 Dimensionamento estrutural

Conforme exposto na NBR 6122 (ABNT, 2019), quando as estacas forem submetidas a esforços de compressão e tensões restritas até os valores estabelecidos na Tabela 16, as estacas e tubulões podem ser executados apenas com a porcentagem de armadura mínima, conforme Tabela 16. Já se as solicitações forem superiores aquelas descritas na Tabela 16, o dimensionamento da armadura deve ser realizado de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014).

Considerando estacas submetidas apenas a compressão, para o dimensionamento estrutural das estacas primeiro é necessário verificar a necessidade de armadura superior a mínima. Para isso utiliza-se a Equação 33.

De acordo com Alonso (2019), se as estacas estiverem submetidas a tensões superiores a 5MPa (para estacas escavadas sem fluido estabilizantes), deverá ser dimensionada a área e comprimento de aço até a cota na qual a transferência de carga por atrito lateral seja inferior a 5MPa. Dessa forma, os itens a seguir mostram as etapas para o dimensionamento das armaduras de estacas submetidas a compressão, conforme diretrizes da NBR 6118 (ABNT, 2014; ABNT, 1980).

Tabela 16 –Estacas escavadas: parâmetros de dimensionamento.

Tipo de estaca	Classe de agressividade ambiental CAA conforme ABNT NBR 6118	Classe de concreto	γ_c^*	% de armadura mínima e comprimento útil mínimo (inclui trecho ligação com o bloco)		Tensão de compressão simples atuante abaixo da qual não é necessário armar (exceto ligação com o bloco) (MPa)
				Armadura %	Comprimento (m)	
Escavadas sem fluido	I, II	C25	3,1	0,4	2,0	5,0
	III, IV	C40	5,0			
Escavadas com fluido	I, II	C30	2,7	0,4	4,0	6,0
	III, IV	C40	3,6			
Strauss	I, II	20MPa	2,5	0,4	2,0	5,0
Franki	I, II, III, IV	20MPa	1,8	0,4	Integral	-
Tubulões não encamisados	I, II	C25	2,2	0,4	3,0	5,0
	III, IV	C40	3,6			
Raiz	I, II, III, IV	20MPa	1,6	0,4	Integral	-
Microestacas	I, II, III, IV	20MPa	1,8	0,4	Integral	-
Estaca trado vazado segmentado	I, II, III, IV	20MPa	1,8	0,4	Integral	-
Helice/ hélice de deslocamento/ hélice com trado segmentado	I, II	C30	2,7	0,4	4,0	6,0
	II, IV	C40	3,6			

Fonte: Adaptado de NBR 6122 (ABNT, 2019).

* Sendo γ_c o coeficiente de ponderação da resistência a compressão do concreto.

$$\sigma = \frac{N}{\frac{\pi \phi_{est}^2}{4}} \quad (33)$$

Sendo:

σ : tensão aplicada na estaca;

\emptyset_{est} : diâmetro da estaca;

N: carga de compressão aplicada estaca;

2.6.1 Armadura longitudinal

Para a armadura longitudinal o cálculo da área de aço se dá pela Equação 34.

$$A_s = \frac{\gamma_u N - 0,85 A_{est} f_{cd}}{f_{yd}} \quad (34)$$

Sendo:

$$\gamma_u = \left(1 + \frac{6}{h}\right) \geq 1,1 \quad (35)$$

h: menor lado do retângulo mais estreito circunscrito à seção. Em muitos casos, h é o diâmetro da estaca, conforme item 4.1.1.3 da NBR 6118 (ABNT, 1980).

Caso o valor de γ_u seja inferior a 1,1 deve-se adotar 1,1.

$$A_{est} = \frac{\pi \emptyset_{est}^2}{4} \quad (36)$$

Sendo:

\emptyset_{est} : diâmetro da estaca;

A_{est} : área da estaca;

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (37)$$

$$f_{yd} \leq \begin{cases} \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \\ 0,2E_s \end{cases} \quad (38)$$

Em que:

f_{yk} : resistência característica do aço;

γ_s : coeficiente de ponderação da resistência do aço;

E_s : módulo de elasticidade do aço.

Para o cálculo da área mínima de aço ($A_{s,min}$), utiliza-se a Equação 39.

$$A_{s,min} = 0,5\% A_{est} \quad (39)$$

Dessa forma, deve-se adotar o maior valor entre os resultados das Equações 34 e 39, nomeada de $A_{s,calc}$. Logo, para calcular a quantidade de barras de aço necessárias (N_s), utiliza-se a Equação 40.

$$N_s = \frac{A_{s,calc}}{A_{barra}} \quad (40)$$

Sendo:

A_{barra} : área referente a barra de aço;

Em sequência, deve-se calcular o comprimento da armadura longitudinal (L_s) (Equação 42). Desse modo, é necessário calcular a resistência lateral equivalente (R_{leq}), dada pela Equação 41.

$$R_{leq} = N - 5MPa A_{est} \quad (41)$$

$$L_s = \frac{R_{leq} - L_{est}}{R_L} \quad (42)$$

Sendo:

L_{est} : comprimento total da estaca;

R_L : resistência lateral da estaca.

2.6.2 Armadura transversal

Para a escolha do diâmetro da barra de aço utilizada para o estribo ($\emptyset_{estribo}$) empregase o maior dos valores apresentados na Equação 43.

$$\emptyset_{estribo} \geq \begin{cases} \frac{\emptyset_s}{4} \\ 6,3 \text{ mm} \end{cases} \quad (43)$$

Sendo:

\emptyset_s : diâmetro utilizado para a barra de aço longitudinal.

Em relação ao espaçamento entre as barras de aço dos estribos (s), é determinado satisfazendo a Equação 44.

$$s \leq \begin{cases} 12 \emptyset_s \\ 20cm \end{cases} \quad (44)$$

A quantidade de estribos necessários para armar a estaca ($N_{estribos}$) é definido a partir da Equação 45.

$$N_{estribos} = \frac{L_s}{s} \quad (45)$$

Sendo:

L_s : comprimento do aço da armadura longitudinal, dado pela Equação 42.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Geologia e solos do sul de Minas Gerais

Teixeira (1997) coletou 11.275 informações de SPT relativas às 16 cidades mais populosas do sul de Minas Gerais com o objetivo de estudar e caracterizar o subsolo da região. Com base nessas informações, o autor apresentou gráficos da variação do N_{SPT} com a profundidade em cada cidade, médias e desvios-padrão do N_{SPT} em cada profundidade e a definição do perfil mais representativo do solo, demonstrando a posição do N.A. e o topo do impenetrável, bem como a sucessão das camadas e de suas espessuras mais prováveis.

O autor observou que há uma tradição regional na cidade de Lavras de que a profundidade dos furos se deve limitar a 20 metros, sendo muito raro os casos em que este limite é suplantado, e de que o furo deve ser interrompido quando se atinge um valor de N_{SPT} igual a 50, como recomendado pela NBR 6122 (ABNT,2019). A Tabela 17 apresenta os dados obtidos por Teixeira (1997) acerca de cada município estudado.

Teixeira (1997) também faz algumas observações sobre a geologia do Sul de Minas Gerais. A região é fortemente marcada por dois acidentes geográficos: a Serra da Mantiqueira ao sul (influenciando clima, relevo e vegetação) e o rio Grande e seus afluentes da margem esquerda ao norte.

Tabela 17 – Perfil característico do subsolo das principais cidades do Sul de Minas Gerais.

Cidade	Nº de furos	Nº de camadas	Perfil Característico				Prof. média dos furos (m)
			Prof. do N.A. (m)		Impenet. (m)		
			Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	
Machado	39	4	6,5	3,8	10,6	5,5	13,9
T. Pontas	64	3	3,9	5,0	11,3	3,7	11,2
Varginha	456	3	6,0	3,9	10,7	4,0	10,8
S.S. Paraíso	67	3	8,4	4,6	10,1	5,2	12,2
Guaxupé	84	2	4,1	3,8	15,4	4,8	14,9
Lavras	352	2	6,2	5,4	12,3	4,4	11,6
Alfenas	65	3	-*	-	10,7	4,5	14,5
Três Corações	231	3	4,8	4,1	10,1	5,0	10,9

(*) O N.A, não foi localizado em nenhuma sondagem, o que pouco significa, devido ao número de furos muito pequeno constante no banco de dados.

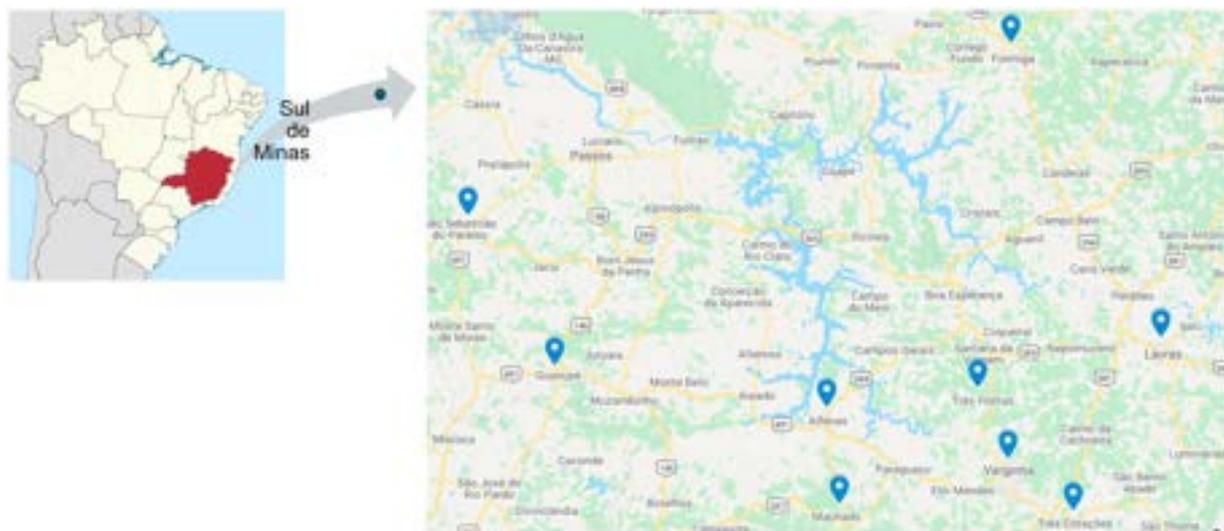
Fonte: Adaptado de Teixeira (1997).

Exceto numa pequena área correspondente ao planalto de Poços de Caldas, onde há presença de rochas de complexo alcalino, nas demais regiões ocupadas pela Mantiqueira a geologia é quase totalmente pré-cambriana, com rochas pertencentes aos grupos Andrelândia, Paraíba e ao embasamento granito-gnaiss dividido. Tais rochas intrusivas, estão expostas em muitos pontos nas partes mais altas desta cadeia montanhosa, exibindo várias tonalidades e texturas, mas principalmente mostrando as marcas de um intenso metamorfismo, em duas ou mais fases, caracterizadas por falhas e dobramentos ou por complexa evolução estrutural e metamórfica.

A erosão que desgastou as montanhas e os diversos agentes transportadores, especialmente o fluvial, contribuíram para a formação de inúmeros vales com baixadas constituídas por material sedimentar e algum solo orgânico. É a combinação dessas procedências de solo que favorece a grande dispersão de valores de SPT na região (TEIXEIRA, 1997).

Dessa forma, foram escolhidas nove cidades do sul de Minas Gerais que foram estudadas por Teixeira (1997) para a análise nesse trabalho, essas cidades são: Lavras, Varginha, Três Corações, Alfenas, Três Pontas, Guaxupé, Formiga, São Sebastião do Paraíso e Machado (Figura 1). O Anexo A expõe as sondagens médias propostas por Teixeira (1997) para as cidades estudadas.

Figura 1 – Região de estudo.



Fonte: dos autores (2021).

3.1.2 Edificação e mapa de cargas

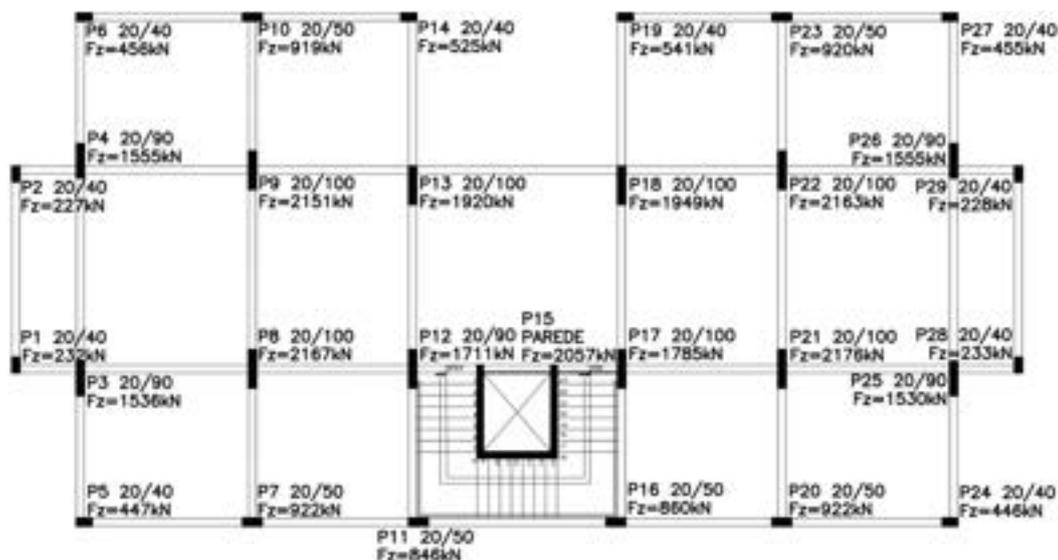
O edifício que será implementado em cada uma das cidades estudadas, se trata de um prédio comercial de consultórios médicos composto por sete pavimentos, sendo um deles o

térreo, cinco pavimentos tipo e um pavimento cobertura para as caixas d'água e caixa de máquinas do elevador. Cada unidade possui uma recepção, um banheiro, uma cozinha, um depósito, uma sala para atendimento médico (consultório) e uma sala de apoio.

O pavimento térreo (FIGURA 1, APÊNDICE A) possui duas unidades, dois banheiros, uma copa para os funcionários do edifício, um depósito, uma sala de vacinas e um laboratório de coleta de sangue. Já os pavimentos tipo, possuem quatro unidades cada (FIGURA 2, APÊNDICE A). O edifício possui duas entradas, a principal, que se tem acesso pela rua e é utilizada por todos os visitantes, e uma lateral, que pode ser acessada somente pela lateral do edifício e dá acesso a garagem externa descoberta. Já a Figura 3 do Apêndice A, ilustra a planta de locação do edifício, onde é visível a garagem externa.

Os croquis e plantas do edifício foram feitas utilizando o *software* Autodesk AutoCAD 2020 (versão estudantil) e a modelagem estrutural foi feita do software TQS 21 (versão concedida pela empresa para esse trabalho). Após processado e devidamente projetado estruturalmente, foi possível obter as cargas que chegam às fundações, conforme mapa de cargas do edifício (Figura 2).

Figura 2 – Planta de forma e mapa de cargas*.



* Valores característicos das cargas permanentes e acidentais dos pavimentos (Fz).

Fonte: dos autores (2021).

3.2 Métodos

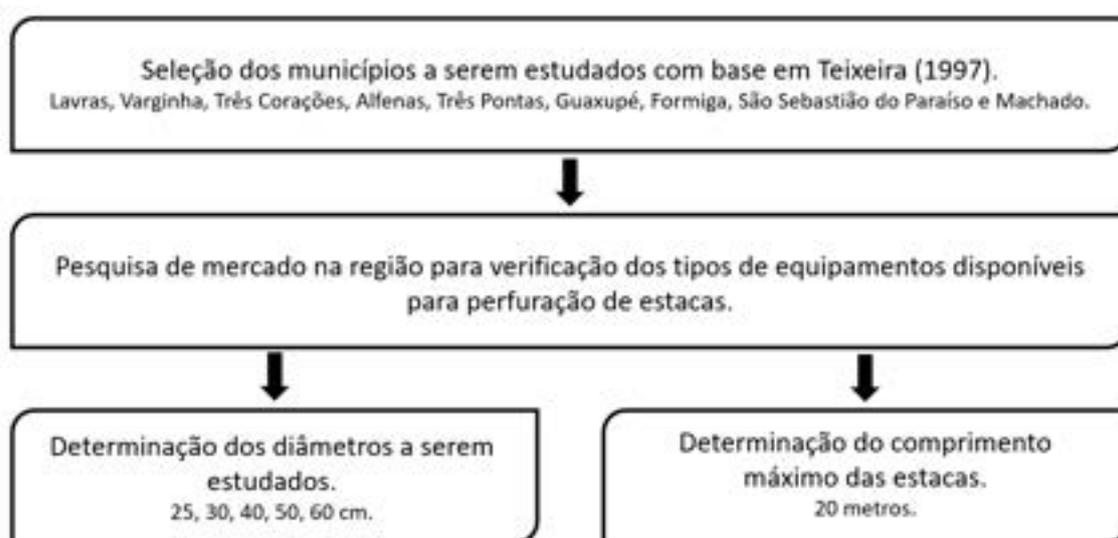
Com o objetivo de avaliar quais métodos semiempíricos melhor se adaptam aos solos do sul de Minas Gerais, foram selecionados dez métodos semiempíricos para serem aplicados considerando as sondagens médias, de cada um dos municípios estudados, apresentadas por

Teixeira (1997). O dimensionamento foi realizado empregando estacas escavadas com diâmetros de 25, 30, 40, 50 e 60 cm e comprimento máximo de 20 m para cada município.

Os diâmetros utilizados e o comprimento máximo do equipamento foram determinados a partir de uma pesquisa de mercado na região, que foram verificadas as características dos equipamentos disponíveis. A Figura 3 apresenta um fluxograma da coleta de dados para o começo da análise dos resultados. A geração dos resultados foi feita individualmente para cada um dos 45 casos de estudo (nove cidades com cinco diâmetros) utilizando-se o *software* Excel. Uma vez selecionado o caso de estudo em questão (uma cidade e um diâmetro), foram realizados os cálculos referentes aos dez métodos semiempíricos utilizando a sondagem média daquela cidade.

A próxima etapa na geração de resultados foi a aplicação das três metodologias de projeto para determinação do comprimento final das estacas. Nessa etapa considerou-se o nível d'água como um limitante para o comprimento da estaca. O comprimento final foi dado pelo menor comprimento entre aqueles calculados pelas três metodologias de projeto e a profundidade do nível d'água. Com o comprimento final calculado encontrou-se a capacidade de carga admissível, que está relacionada a esse comprimento, para cada um dos dez métodos e a quantidade de estacas por bloco de coroamento para cada caso.

Figura 3 - Fluxograma da coleta de dados.



Fonte: dos autores (2021).

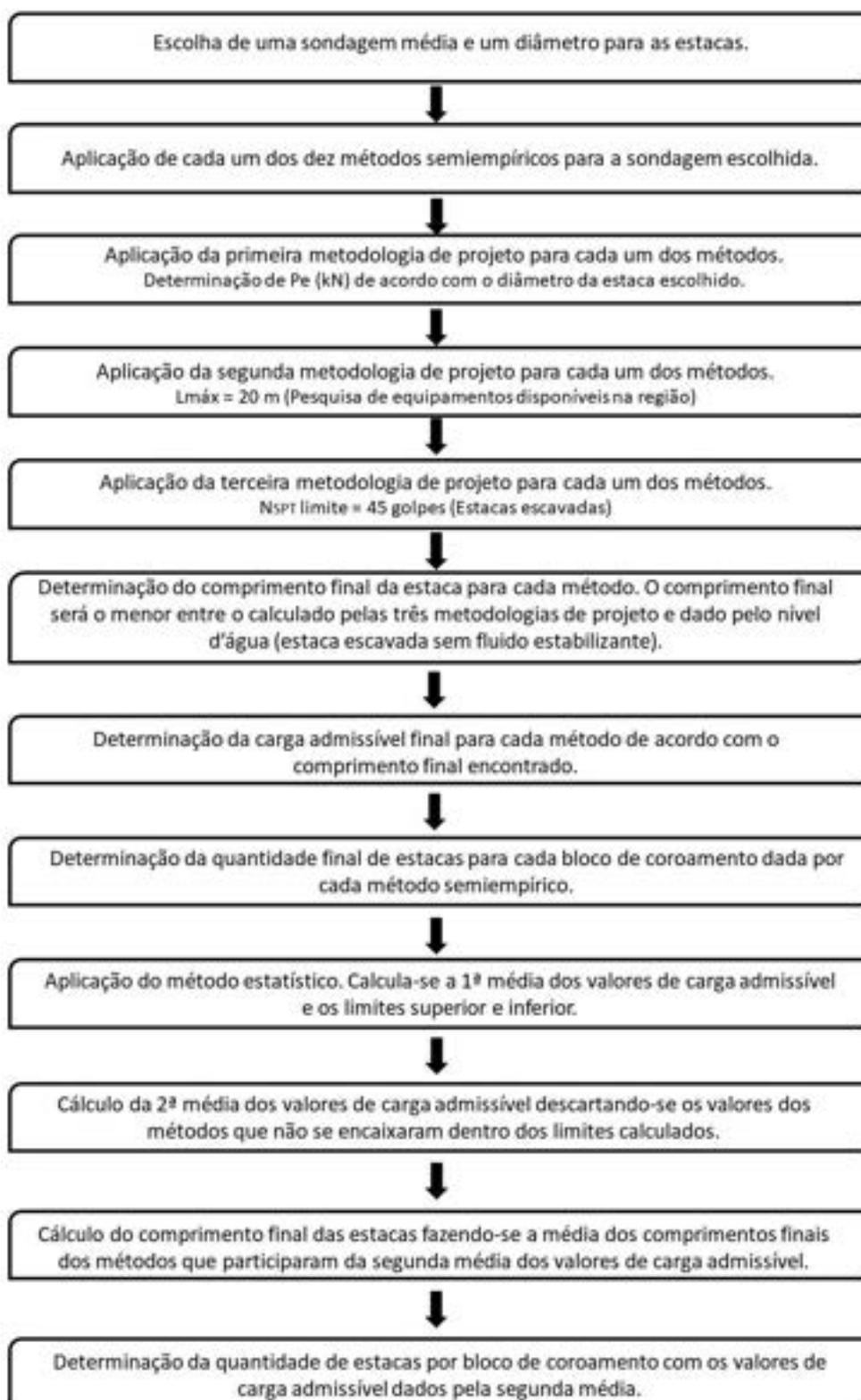
Após a realização de todos os cálculos de capacidade de carga admissível, comprimentos finais e quantidade de estacas por bloco de coroamento, foi necessário aplicar um método estatístico para que resultados anteriormente encontrados fossem apurados e mostrasse qual(is) método(s) apresentaram o melhor resultado. Para isso, foi adotado o

método da segunda média. Nesse método, faz-se uma média com todos os resultados e determina-se os limites máximos e mínimos considerando um desvio padrão de 20%. Posteriormente, faz-se uma segunda média utilizando somente os valores que se encaixam dentro nos limites, e por fim, utiliza-se o valor da segunda média como valor final de capacidade de carga admissível. Vale ressaltar que, após aplicado o método da segunda média, foram novamente realizados cálculos de capacidade de carga, comprimento final e número de estacas por bloco de coroamento somente com os métodos que estavam dentro dos limites estabelecidos pela segunda média.

O desvio padrão de 20% foi adotado seguindo a recomendação de Fellenius (1980), uma vez que o autor afirma que para haver o aprimoramento econômico dos projetos de fundações é necessário que a margem de erro seja de $\pm 20\%$ a 25%. Ademais, esse limite de incerteza de 20% vem sendo usado em diversas publicações quando se trata do cálculo da capacidade de carga para fundações (SCHULZE, 2013).

A Figura 4 traz o fluxograma da geração de resultados.

Figura 4 – Fluxograma da geração de resultados.



Fonte: dos autores (2021).

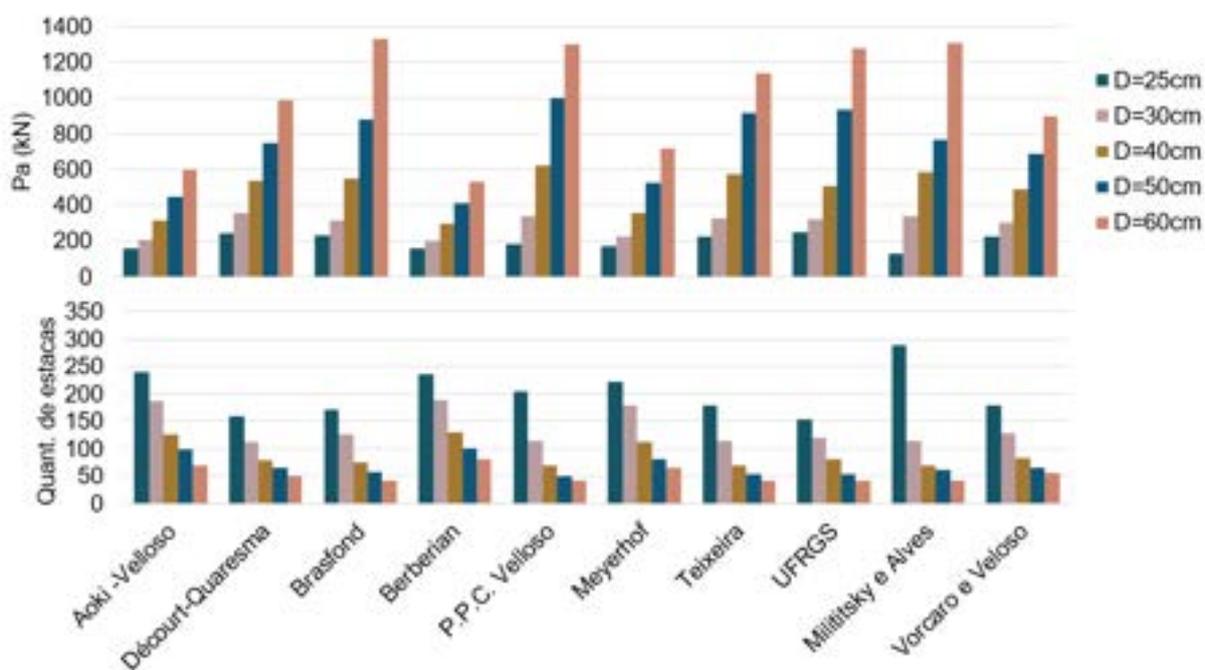
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados

Os resultados obtidos a partir do processamento das sondagens médias das dez cidades aqui analisadas nos cinco diâmetros propostos foram resumidos nos Quadros 1 e 2. Os demais resultados obtidos estão apresentados nos Apêndices C a K. O Apêndice B apresenta o passo a passo de implementação de cada método semiempírico para o caso da cidade de Lavras com estacas de 25 cm de diâmetro. O Quadro 1 traz os resultados de cada um dos métodos semiempíricos separadamente para cada caso, resultados esses antes de serem processados no método estatístico. O Quadro 2 traz os resultados do método estatístico da segunda média e os resultados finais de projeto.

A Figura 5 apresenta o comportamento da capacidade de carga e da quantidade de estacas por bloco de coroamento a partir do aumento diâmetro das estacas.

Figura 5 – Carga admissível (kN) e quantidade de estacas por bloco de coroamento para a cidade de Lavras.



Fonte: dos autores (2021).

Quadro 1 – Resultados obtidos para por cada método semiempírico para casa caso (Continua).

		D = 25 cm			D = 30 cm			D = 40 cm			D = 50 cm			D = 60 cm		
		Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas	Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas	Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas	Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas	Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas
Lavras	Aoki -Velloso	157,18	14	239	204,33	14	187	314,33	14	127	445,27	14	98	597,15	14	70
	Décourt-Quaresma	240,21	13	159	354,88	14	113	535,60	14	80	747,54	14	65	990,69	14	49
	Brasfond	227,77	10	172	316,91	11	127	549,78	12	76	879,65	13	57	1328,90	14	42
	Berberian	160,14	14	236	202,80	14	189	298,76	14	131	408,89	14	101	533,20	14	81
	P.P.C. Velloso	183,98	6	205	337,00	7	114	619,17	8	69	999,30	10	49	1299,10	8	42
	Meyerhof	167,29	14	222	223,37	14	179	358,14	14	113	523,08	14	81	718,17	14	66
	Teixeira	223,40	11	179	327,75	12	115	574,49	13	70	913,68	14	54	1140,00	14	43
	UFRGS	245,68	13	153	323,56	13	120	508,09	13	82	935,07	14	54	1274,10	14	42
	Milititsky e Alves	126,73	9	288	338,66	12	114	585,84	13	70	765,29	13	61	1305,90	14	42
	Vorcaro e Veloso	222,51	14	179	305,27	14	129	488,15	14	83	688,00	14	66	900,11	14	55
Varginha	Aoki -Velloso	220,97	8	180	337,39	9	114	593,15	10	70	920,13	11	54	1406,90	12	42
	Décourt-Quaresma	231,19	8	169	344,95	9	113	588,53	10	70	990,78	12	49	1427,10	13	42
	Brasfond	247,40	6	153	311,02	6	128	574,91	7	70	955,24	8	53	1374,80	9	42
	Berberian	249,82	9	153	321,76	9	125	617,12	11	69	954,37	12	53	1375,10	13	42
	P.P.C. Velloso	222,62	3	179	294,98	3	132	461,13	3	92	960,66	6	53	936,12	3	54
	Meyerhof	222,27	13	179	292,17	13	133	457,42	13	92	656,59	13	68	889,70	13	56
	Teixeira	213,63	6	181	327,98	7	115	598,16	8	70	962,37	9	53	1387,30	10	42
	UFRGS	186,92	7	204	354,96	9	113	631,37	10	68	992,35	11	49	1425,10	12	42
	Milititsky e Alves	155,10	7	242	328,48	9	115	559,52	10	75	939,18	12	53	1386,00	13	42
	Vorcaro e Veloso	227,72	9	172	329,84	10	115	624,02	13	69	817,94	13	57	1013,10	13	48

Quadro 1 – Resultados obtidos para por cada método semiempírico para casa caso (Continua).

		D = 25 cm			D = 30 cm			D = 40 cm			D = 50 cm			D = 60 cm		
		Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas	Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas	Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas	Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas	Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas
Três Corações	Aoki -Velloso	247,45	15	153	327,17	15	115	516,87	15	81	746,87	15	65	1438,00	16	42
	Décourt-Quaresma	221,48	14	180	336,94	15	114	623,92	18	69	886,52	18	57	1191,80	18	42
	Brasfond	228,62	11	171	354,61	13	113	590,62	14	70	969,48	15	49	1250,00	15	42
	Berberian	240,07	15	159	307,82	15	129	594,46	16	70	929,84	17	54	1231,10	17	42
	P.P.C. Velloso	206,36	7	185	344,51	8	113	630,46	10	68	977,99	12	49	1411,60	10	42
	Meyerhof	183,39	18	206	241,27	18	158	378,25	18	109	543,50	18	78	737,02	18	65
	Teixeira	241,90	13	157	344,95	14	113	604,02	15	69	983,32	16	49	1215,80	16	42
	UFRGS	231,02	15	169	302,22	15	129	636,47	17	68	971,69	18	49	1306,10	18	42
	Milititsky e Alves	228,55	14	171	280,62	14	139	577,27	15	70	750,45	15	65	1388,60	17	42
	Vorcaro e Veloso	243,55	17	155	345,91	18	113	532,29	18	81	730,67	18	65	937,22	18	53
Alfenas	Aoki -Velloso	247,05	10	153	359,4	11	112	568,47	11	72	822,18	11	57	1120,50	11	46
	Décourt-Quaresma	232,55	10	169	355,27	11	113	546,74	11	76	774,73	11	61	1039,20	11	47
	Brasfond	191,69	7	198	329,87	8	115	581,19	9	70	953,77	10	53	1245,20	10	42
	Berberian	231,86	10	169	349,18	11	113	531,26	11	81	746,18	11	65	993,94	11	49
	P.P.C. Velloso	249,30	6	153	326,07	6	118	500,32	6	83	920,36	7	54	1164,50	6	42
	Meyerhof	156,88	11	239	210,17	11	181	338,66	11	114	472,02	11	89	654,08	11	68
	Teixeira	234,05	8	167	352,49	9	113	620,78	10	69	860,80	11	57	1117,80	11	46
	UFRGS	242,88	10	155	322,98	10	120	615,86	11	69	748,43	11	65	1024,20	11	47
	Milititsky e Alves	244,63	9	154	302,39	9	129	507,68	10	82	668,18	11	68	842,10	11	57
	Vorcaro e Veloso	192,30	11	198	250,39	11	153	371,74	11	111	497,28	11	83	625,20	11	68

Quadro 1 – Resultados obtidos para por cada método semiempírico para casa caso (Continua).

		D = 25 cm			D = 30 cm			D = 40 cm			D = 50 cm			D = 60 cm		
		Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas	Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas	Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas	Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas	Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas
Três Pontas	Aoki -Velloso	18,79	5	1881	24,71	5	1435	38,70	5	924	55,58	5	646	75,34	5	480
	Décourt-Quaresma	48,11	5	742	61,73	5	581	92,99	5	395	129,59	5	282	171,53	5	219
	Brasfond	42,22	5	846	52,78	5	680	76,03	5	477	102,10	5	358	131,00	5	282
	Berberian	25,17	5	1408	32,97	5	1081	51,32	5	699	73,3	5	495	99,06	5	366
	P.P.C. Velloso	67,04	5	539	85,57	5	423	126,54	5	288	171,795	5	219	273,08	5	140
	Meyerhof	21,40	5	1657	29,22	5	1219	48,38	5	739	72,26	5	500	100,85	5	360
	Teixeira	42,46	5	840	53,01	5	677	77,49	5	473	105,37	5	351	135,48	5	273
	UFRGS	37,96	5	940	50,95	5	704	82,32	5	434	120,88	5	301	166,64	5	222
	Milititsky e Alves	25,87	5	1374	32,63	5	1092	47,75	5	751	64,99	5	553	84,35	5	429
Vorcaro e Veloso	10,44	5	3374	19,24	5	1839	42,68	5	835	72,57	5	500	107,71	5	341	
Guaxupé	Aoki -Velloso	78,19	13	466	99,87	13	364	149,29	13	250	206,77	13	184	272,31	13	140
	Décourt-Quaresma	187,32	13	204	237,06	13	164	348,84	13	113	477,00	13	89	621,53	13	69
	Brasfond	198,31	13	193	243,63	13	144	339,92	13	114	443,75	13	99	555,12	13	75
	Berberian	99,91	13	364	127,65	13	285	190,88	13	198	264,45	13	146	348,36	13	113
	P.P.C. Velloso	227,74	11	172	357,81	13	113	510,30	13	82	674,16	13	67	1044,9	13	47
	Meyerhof	76,18	13	476	101,32	13	360	161,48	13	229	234,83	13	164	321,38	13	126
	Teixeira	180,25	13	210	226,90	13	175	322,96	13	120	429,22	13	100	535,09	13	81
	UFRGS	125,70	13	291	163,11	13	227	250,21	13	153	353,66	13	113	473,48	13	89
	Milititsky e Alves	142,75	13	260	175,54	13	216	245,36	13	153	320,84	13	127	401,97	13	105
Vorcaro e Veloso	78,36	13	464	115,66	13	320	203,14	13	189	303,93	13	129	414,92	13	100	

Quadro 1 – Resultados obtidos para por cada método semiempírico para casa caso (Continua).

		D = 25 cm			D = 30 cm			D = 40 cm			D = 50 cm			D = 60 cm		
		Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas	Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas	Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas	Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas	Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas
Formiga	Aoki -Velloso	216,64	11	180	334,23	12	115	570,04	13	71	820,54	13	57	1114,24	13	46
	Décourt-Quaresma	238,56	11	163	347,13	12	113	583,60	13	70	817,86	13	57	1087,46	13	46
	Brasfond	214,88	8	181	341,06	9	114	589,05	10	70	917,93	11	54	1391,33	12	42
	Berberian	242,56	12	155	356,45	13	113	538,84	13	79	753,00	13	64	998,95	13	49
	P.P.C. Velloso	164,02	6	223	212,16	6	181	587,93	7	70	823,62	7	57	1312,07	7	42
	Meyerhof	165,72	13	223	220,07	13	180	349,97	13	113	508,15	13	82	694,61	13	66
	Teixeira	236,40	9	164	350,60	10	113	599,83	11	69	943,52	12	53	1364,71	13	42
	UFRGS	230,63	11	169	357,84	12	113	637,44	13	68	916,17	13	54	1242,65	13	42
	Milititsky e Alves	224,37	9	178	345,11	11	113	606,20	12	69	927,16	13	54	1155,01	13	42
	Vorcaro e Veloso	209,39	13	181	271,68	13	142	401,41	13	106	535,25	13	81	671,36	13	68
S.S. do Paraíso	Aoki -Velloso	155,90	10	242	176,40	9	215	302,22	9	129	585,12	11	70	815,25	11	59
	Décourt-Quaresma	155,12	11	242	207,83	11	182	334,91	11	115	490,91	11	83	675,80	11	67
	Brasfond	243,96	11	154	315,02	11	127	479,41	11	87	673,48	11	67	897,24	11	56
	Berberian	159,25	11	237	211,91	11	181	213,23	10	181	308,95	10	128	421,63	10	100
	P.P.C. Velloso	209,57	8	181	344,45	9	113	527,06	9	81	732,87	9	65	1189,60	9	42
	Meyerhof	83,25	11	433	112,63	11	330	184,10	11	205	272,53	11	140	377,93	11	109
	Teixeira	241,12	11	159	309,13	11	128	477,52	11	89	678,58	11	67	875,56	11	57
	UFRGS	155,82	11	242	208,86	11	181	336,84	11	114	493,98	11	83	680,30	11	67
	Milititsky e Alves	217,01	11	180	266,77	11	146	372,66	11	111	487,03	11	83	609,88	11	69
	Vorcaro e Veloso	81,03	11	446	115,05	11	321	191,83	11	198	277,21	11	139	368,84	11	111

Quadro 1 – Resultados obtidos para por cada método semiempírico para casa caso (Conclusão).

		D = 25 cm			D = 30 cm			D = 40 cm			D = 50 cm			D = 60 cm		
		Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas	Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas	Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas	Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas	Pa (kN)	L (m)	Nº de estacas
Machado	Aoki -Velloso	174,31	15	218	218,59	15	180	316,59	15	127	427,15	15	100	550,28	15	76
	Décourt-Quaresma	241,91	14	157	350,41	15	113	505,67	15	82	680,15	15	67	873,87	15	57
	Brasfond	233,66	11	167	329,87	12	115	583,71	14	70	883,57	15	57	1105,50	15	46
	Berberian	230,57	15	169	290,56	15	133	424,39	15	100	576,72	15	70	747,54	15	65
	P.P.C. Velloso	249,35	9	153	316,83	9	127	636,80	11	68	929,75	12	54	1408,40	12	42
	Meyerhof	140,19	15	264	185,20	15	205	292,17	15	133	421,76	15	100	573,97	15	70
	Teixeira	237,73	12	164	327,04	13	115	593,55	15	70	784,48	15	61	975,94	15	49
	UFRGS	210,16	14	181	343,57	15	113	534,08	15	81	762,57	15	61	1029,10	15	47
	Milititsky e Alves	237,66	13	167	318,25	14	133	443,66	14	99	834,09	15	57	1034,80	15	47
	Vorcaro e Veloso	184,80	15	205	258,64	15	146	424,88	15	100	609,72	15	69	808,37	15	59

Fonte: dos autores (2021).

Quadro 2 – Resumo dos resultados do método estatístico da segunda média (Continua).

	D (cm)	Pa (kN)	L(m)	Nº de estacas	Métodos semiempíricos que foram eliminados no método estatístico da segunda média									
					Aoki - Velloso	Décourt - Quaresma	Brasfond	Berberian	P.P.C. Velloso	Meyerhof	Teixeira	UFRGS	Milititsky e Alves	Vorcaro e Velloso
Lavras	25	191,9	12	198		X						X	X	
	30	324,9	12	119	X	X		X		X				
	40	531,2	14	81	X			X	X	X			X	
	50	733,6	14	65	X		X	X	X	X	X	X		
	60	1010,3	14	48	X		X	X	X	X		X	X	
Varginha	25	224,7	8	177									X	
	30	324,4	9	120										
	40	570,5	10	71										
	50	943,7	11	53						X				
	60	1349,4	12	42					X	X				
Três Corações	25	227,2	14	174										
	30	327,2	15	115						X				
	40	589,6	16	70						X				
	50	883,0	16	57						X				
	60	1304,1	16	42						X				X
Alfenas	25	229,6	9	170						X				
	30	337,2	10	114						X				X
	40	559,0	10	75						X				X
	50	832,7	11	57			X			X	X			X
	60	1119,5	11	46						X	X			X
Três Pontas	25	38,00	5	940	X	X	X	X	X	X	X		X	X
	30	52,20	5	686	X	X		X	X	X			X	X
	40	76,8	5	475	X	X		X	X	X	X		X	X
	50	103,7	5	353	X	X		X	X	X	X	X	X	X
	60	124,7	5	295	X	X		X	X	X	X	X	X	

Quadro 2 – Resumo dos resultados do método estatístico da segunda média (Conclusão).

	D (cm)	Pa (kN)	L(m)	Nº de estacas	Métodos semiempíricos que foram eliminados no método estatístico da segunda média:									
					Aoki - Velloso	Décourt - Quaresma	Brasfond	Berberian	P.P.C. Velloso	Meyerhof	Teixeira	UFRGS	Milititsky e Alves	Vorcaro e Velloso
Guaxupé	25	134,20	13	277	X	X	X	X	X	X	X			X
	30	169,30	13	221	X	X	X	X	X	X	X			X
	40	272,80	13	140	X	X	X	X	X	X				X
	50	370,30	13	111	X	X		X	X	X				
	60	476,10	13	89	X	X		X	X	X				
Formiga	25	226,70	11	175					X	X				
	30	338,00	12	114					X	X				
	40	589,10	12	70						X				X
	50	865,00	12	57						X				X
	60	1151,70	12	42			X			X	X			X
S.S. do Paraíso	25	156,50	11	239			X		X	X	X		X	X
	30	223,80	11	179	X		X		X	X	X			X
	40	336,70	11	114			X	X	X	X	X			X
	50	514,3	11	81			X	X	X	X	X			X
	60	695,3	11	66			X	X	X	X	X			X
Machado	25	222,20	14	179						X				
	30	316,90	14	127	X					X				
	40	466,50	15	92	X		X		X	X	X			
	50	682,70	15	66	X		X		X	X			X	
	60	911,60	15	54	X		X		X	X				

Fonte: dos autores (2021).

4.2 Discussões

Pode-se observar que, o aumento do diâmetro das estacas provoca um aumento na capacidade de carga admissível e, conseqüentemente, uma diminuição na quantidade de estacas por bloco de coroamento. Isso ocorre devido ao fato de que o aumento do diâmetro, aumenta a superfície de contato solo-estaca, incrementando assim as resistências de ponta e lateral (Figura 5).

Observa-se também que quanto maior o comprimento da estaca, menor o número de estacas necessárias, pois um comprimento maior gera mais superfície de atrito aumentando assim a parcela de resistência lateral. Outra razão para isso, e que pode ser observada nas sondagens médias estudadas (ANEXO A) é que quanto mais profundo o furo de sondagem mais resistente o solo se encontra (para os casos estudados), ou seja, estacas mais profundas estão apoiadas em camadas de solo mais resistentes aumentando assim, a parcela da resistência de ponta.

Pela análise do Quadro 1, pode-se perceber que, no geral, o número de estacas requeridas para implantação do projeto na cidade de Três Pontas foi maior, isso ocorreu devido ao nível d'água se apresentar na cota de -5m na sondagem média do município, esse fator limita o comprimento das estacas e conseqüentemente diminui a capacidade de carga, aumentando significativamente o número de estacas requeridas. O nível d'água como um limitante de comprimento para a estaca foi uma condição de projeto para se evitar trabalhar abaixo do nível d'água, porém em situações reais isso pode não ser um limitante, pois existem tecnologias capazes de executar estacas abaixo do nível d'água, a exemplo da estaca tipo hélice contínua.

Para a cidade de Guaxupé, em todos os casos o fator determinante para o comprimento das estacas foi o nível d'água. O solo da cidade não é suficientemente resistente para a primeira metodologia de projeto prevalecer sobre as demais.

De forma geral, para as três cidades em que o nível d'água foi identificado na sondagem média a capacidade de carga admissível se mostrou menor quando comparada as demais cidades. Isso pois, em todas essas cidades (São Sebastião do Paraíso, Guaxupé e Três Pontas) o nível d'água, que é considerado um fator limitante para a execução da estaca neste trabalho, encontra-se em camadas de solo com pouca capacidade de suporte, o que acarretou na baixa capacidade de carga admissível.

Analisando o Quadro 1, verifica-se que os métodos mais conservadores e menos conservadores para cada cidade, respectivamente, são (esta análise foi feita comparando-se os

valores de capacidade de carga para cada um dos cinco casos, para cada cidade individualmente):

- Lavras - Berberian (80%) e Pedro Paulo Costa Velloso (40%);
- Varginha - Meyerhof (100%) e UFRGS (60%);
- Três Corações - Meyerhof (100%) e Aoki-Velloso (40%);
- Alfenas - Meyerhof (80%) e Brasfond (40%);
- Três Pontas -Aoki-Velloso (60%) e Pedro Paulo Costa Velloso (100%);
- Guaxupé - Aoki-Velloso (80%) e Pedro Paulo Costa Velloso (100%);
- Formiga - Pedro Paulo C. Velloso e Meyerhof empatados em (40%) e UFRGS (40%);
- São Sebastião do Paraíso - Meyerhof (60%) e Pedro Paulo Costa Velloso (80%);
- Machado - Meyerhof (80%) e Pedro Paulo Costa Velloso (100%).

Analisando os casos de todas as cidades conjuntamente, o método que se mostrou mais conservador, ou seja, gerou valores de capacidade de carga admissível menores foi o método de Meyerhof (51,1 % dos casos) seguido por Aoki-Velloso (17,7% dos casos). E os métodos menos conservadores foram Pedro Paulo Costa Velloso (46,7% dos casos) e UFRGS (15,6% dos casos).

Pela análise do Quadro 2 observa-se que os dois métodos semiempíricos que mais foram eliminados pelo método da segunda média foram Meyerhof (88,9% dos casos) e Pedro Paulo Costa Velloso (53,3% dos casos). Esse resultado era esperado, uma vez que pela análise do Quadro 1 esses dois métodos se mostraram nos extremos de mais conservadores e menos conservadores, respectivamente. Os métodos que foram menos eliminados foram UFRGS (eliminado em 13,3% dos casos) e Milititsky e Alves (eliminado em 24,4% dos casos). A ordem do mais eliminado na segunda média foi: Meyerhof (88,9%), Pedro Paulo Costa Velloso (53,3%), Vorcaro e Velloso (44,4%), Aoki e Velloso (42,2%), Berberian (37,8%), Brasfond (35,6%), Teixeira (28,9%), Décourt-Quaresma (26,7%), Milititsky e Alves (24,4%) e UFRGS (13,3%).

Ao observar a formulação do método de Meyerhof nota-se que o método não inclui coeficientes que relacionam o tipo de solo com o valor da capacidade de carga, essa pode ser uma das razões pela qual o método apresentou valores destoantes em relação aos resultados de outras metodologias. O método de Pedro Paulo Costa Velloso apresenta esses coeficientes que variam com o tipo de solo, porém esses coeficientes só estão tabelados para solos submersos, o que torna o método pouco aplicável para os casos em estudo.

Pode-se perceber que a cidade de Varginha é a que apresenta menos exclusões pelo método da segunda média (Quadro 2). Isso pois, ao avaliar a sondagem média para esse município (ANEXO A), entre as cidades estudadas, essa apresenta os maiores índices de resistência a penetração (N_{SPT}), portanto, o solo possui boas características de consistência e resistência.

Ao que se refere aos valores de índice de resistência a penetração (N_{SPT}) adotados para cada município, as cidades de Varginha, Lavras e Três Corações foram as cidades onde foram realizados os maiores números de sondagens SPT, de acordo com o que foi exposto na Tabela 17. Dessa forma, pode-se afirmar que o perfil médio de sondagem está melhor representado para essas três cidades.

De acordo com Schulze (2013), que utilizou ensaios de prova de carga para realizar comparações entre os métodos semiempíricos, constatou-se que o método apresentado por Décourt e Quaresma (1996) como aquele que fornece a melhor aferição da carga admissível. Entretanto, a autora considera uma modificação para coeficiente de resistência lateral (β).

Como exposto por Perez (2014), a metodologia proposta por Décourt e Quaresma (1996) e a denominada UFRGS (2005), apresentaram boa estimativa de capacidade de carga admissível. Vale ressaltar que a autora utiliza a modificação do coeficiente β proposto por Schulze (2013) para a realização dos cálculos na metodologia de Décourt e Quaresma (1996). De forma análoga, a autora conclui que o método proposto por Pedro Paulo Costa Velloso (1981) se mostrou superestimado, uma vez que o valor obtido para carga de ruptura foi 50% superior se comparado com o resultado obtido pela prova de carga (PEREZ, 2014).

Conforme pesquisa realizada por Pereira (2016), os métodos de Meyerhof (1976) e Aoki e Velloso (1975), entre os métodos analisados em seu trabalho, foram os que mais se apresentaram conservadores, nessa ordem. O autor também afirma que o método de Décourt e Quaresma (1978) exibiu resultados intermediários, enquanto que Teixeira (1996) foi a metodologia menos conservadora (PEREIRA, 2016).

Desse modo, pode-se afirmar que os resultados encontrados por Schulze (2013), Perez (2014) e Pereira (2016) foram similares aos desse trabalho, uma vez que, ao que se refere aos resultados obtidos, a metodologia imposta por Décourt e Quaresma (1996) e Teixeira (1996), apresentou valores de resistência intermediários, sem haver modificações no coeficiente β para o método de Décourt e Quaresma (1996). Assim como, os métodos de Meyerhof (1976), Pedro Paulo Costa Velloso (1981) e Aoki e Velloso (1975), foram os que mais se mostraram conservadores, respectivamente. Além disso, como apontado por Perez (2014), o método

denominado UFRGS (2005), também mostrou boa estimativa de capacidade de carga neste trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. Conclusões

A princípio foram consultados diversos livros técnicos e artigos científicos em busca de metodologias de previsão de capacidade de carga mais adequadas para esse estudo, sendo escolhidas, assim, as formulações de Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978), Berberian (2018), Brasfond (1991), Pedro Paulo Costa Velloso (1981), Teixeira (1996), Milititsky e Alves (1985), UFRGS (2005), Vorcaro e Velloso (2000) e Meyerhof (1976).

Em seguida, foi desenvolvido um projeto arquitetônico de um edifício comercial que na sequência foi projetado estruturalmente no *software* TQS. O objetivo desse projeto real foi mostrar um estudo de caso no qual as cargas verticais características aplicadas sob às fundações pudessem ser utilizadas no desenvolvimento dos projetos de fundações.

Posteriormente, foram feitos os cálculos para o projeto de fundações por estacas para o estudo de caso utilizando cada um dos dez métodos semiempíricos que foram previamente escolhidos. Esse projeto de fundações foi implementado para nove cidades do sul de Minas Gerais utilizando as sondagens médias propostas por Teixeira (1997). O objetivo era traçar diretrizes para os projetos de fundações nessas cidades indicando quais métodos semiempíricos seriam mais viáveis para a utilização.

Com base nos resultados obtidos, pode-se aferir que os métodos semiempíricos que melhor se adequaram para a obtenção da capacidade de carga nos solos da região do Sul de Minas Gerais foram: UFRGS e Milititsky e Alves. Já aqueles que se mostraram menos propensos a utilização para os solos e tipo de estaca tratados neste trabalho foram: Meyerhof e Pedro Paulo da Costa Velloso. Os métodos apresentados por Aoki- Velloso, Berberian, Brasfond, Teixeira e Décourt-Quaresma exibiram resultados intermediários e tiveram maiores porcentagens de exclusão nessa ordem. Essas afirmações têm como base a porcentagem de eliminação na análise estatística pelo método da segunda média, as quais foram apresentadas nos resultados deste trabalho.

Vale ressaltar que os métodos semiempíricos aqui estudados, são propostos a partir de análises e investigações empíricas, dessa forma a região e o tipo de estaca utilizadas influenciam nos resultados obtidos para cada metodologia. Assim, é necessário verificar a compatibilidade entre as características do caso real do solo e da fundação com as premissas empregadas para cada formulação.

5.2. Sugestões para trabalhos futuros

A partir dos resultados apresentados foi possível avaliar a estimativa da capacidade de carga total apresentada por cada método analisado, porém é imprescindível que seja feita a análise avaliando as parcelas referentes as resistências de ponta e lateral. Para isso, é necessário que seja realizada a comparação com os resultados de provas de cargas, as quais exprimem valores de capacidade de resistência mais próximos da realidade, nas regiões abordadas. Dessa forma, uma sugestão para a continuação do trabalho é a realização do comparativo entre os resultados obtidos e com aqueles oriundos de provas de carga, realizando observações quanto a estimativa de resistência lateral e de ponta em cada método. Essas ações poderão levar a uma acurácia na determinação das metodologias mais adequadas e até mesmo possibilitar a adaptação e/ou desenvolvimento de novas metodologias semiempíricas específicas para serem aplicadas aos solos do sul de Minas Gerais.

Como as sondagens médias utilizadas foram baseadas no trabalho de Teixeira (1997), recomenda-se a ampliação e/ou atualização da base de dados, a qual também contemple outros tipos de ensaios de campos além do SPT.

Outras sugestões para ampliação deste trabalho, seria a utilização de outras metodologias para determinação do comprimento da estaca, além da aplicação de métodos distintos para a realização da análise estatística dos resultados.

REFERÊNCIAS

- ALONSO, U. R. **Exercícios de fundações**. 13ª edição. São Paulo: Edgard Blücher, 1983.
- ALONSO, U. R. **Dimensionamento de fundações profundas**. 3ª edição. São Paulo: Edgard Blücher, 2019.
- AOKI, N.; VELLOSO, D. A. **An approximate method to estimate the bearing capacity of piles**. In: **CONGRESO PANAMERICANO DE MECANICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES-PASSMFE**, 5, 1975, Buenos Aires. Anais... Buenos Aires: Sociedad Argentina de Mécanica de Suelos e Ingenieria de Fundaciones, p.367-376.
- AOKI, N.; CINTRA, J. C. A. Carga admissível e carga característica de fundações por estacas. **Revista Solos e Rochas**, São Paulo, v. 23, n. 2, p.137-142, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.
- ARAUJO, B. K. S. **Cálculo de capacidade de carga em estacas utilizando métodos semi-empíricos: abordagem probabilística dos resultados**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Crateús, 78p.
- BERBERIAN, D. **Engenharia de Fundações**. 4ª edição. Brasília/DF: Editora Infrasolo, 2018.
- BRASFOND. Catálogo técnico sobre estacas raiz. Guarulhos, 1991.
- CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Fundações por estacas: projeto geotécnico**. 1ª edição. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2010.
- DÉCOURT, L.; QUARESMA, A. R. **Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT**. In: **CONGRESO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES**, 6, 1978, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMS, p.45-53, v.1.
- FELLENIUS, B. H. Basic of Foundation Design. Canada: 2015. E-book. Disponível em: <http://www.Fellenius.net>. Acesso: 08 abr. 2020.
- LOBO, B. O. **Método de previsão de capacidade de carga de estacas: aplicação dos conceitos de energia do ensaio SPT**. 2005. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- MEYERHOF, G. G. Bearing capacity and settlement of pile foundations. **Journal of Geotechnical Engineering**, [S.l.]: American Society of Civil Engineers, v.102, n.GT3, p.197-227, 1976.

MILITITSKY, J.; ALVES, I. Discussions – Section 3.3: Building foundations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS, IN TROPICAL LATERITIC AND SAPROLITIC SOILS, 1., 1985, Brasília. **Proceedings** [...]. São Paulo: ABMS, 1985. p.45-48, v.4.

MILITITSKY, J. **Relato do estado atual de conhecimento: fundações.** In: **CBMSEF**, 8, 1986, Porto Alegre. Anais [...]. Porto Alegre, 1986. V. 7.

PEREIRA, D. A. **Análise de provas de carga estática instrumentadas em estacas escavadas em areia.** 2016. 190f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

PEREZ, N. B. M. **Análise de transferência de carga em estacas escavadas em solo da região de Campinas/SP.** 2014. 171p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Campinas, 2014.

SCHULZE, T. **Análise da capacidade de carga de estaca escavada instrumentada de pequeno diâmetro por meio de método semi-empíricos.** 2013. 168p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Campinas, 2013.

TEIXEIRA, C. Z. **Capacidade de carga de sapatas, estacas de pequeno diâmetro e tubulões curtos em função do SPT: um estudo em solos residuais de gnaisses para a região sul de Minas.** 1997. 302p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

VELLOSO, Dirceu de A.; LOPES, Francisco de R. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas.** 1ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

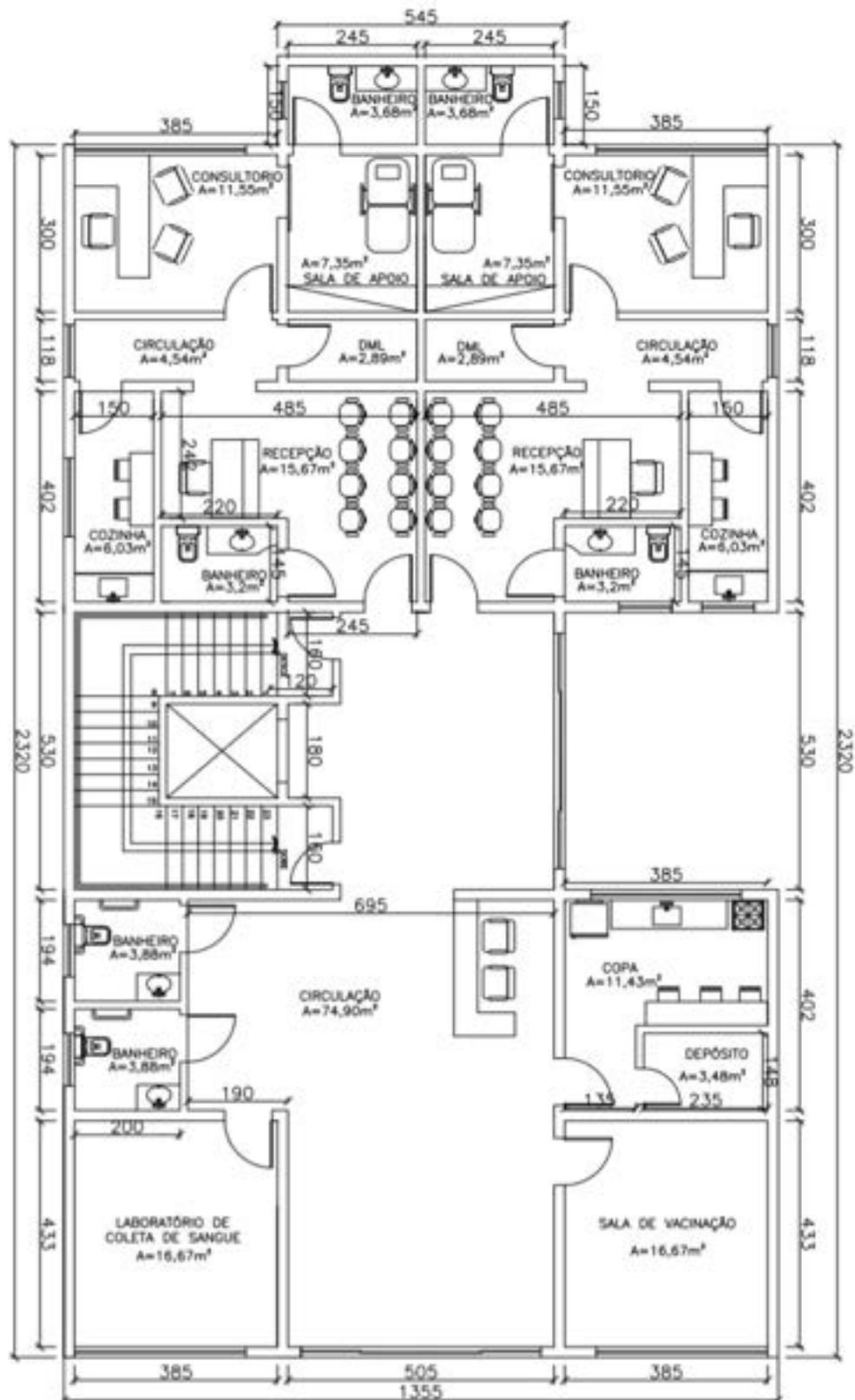
VELLOSO, P.P.C. **Fundações: Aspectos Geotécnicos.** 3ª Edição. Rio de Janeiro: Edipuc, 1981.

TEIXEIRA, A. H. **Projeto e execução de fundações,** Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, SEFE III, 1ª edição. São Paulo: 1996.

VORCARO, M. C. **Estimativa da Carga Última Compressiva em Estacas a partir do SPT por Regressão Linear Múltipla.** 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

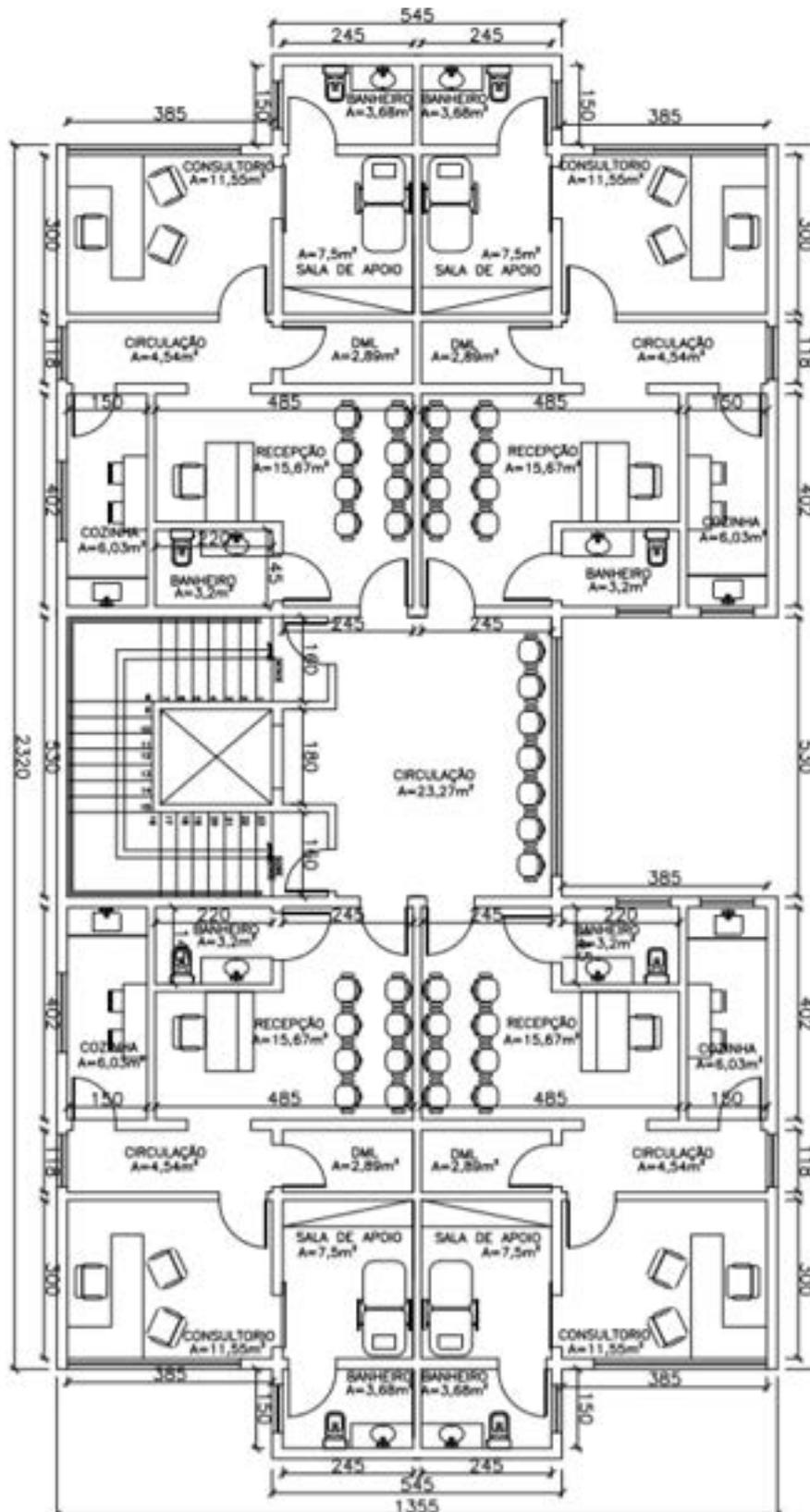
APÊNDICE A- Plantas baixas e locação dos elementos estruturais.

Figura 1 – Planta baixa do pavimento térreo.



Fonte: dos autores (2021).

Figura 2– Planta baixa dos pavimentos tipo.



Fonte: dos autores (2021).

APÊNDICE B – Aplicação dos métodos semiempíricos para a cidade de Lavras-MG com estacas de 25 cm de diâmetro.

A seguir serão apresentadas todas as etapas da análise feita nesse trabalho para a cidade de Lavras – MG e diâmetro de 25 cm.

Tabela 1 – Aplicação do método de Aoki – Velloso (1975).

Tipo de solo	NSPT	Cota de apoio (m)	α	k (kPa)	L (m)	NL	RLi (kN)	RL (kN)	NP	RP (kN)	R (kN)	Pa (kN)
Argila arenosa	2	2	0,024	350,0	1	2	2,20	2,20	2	10,80	13,00	6,50
Argila silto arenosa	2	3	0,030	330,0	2	2	2,59	4,79	5	20,45	25,24	12,62
Silte argilo arenoso	5	4	0,030	250,0	3	5	4,91	9,70	8	32,72	42,42	21,21
Silte argilo arenoso	8	5	0,030	250,0	4	8	7,85	17,55	10	40,91	58,46	29,23
Silte argilo arenoso	10	6	0,030	250,0	5	10	9,82	27,37	9	36,82	64,19	32,09
Silte argilo arenoso	9	7	0,030	250,0	6	9	8,84	36,21	9	36,82	73,02	36,51
Silte argilo arenoso	9	8	0,030	250,0	7	9	8,84	45,04	20	81,81	126,85	63,43
Silte argilo arenoso	20	9	0,030	250,0	8	20	19,63	64,68	12	49,09	113,76	56,88
Silte argilo arenoso	12	10	0,030	250,0	9	12	11,78	76,46	19	77,72	154,18	77,09
Silte argilo arenoso	19	11	0,030	250,0	10	19	18,65	95,11	13	53,18	148,29	74,14
Silte argilo arenoso	13	12	0,030	250,0	11	13	12,76	107,87	21	85,90	193,78	96,89
Silte argilo arenoso	21	13	0,030	250,0	12	21	20,62	128,49	24	98,17	226,67	113,33
Silte argilo arenoso	24	14	0,030	250,0	13	24	23,56	152,05	32	130,90	282,95	141,48
Silte argilo arenoso	32	15	0,030	250,0	14	32	31,42	183,47	32	130,90	314,37	157,18

Fonte: dos autores (2021).

Tabela 2 – Aplicação do método de Décourt-Quaresma (1978).

Tipo de solo	NSPT	Cota de apoio (m)	NL	L (m)	β	RL (kN)	Np	C (kPa)	α	Rp (kN)	R (kN)	Pa (NBR) (kN)	Pa (Autores) (kN)
Argila arenosa	2	2	0	1	0,8	6,28	3	225	0,85	28,16	34,45	17,22	11,87
Argila silto arenosa	2	3	2	2	0,8	20,94	5	219	0,85	45,69	66,63	33,32	27,53
Silte argilo arenoso	5	4	2	3	0,65	25,53	7,67	207	0,6	46,74	72,27	36,13	31,32
Silte argilo arenoso	8	5	3	4	0,65	40,84	9	207	0,6	54,87	95,71	47,86	45,13
Silte argilo arenoso	10	6	4	5	0,65	59,56	9,33	207	0,6	56,90	116,46	58,23	60,04
Silte argilo arenoso	9	7	5	6	0,65	81,68	12,7	207	0,6	77,22	158,91	79,45	82,14
Silte argilo arenoso	9	8	6	7	0,65	107,21	13,7	207	0,6	83,32	190,53	95,26	103,30
Silte argilo arenoso	20	9	6	8	0,65	122,52	17	207	0,6	103,64	226,17	113,08	120,16
Silte argilo arenoso	12	10	8	9	0,65	168,47	14,7	207	0,6	89,42	257,89	128,94	151,95
Silte argilo arenoso	19	11	9	10	0,65	204,20	17,7	207	0,6	107,71	311,91	155,96	184,01
Silte argilo arenoso	13	12	10	11	0,65	243,34	19,3	207	0,6	117,87	361,21	180,61	216,65
Silte argilo arenoso	21	13	10	12	0,65	265,46	25,7	207	0,6	156,48	421,95	210,97	243,32
Silte argilo arenoso	24	14	11	13	0,65	309,71	28	207	0,6	170,71	480,41	240,21	280,91
Silte argilo arenoso	32	15	12	14	0,65	357,36	32	207	0,6	195,09	552,45	276,22	323,66

Fonte: dos autores (2021).

Tabela 3 – Aplicação do método de Brasfond (1991) (Continua).

Tipo de solo	NSPT	Cota de apoio (m)	L (m)	β	RLi (kN)	RL (kN)	α	NP	RP (kN)	Qu (KN)	Pa (kN)
Argila arenosa	2	2	1	5	7,854	7,85	80	2	7,85	15,71	7,85
Argila siltosa	2	3	2	5	7,854	15,71	100	4	17,18	32,89	16,44
Silte argiloso	5	4	3	5	19,63	35,34	100	7	31,91	67,25	33,62
Silte argiloso	8	5	4	5	31,42	66,76	100	9	44,18	110,94	55,47

Tabela 3 – Aplicação do método de Brasfond (1991) (Conclusão).

Silte argiloso	10	6	5	5	39,27	106,03	100	10	46,63	152,66	76,33
Silte argiloso	9	7	6	5	35,34	141,37	100	9	44,18	185,55	92,78
Silte argiloso	9	8	7	5	35,34	176,71	100	15	71,18	247,89	123,95
Silte argiloso	20	9	8	5	78,54	255,25	100	16	78,54	333,79	166,90
Silte argiloso	12	10	9	5	47,12	302,38	100	16	76,09	378,46	189,23
Silte argiloso	19	11	10	5	74,61	376,99	100	16	78,54	455,53	227,77
Silte argiloso	13	12	11	5	51,05	428,04	100	17	83,45	511,49	255,75
Silte argiloso	21	13	12	5	82,47	510,51	100	23	110,45	620,96	310,48
Silte argiloso	24	14	13	5	94,25	604,76	100	28	137,44	742,20	371,10
Silte argiloso	32	15	14	5	125,7	730,42	100	32	157,08	887,50	443,75

Fonte: dos autores (2021).

Tabela 4 – Aplicação do método de Berberian (2018) (Continua).

Tipo de solo	NSPT	Cota de apoio (m)	L (m)	KLDB (t/m ²)	RLi (t)	RL (t)	RL (kN)	P (cm)	Ns	NI	NP	KPDBs (t/m ²)	KPDBI (t/m ²)	KPDBméd (t/m ²)	RP (t)	RP (kN)	RT (KN)	Pa (kN)
Argila arenosa	2	2	1	0,84	0,29	0,29	2,81	0	2	2	2	70	66	68	1,67	16,37	19,19	9,5933
Argila silto arenosa	2	3	2	0,98	0,33	0,62	6,10	0	2	5	4	70	23	46,5	2,08	20,43	26,53	13,265
Silte argilo arenoso	5	4	3	0,74	0,63	1,25	12,29	0	5	8	7	66	23	44,5	3,63	35,63	47,92	23,96
Silte argilo arenoso	8	5	4	0,74	1,01	2,26	22,21	0	8	10	9	23	23	23	2,57	25,20	47,41	23,703
Silte argilo arenoso	10	6	5	0,74	1,26	3,53	34,60	0	10	9	9	23	23	23	2,67	26,17	60,77	30,385
Silte argilo arenoso	9	7	6	0,74	1,14	4,66	45,76	0	9	9	9	23	23	23	2,54	24,92	70,68	35,34
Silte argilo arenoso	9	8	7	0,74	1,14	5,80	56,91	0	9	20	15	23	23	23	4,25	41,67	98,59	49,293

Tabela 4 – Aplicação do método de Berberian (2018) (Conclusão).

Silte argilo arenoso	20	9	8	0,74	2,53	8,33	81,70	0	20	12	16	23	23	23	4,40	43,19	124,90	62,449
Silte argilo arenoso	12	10	9	0,74	1,52	9,84	96,58	0	12	19	16	23	23	23	4,47	43,89	140,46	70,232
Silte argilo arenoso	19	11	10	0,74	2,40	12,25	120,13	0	19	13	16	23	23	23	4,43	43,47	163,60	81,799
Silte argilo arenoso	13	12	11	0,74	1,64	13,89	136,24	0	13	21	17	23	23	23	4,91	48,18	184,42	92,209
Silte argilo arenoso	21	13	12	0,74	2,65	16,54	162,27	0	21	24	23	23	23	23	6,39	62,72	224,98	112,49
Silte argilo arenoso	24	14	13	0,74	3,03	19,57	192,02	0	24	32	28	23	23	23	8,02	78,64	270,65	135,33
Silte argilo arenoso	32	15	14	0,74	4,04	23,62	231,68	0	32	32	32	23	23	23	9,03	88,60	320,28	160,14

Fonte: dos autores (2021).

Tabela 5 – Aplicação do método de Pedro Paulo Costa Velloso (1981) (Continua).

Tipo de solo	NSPT	Cota de apoio (m)	L (m)	a (kPa)	b	a' (kPa)	b'	β_{pp}	N1	N2	Rp	RP (kN)	ALi	fsi	RLi (kN)	RL (kN)	R (kN)	Pa (kN)
Argila	2	2	1	250	1	6,3	1	0,90	2	2	500,00	22,21	0,79	12,60	9,90	9,90	32,11	16,05
Argila	2	3	2	250	1	6,3	1	0,90	2	5	875,00	38,87	0,79	12,60	9,90	19,79	58,66	29,33
Silte	5	4	3	470	0,96	12,1	0,74	0,90	5	8	2831,69	125,78	0,79	39,81	31,27	51,06	176,84	88,42
Silte	8	5	4	470	0,96	12,1	0,74	0,90	8	10	3873,18	172,04	0,79	56,37	44,28	95,34	267,38	133,69
Silte	10	6	5	470	0,96	12,1	0,74	0,90	10	9	4080,27	181,24	0,79	66,49	52,22	147,56	328,80	164,40
Silte	9	7	6	470	0,96	12,1	0,74	0,90	9	9	3874,10	172,08	0,79	61,51	48,31	195,87	367,95	183,98
Silte	9	8	7	470	0,96	12,1	0,74	0,90	9	20	6106,29	271,23	0,79	61,51	48,31	244,18	515,41	257,70
Silte	20	9	8	470	0,96	12,1	0,74	0,90	20	12	6722,42	298,60	0,79	111,06	87,22	331,40	630,00	315,00
Silte	12	10	9	470	0,96	12,1	0,74	0,90	12	19	6522,09	289,70	0,79	76,10	59,77	391,17	680,87	340,44
Silte	19	11	10	470	0,96	12,1	0,74	0,90	19	13	6726,02	298,76	0,79	106,92	83,98	475,14	773,90	386,95
Silte	13	12	11	470	0,96	12,1	0,74	0,90	13	21	7126,27	316,54	0,79	80,74	63,42	538,56	855,10	427,55

Tabela 5 – Aplicação do método de Pedro Paulo Costa Velloso (1981) (Conclusão).

Silte	21	13	12	470	0,96	12,1	0,74	0,90	21	24	9335,90	414,69	0,79	115,14	90,43	628,99	1043,68	521,84
Silte	24	14	13	470	0,96	12,1	0,74	0,90	24	32	11513,27	511,40	0,79	127,10	99,82	728,81	1240,22	620,11
Silte	32	15	14	470	0,96	12,1	0,74	0,90	32	32	13093,08	581,58	0,79	157,25	123,51	852,32	1433,90	716,95

Fonte: dos autores (2021).

Tabela 6 – Aplicação do método de Meyerhof (1976).

SOLO	Cota de apoio (m)	L(m)	NSPT	Np	NI	RP (kN)	RL (kN)	R (kN)	Pa (kN)	—
Argila arenosa	2	1	2	2	2,0	11,781	1,571	13,352	6,676	
Argila silto arenosa	3	2	2	5	2,0	29,452	3,142	32,594	16,297	
Silte Argiloso Arenoso	4	3	5	8	3,0	47,124	7,069	54,192	27,096	
Silte Argiloso Arenoso	5	4	8	10	4,3	58,905	13,352	72,257	36,128	
Silte Argiloso Arenoso	6	5	10	9	5,4	53,014	21,206	74,220	37,110	
Silte Argiloso Arenoso	7	6	9	9	6,0	53,014	28,274	81,289	40,644	
Silte Argiloso Arenoso	8	7	9	20	6,4	117,810	35,343	153,153	76,576	
Silte Argiloso Arenoso	9	8	20	12	8,1	70,686	51,051	121,737	60,868	
Silte Argiloso Arenoso	10	9	12	19	8,6	111,919	60,476	172,395	86,197	
Silte Argiloso Arenoso	11	10	19	13	9,6	76,576	75,398	151,975	75,987	
Silte Argiloso Arenoso	12	11	13	21	9,9	123,700	85,608	209,309	104,654	
Silte Argiloso Arenoso	13	12	21	24	10,8	141,372	102,102	243,473	121,737	
Silte Argiloso Arenoso	14	13	24	32	11,8	188,496	120,951	309,447	154,723	
Silte Argiloso Arenoso	15	14	32	32	13,3	188,496	146,084	334,580	167,290	

Fonte: dos autores (2021).

Tabela 7 – Aplicação do método de Teixeira (1996).

Solo	Cota de apoio (m)	L(m)	NSPT	NL	N4	N1	NP	α (kPa)	β (kPa)	Rp(kN)	RI(kN)	R (KN)	Pa (kN)	—
Argila Arenosa	2	1	4	4,0	4,0	4,0	4,0	130	4	25,53	12,57	38,09	19,05	
Argila Siltosa	3	2	4	4,0	4,0	5,0	4,5	100	4	22,09	25,13	47,22	23,61	
Silte Argiloso	4	3	5	4,3	5,0	8,0	6,5	110	4	35,10	40,84	75,94	37,97	
Silte Argiloso	5	4	8	5,3	8,0	10,0	9,0	110	4	48,60	65,97	114,57	57,28	
Silte Argiloso	6	5	10	6,2	10,0	9,0	9,5	110	4	51,30	97,39	148,69	74,34	
Silte Argiloso	7	6	9	6,7	9,0	9,0	9,0	110	4	48,60	125,66	174,26	87,13	
Silte Argiloso	8	7	9	7,0	9,0	20,0	14,5	110	4	78,29	153,94	232,23	116,12	
Silte Argiloso	9	8	20	8,6	20,0	12,0	16,0	110	4	86,39	216,77	303,16	151,58	
Silte Argiloso	10	9	12	9,0	12,0	19,0	15,5	110	4	83,69	254,47	338,16	169,08	
Silte Argiloso	11	10	19	10,0	19,0	13,0	16,0	110	4	86,39	314,16	400,55	200,28	
Silte Argiloso	12	11	13	10,3	13,0	21,0	17,0	110	4	91,79	355,00	446,79	223,40	
Silte Argiloso	13	12	21	11,2	21,0	24,0	22,5	110	4	121,49	420,97	542,46	271,23	
Silte Argiloso	14	13	24	12,2	24,0	32,0	28,0	110	4	151,19	496,37	647,56	323,78	
Silte Argiloso	15	14	32	13,6	32,0	32,0	32,0	110	4	172,79	596,90	769,69	384,85	

Fonte: dos autores (2021).

Tabela 8 – Aplicação do método de UFRGS (2005) (Continua).

SOLO	Cota de apoio (m)	L(m)	NSPT	Δp	η_3	Fd(kN)	ΣFd (kN)	QL(kN)	QP(kN)	Qrup (KN)	Pa (kN)	—
Argila arenosa	2	1	2	0,150	0,992	2,92	2,92	3,96	25,07	29,03	14,52	
Argila silto arenosa	3	2	2	0,150	0,987	2,91	5,82	7,91	24,96	32,87	16,44	
Silte Argiloso Arenoso	4	3	5	0,060	0,983	6,47	12,30	16,69	55,60	72,29	36,14	
Silte Argiloso Arenoso	5	4	8	0,038	0,979	10,01	22,30	30,28	85,97	116,24	58,12	
Silte Argiloso Arenoso	6	5	10	0,030	0,975	12,33	34,63	47,01	105,91	152,93	76,46	

Tabela 8 – Aplicação do método de UFRGS (2005) (Conclusão).

Silte Argiloso Arenoso	7	6	9	0,033	0,971	11,10	45,73	62,08	95,34	157,42	78,71
Silte Argiloso Arenoso	8	7	9	0,033	0,966	11,05	56,78	77,08	94,93	172,01	86,01
Silte Argiloso Arenoso	9	8	20	0,015	0,962	23,84	80,63	109,45	204,82	314,27	157,13
Silte Argiloso Arenoso	10	9	12	0,025	0,958	14,44	95,07	129,05	124,06	253,11	126,55
Silte Argiloso Arenoso	11	10	19	0,016	0,954	22,48	117,55	159,56	193,09	352,65	176,33
Silte Argiloso Arenoso	12	11	13	0,023	0,950	15,47	133,01	180,56	132,86	313,42	156,71
Silte Argiloso Arenoso	13	12	21	0,014	0,945	24,57	157,59	213,92	211,09	425,01	212,51
Silte Argiloso Arenoso	14	13	24	0,013	0,941	27,89	185,47	251,78	239,58	491,36	245,68
Silte Argiloso Arenoso	15	14	32	0,009	0,937	36,86	222,33	301,81	316,63	618,44	309,22

Fonte: dos autores (2021).

Tabela 9 – Aplicação do método de Milititsky e Alves (1985) (Continua).

SOLO	Cota de apoio (m)	L(m)	NSPT	Np	NI	RP (kN)	RL(kN)	R(kN)	Pa(kN)	—
Argila arenosa	2	1	2	2	0,0	5,89	0,00	5,89	2,95	
Argila silto arenosa	3	2	2	3,5	2,0	10,31	7,70	18,01	9,00	
Silte Argiloso Arenoso	4	3	5	6,5	5,0	19,14	28,86	48,01	24,00	
Silte Argiloso Arenoso	5	4	8	9	8,0	26,51	61,58	88,08	44,04	
Silte Argiloso Arenoso	6	5	10	9,5	10,0	27,98	96,21	124,19	62,10	
Silte Argiloso Arenoso	7	6	9	9	9,0	26,51	103,91	130,42	65,21	
Silte Argiloso Arenoso	8	7	9	14,5	9,0	42,71	121,23	163,93	81,97	
Silte Argiloso Arenoso	9	8	20	16	20,0	47,12	307,88	355,00	177,50	
Silte Argiloso Arenoso	10	9	12	15,5	12,0	45,65	207,82	253,47	126,73	
Silte Argiloso Arenoso	11	10	19	16	19,0	47,12	365,60	412,73	206,36	
Silte Argiloso Arenoso	12	11	13	17	13,0	50,07	275,16	325,23	162,62	
Silte Argiloso Arenoso	13	12	21	22,5	21,0	66,27	484,90	551,17	275,59	

Tabela 9 – Aplicação do método de Milititsky e Alves (1985) (Conclusão).

Silte Argiloso Arenoso	14	13	24	28	24,0	82,47	600,36	682,83	341,41
Silte Argiloso Arenoso	15	14	32	32	32,0	94,25	862,05	956,30	478,15

Fonte: dos autores (2021).

Tabela 10 – Aplicação do método de Vorcaro e Velloso (2000).

SOLO	Cota de apoio (m)	L (m)	NSPT	Nponta	Nfuste	XP	XF	ΣXF	Grupo	Qest (kN)	Pa (kN)
Argila Arenosa	2	1	2	2	2,0	0,098	1,571	1,571	3	0	0
Argila Siltoarenosa	3	2	2	5	2,0	0,245	1,571	3,142	3	4,106	2,053
Silte Argiloarenoso	4	3	5	8	3,0	0,393	2,356	5,498	4	13,449	6,724
Silte Argiloarenoso	5	4	8	10	4,3	0,491	3,338	8,836	4	31,941	15,971
Silte Argiloarenoso	6	5	10	9	5,4	0,442	4,241	13,077	4	43,972	21,986
Silte Argiloarenoso	7	6	9	9	6,0	0,442	4,712	17,789	4	59,605	29,803
Silte Argiloarenoso	8	7	9	20	6,4	0,982	5,049	22,838	4	137,067	68,534
Silte Argiloarenoso	9	8	20	12	8,1	0,589	6,381	29,220	4	115,708	57,854
Silte Argiloarenoso	10	9	12	19	8,6	0,933	6,720	35,939	4	187,302	93,651
Silte Argiloarenoso	11	10	19	13	9,6	0,638	7,540	43,479	4	167,457	83,729
Silte Argiloarenoso	12	11	13	21	9,9	1,031	7,783	51,262	4	258,126	129,063
Silte Argiloarenoso	13	12	21	24	10,8	1,178	8,508	59,770	4	311,533	155,766
Silte Argiloarenoso	14	13	24	32	11,8	1,571	9,304	69,074	4	406,555	203,278
Silte Argiloarenoso	15	14	32	32	13,3	1,571	10,435	79,509	4	445,027	222,513

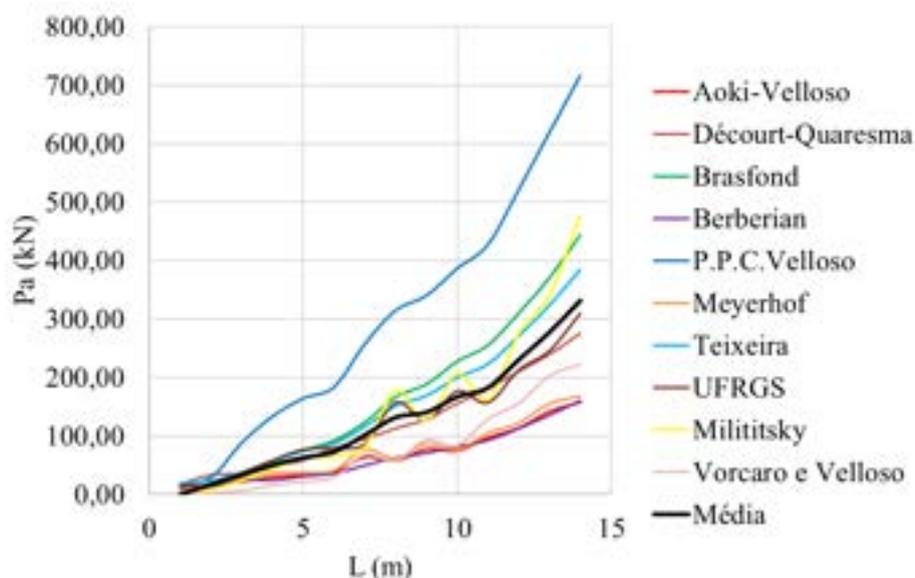
Fonte: dos autores (2021).

APÊNDICE C – Resultados para a cidade de Lavras-MG

As Figuras de 1 a 10 trazem os resultados obtidos para a cidade de Lavras para cada um dos cinco diâmetros estudados.

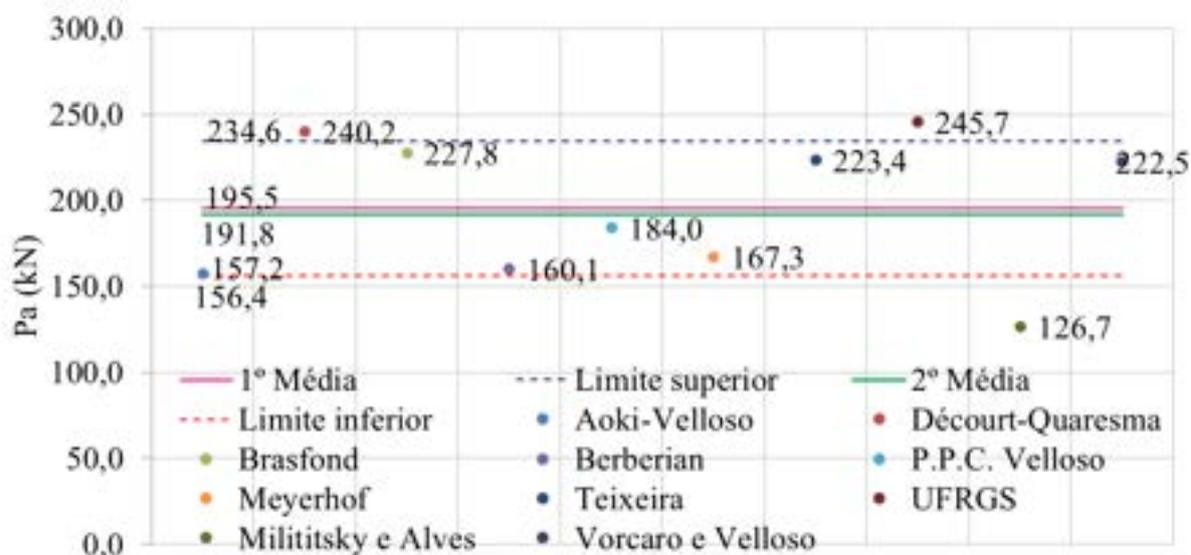
C.1 Estacas de 25 cm de diâmetro

Figura 1 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos - Lavras, diâmetro de 25cm.



Fonte: dos autores (2021).

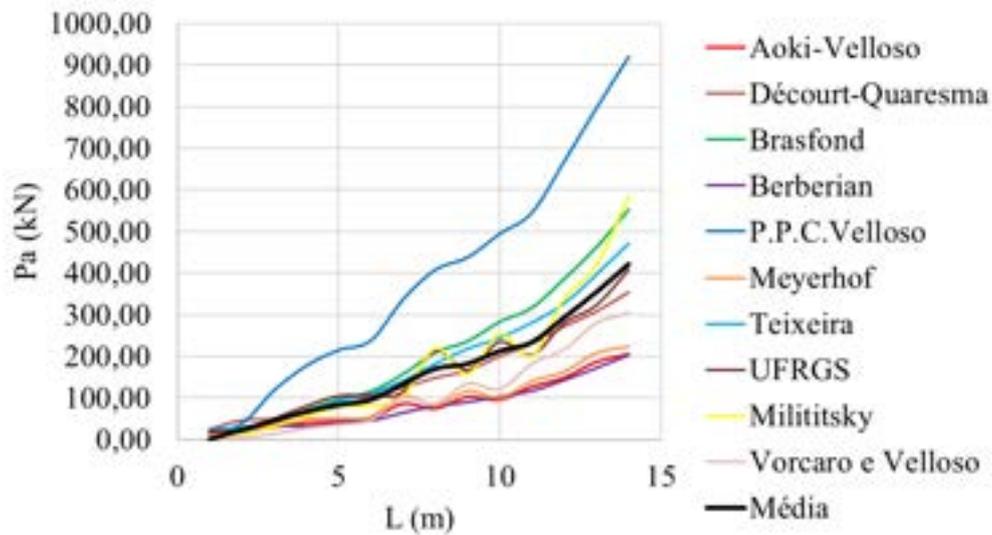
Figura 2 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Lavras com estacas de 25 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

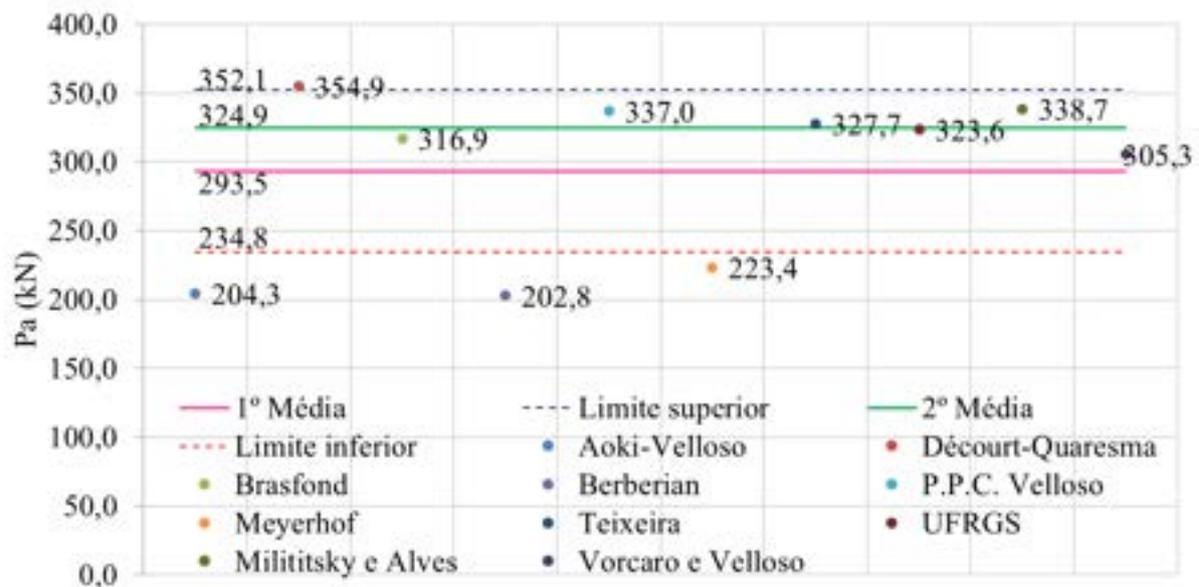
C.2 Estacas de 30 cm de diâmetro

Figura 3 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos- Lavras, diâmetro de 30cm.



Fonte: dos autores (2021).

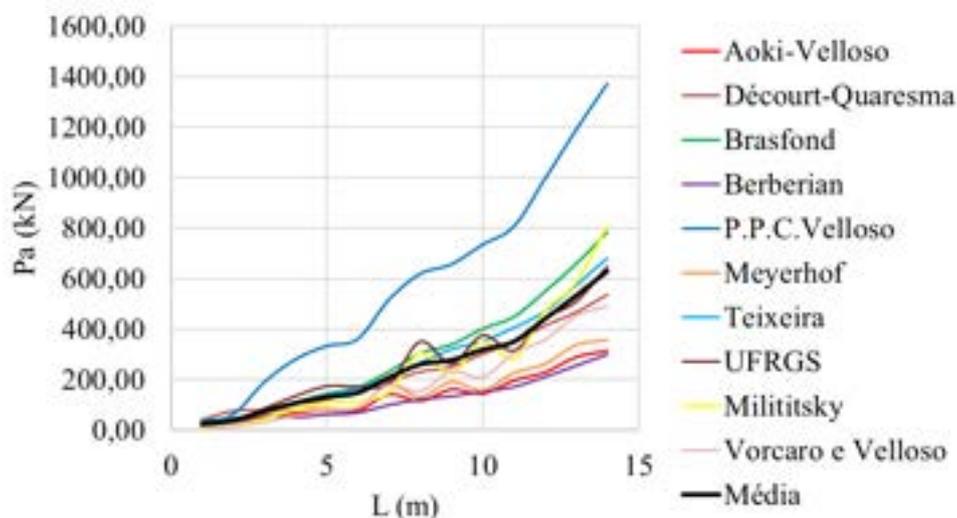
Figura 4 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Lavras com estacas de 30 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

C.3 Estacas de 40 cm de diâmetro

Figura 5 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos - Lavras, diâmetro de 40cm.



Fonte: dos autores (2021).

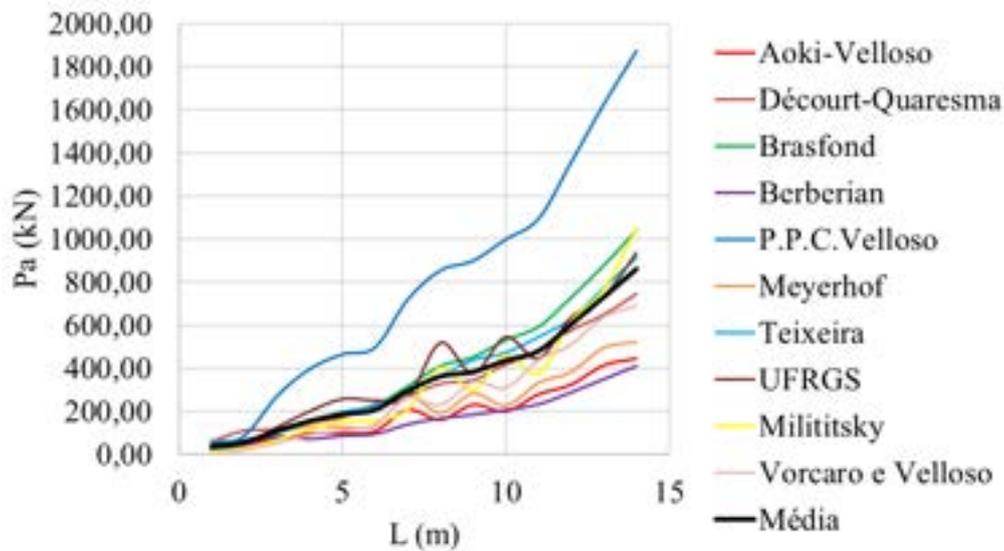
Figura 6 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Lavras com estacas de 40 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

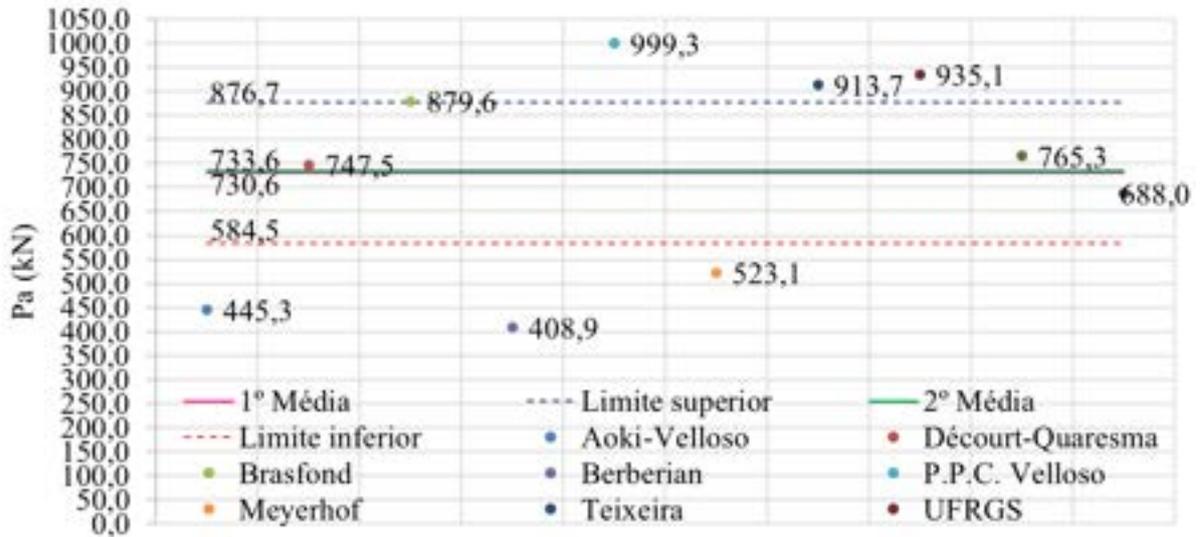
C.4 Estacas de 50 cm de diâmetro

Figura 7 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos - Lavras, diâmetro de 50cm.



Fonte: dos autores (2021).

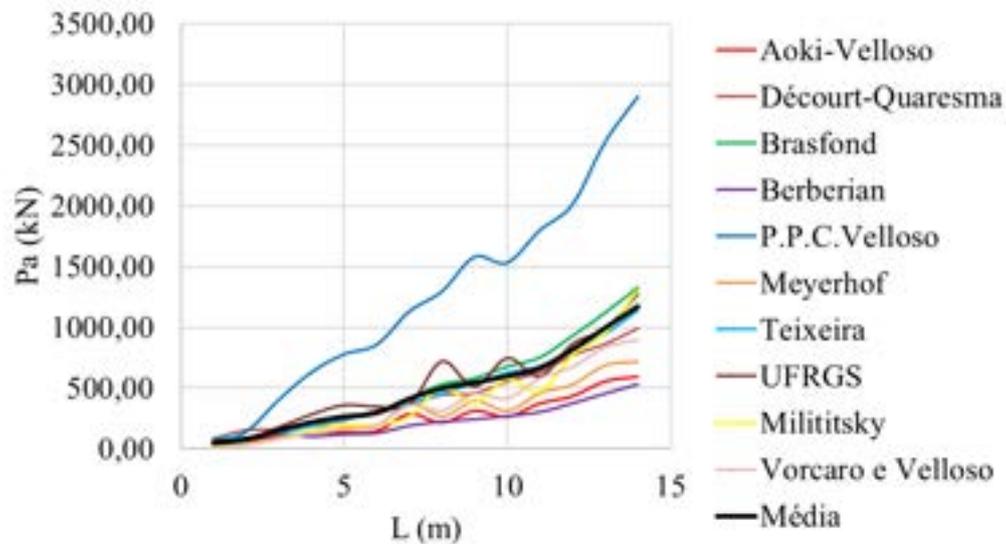
Figura 8 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Lavras com estacas de 50 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

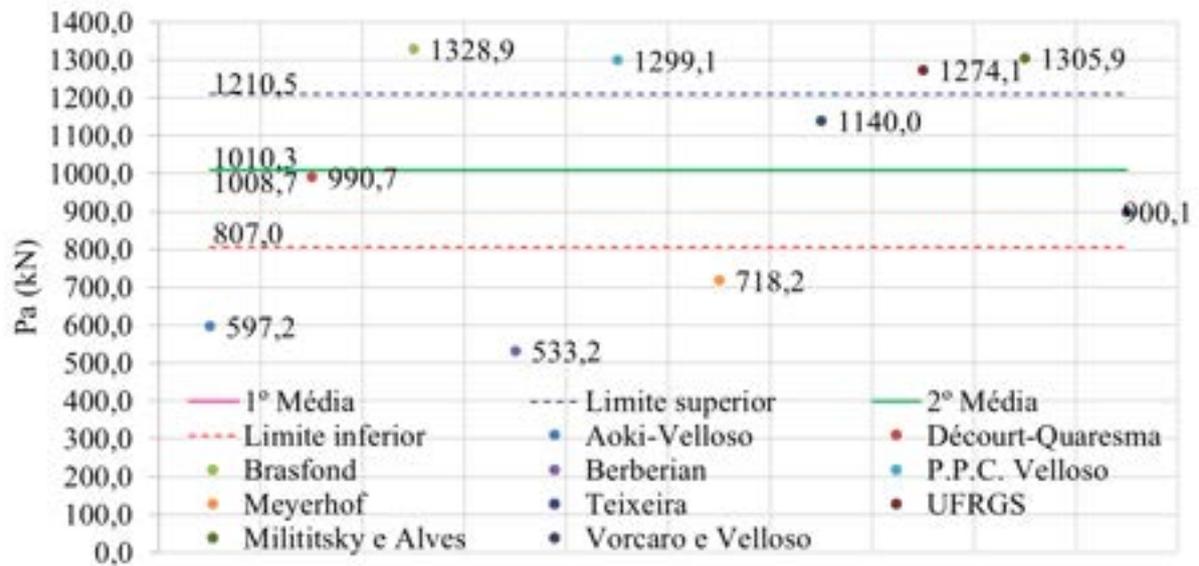
C.5 Estacas de 60 cm de diâmetro

Figura 9 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos - Lavras, diâmetro de 60cm.



Fonte: dos autores (2021).

Figura 10 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Lavras com estacas de 60 cm de diâmetro.



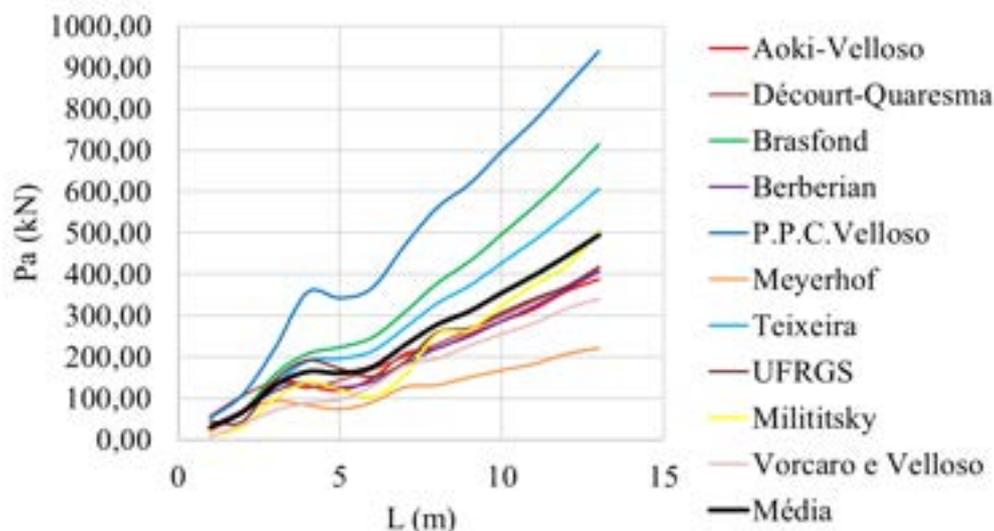
Fonte: dos autores (2021).

APÊNDICE D – Resultados para a cidade de Varginha-MG

As Figuras de 1 a 10 apresentam os resultados para a cidade de Varginha para cada um dos cinco diâmetros estudados.

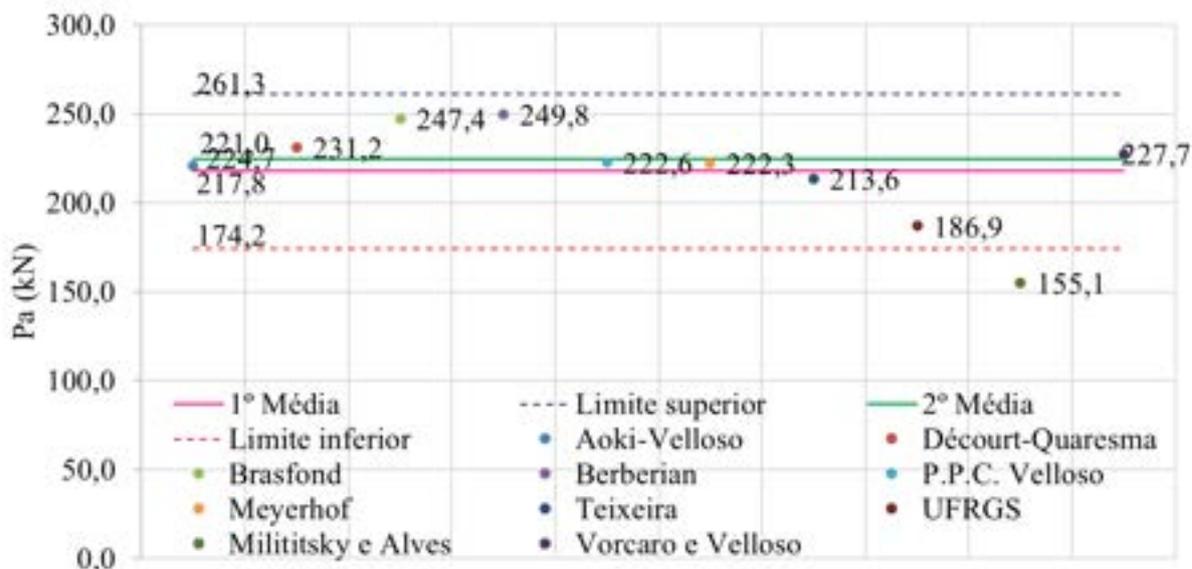
D.1 Estacas de 25 cm de diâmetro

Figura 1 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos - Varginha, diâmetro de 25cm.



Fonte: dos autores (2021).

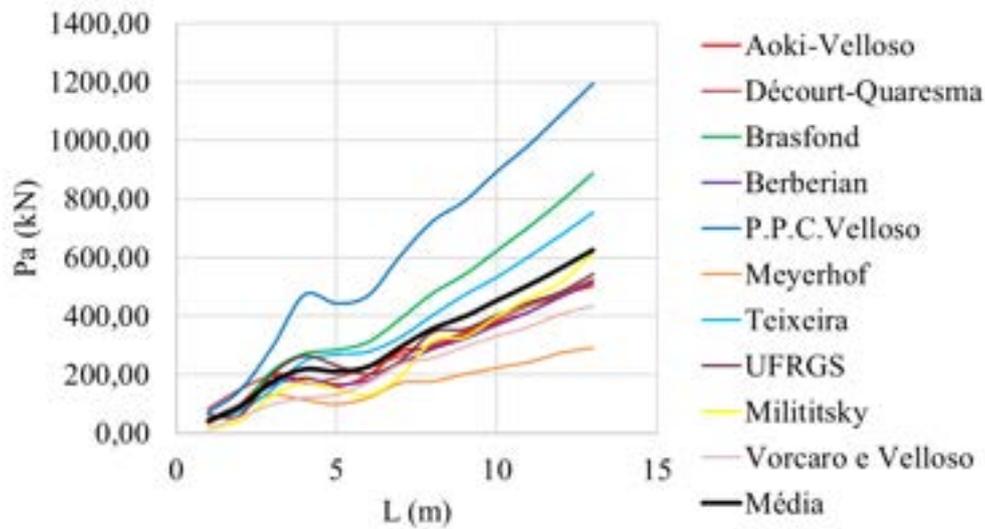
Figura 2 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Varginha com estacas de 25 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

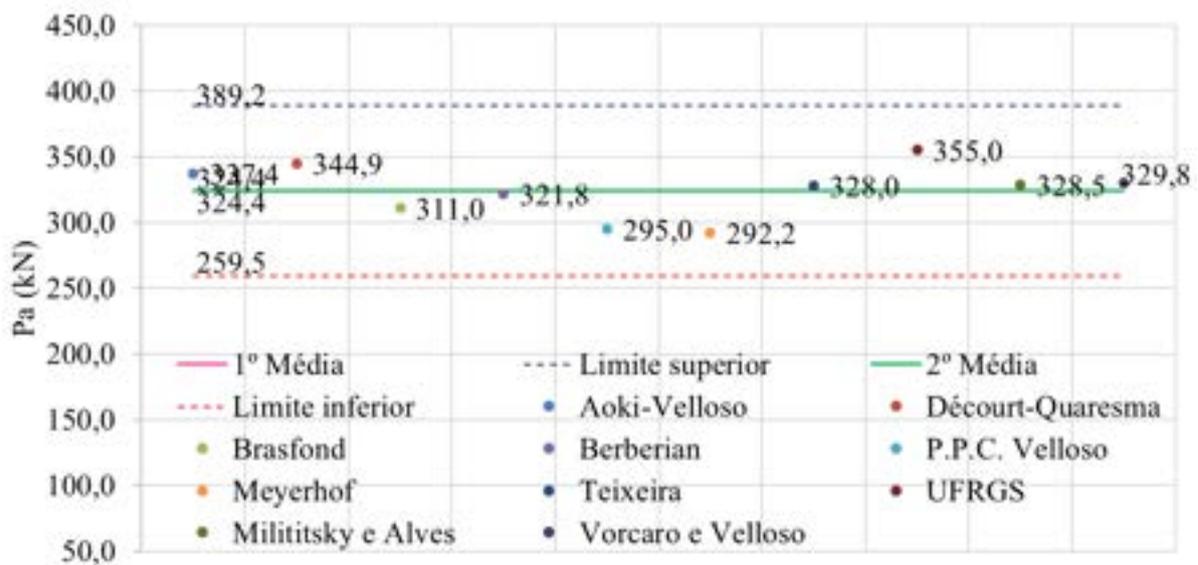
D.2 Estacas de 30 cm de diâmetro

Figura 3 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos Varginha, diâmetro de 30cm.



Fonte: dos autores (2021).

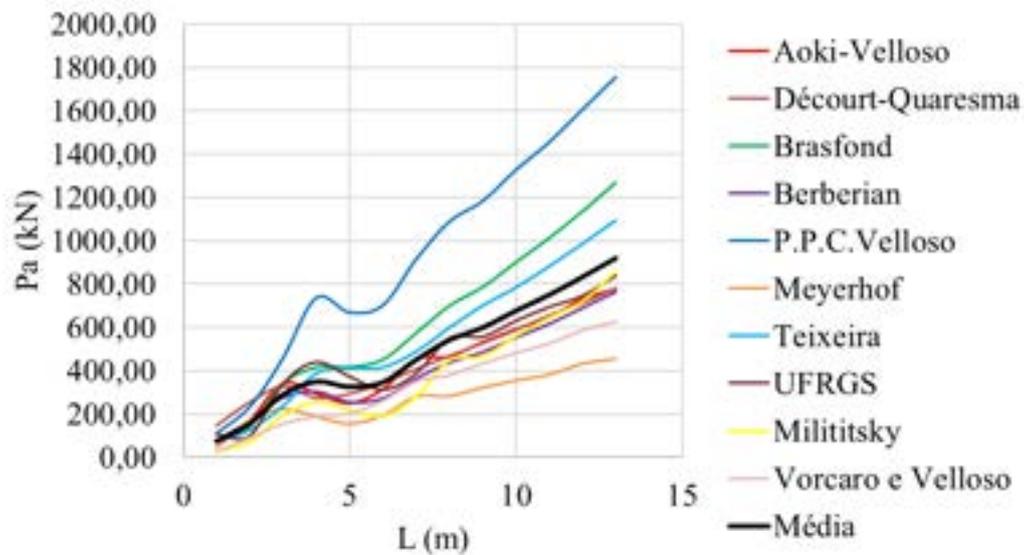
Figura 4 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Varginha com estacas de 30 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

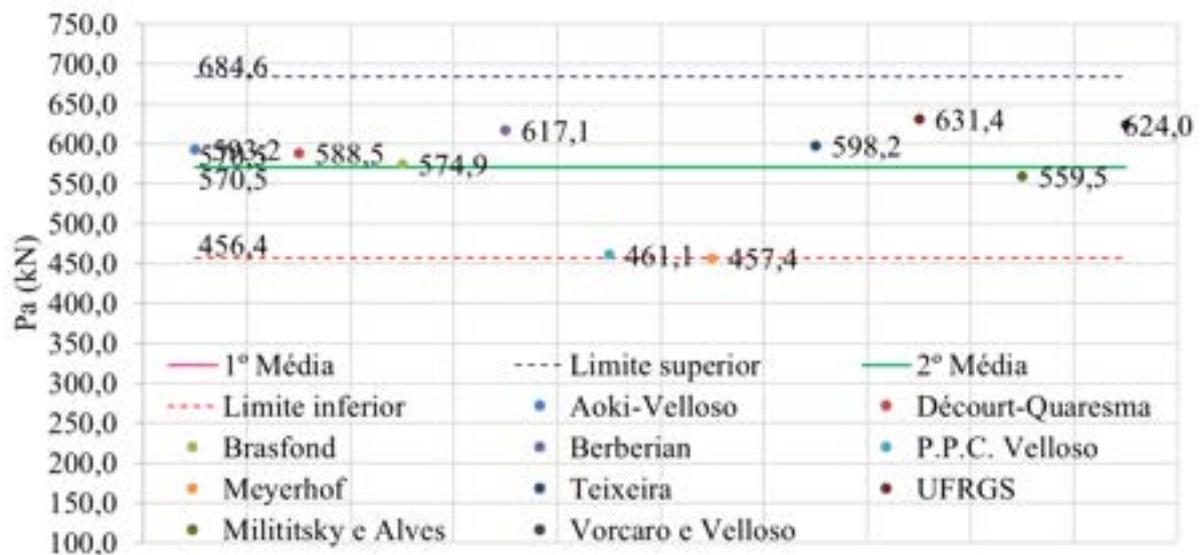
D.3 Estacas de 40 cm de diâmetro

Figura 5 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos - Varginha, diâmetro de 40cm.



Fonte: dos autores (2021).

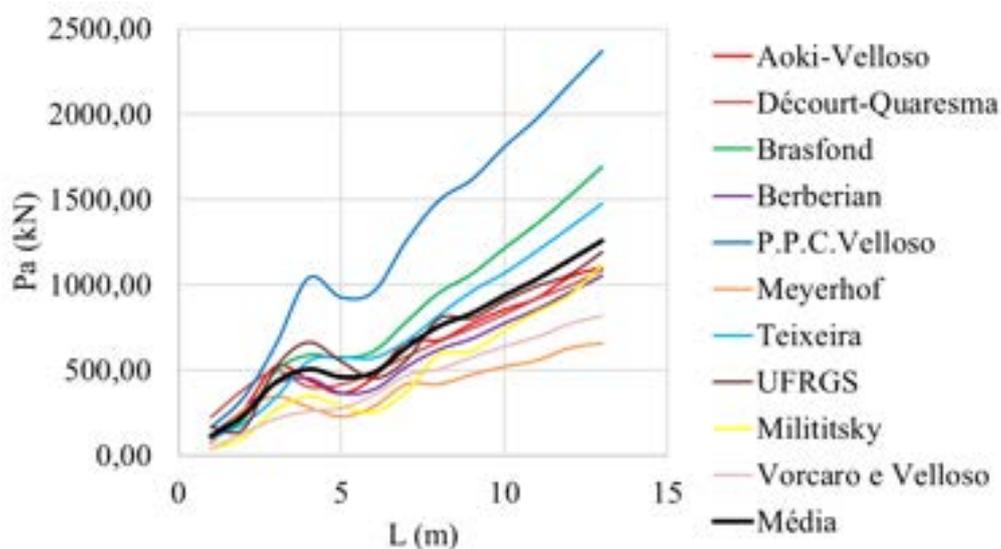
Figura 6 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Varginha com estacas de 40 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

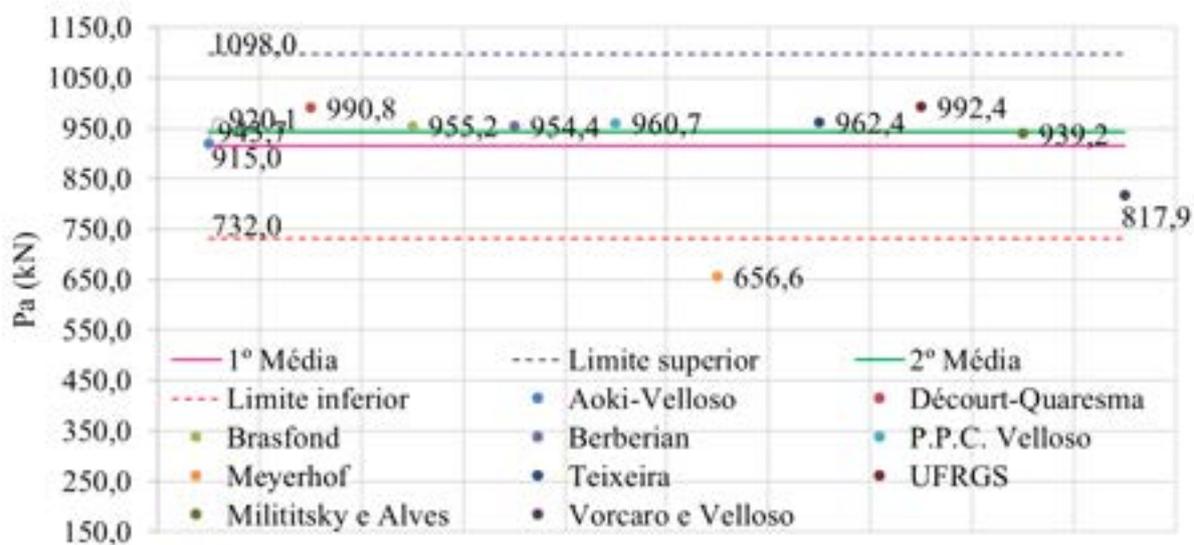
D.4 Estacas de 50 cm de diâmetro

Figura 7 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos - Varginha, diâmetro de 50cm.



Fonte: dos autores (2021).

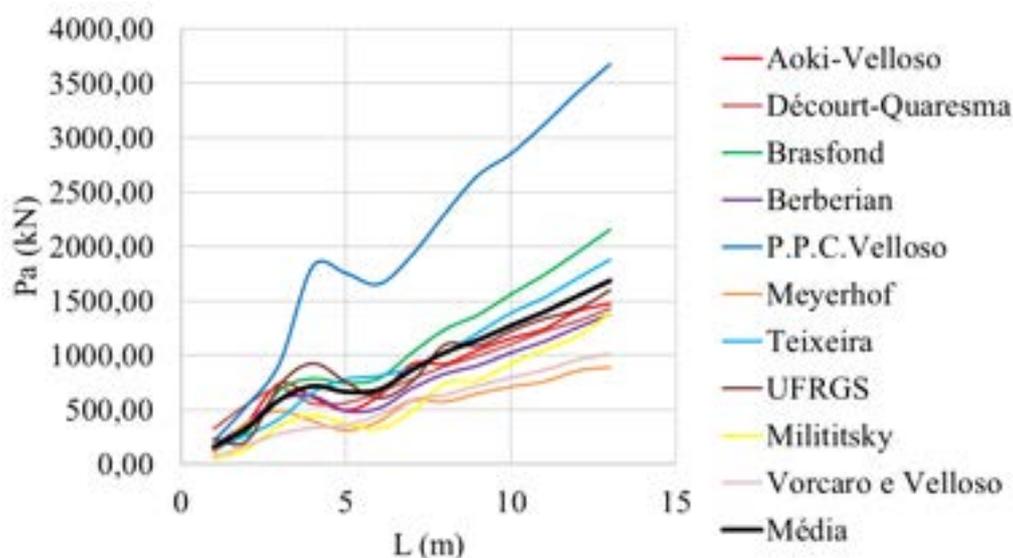
Figura 8 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Varginha com estacas de 50 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

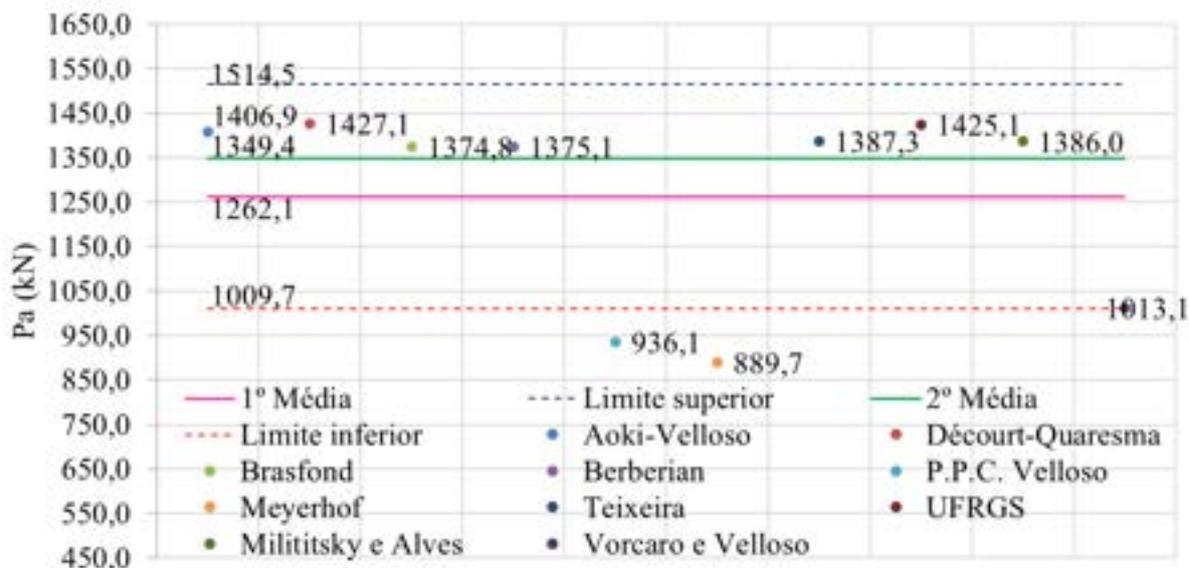
D.5 Estacas de 60 cm de diâmetro

Figura 9 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos- Varginha, diâmetro de 60cm.



Fonte: dos autores (2021).

Figura 10 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Varginha com estacas de 60 cm de diâmetro.



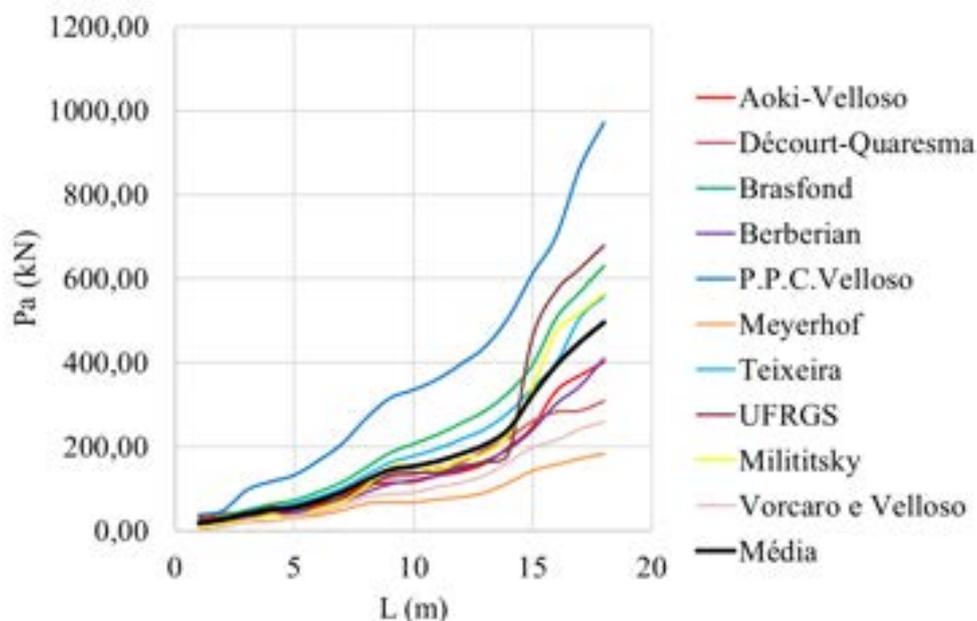
Fonte: dos autores (2021).

APÊNDICE E – Resultados para a cidade de Três Corações-MG

As Figuras de 1 a 10 apresentam os resultados para a cidade de Três Corações para cada um dos cinco diâmetros estudados.

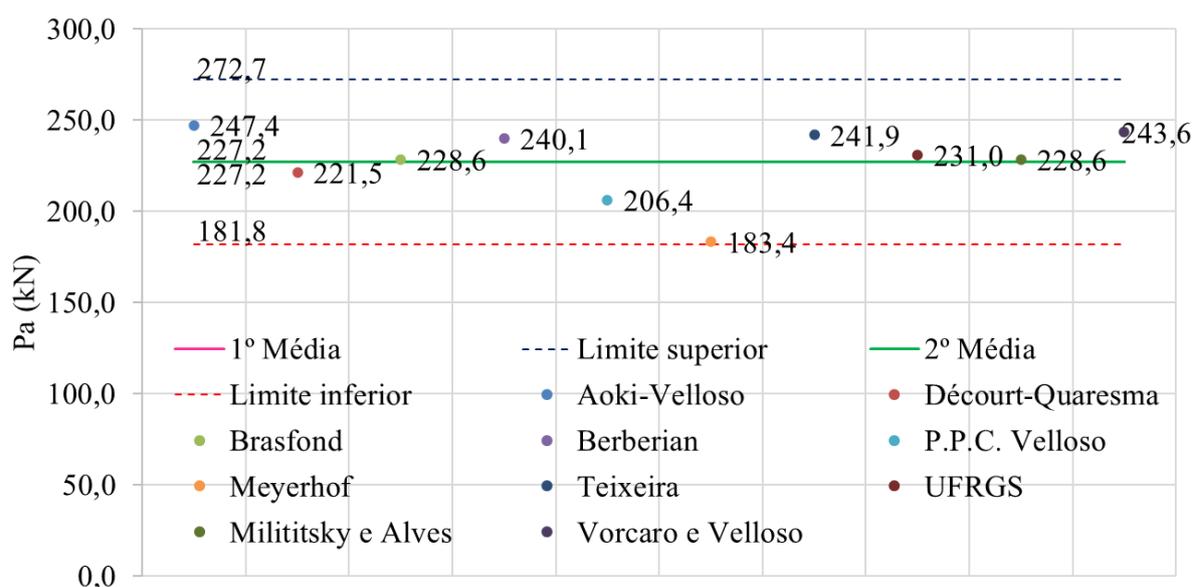
E.1 Estacas de 25 cm de diâmetro

Figura 1 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos - Três Corações, diâmetro de 25cm.



Fonte: dos autores (2021).

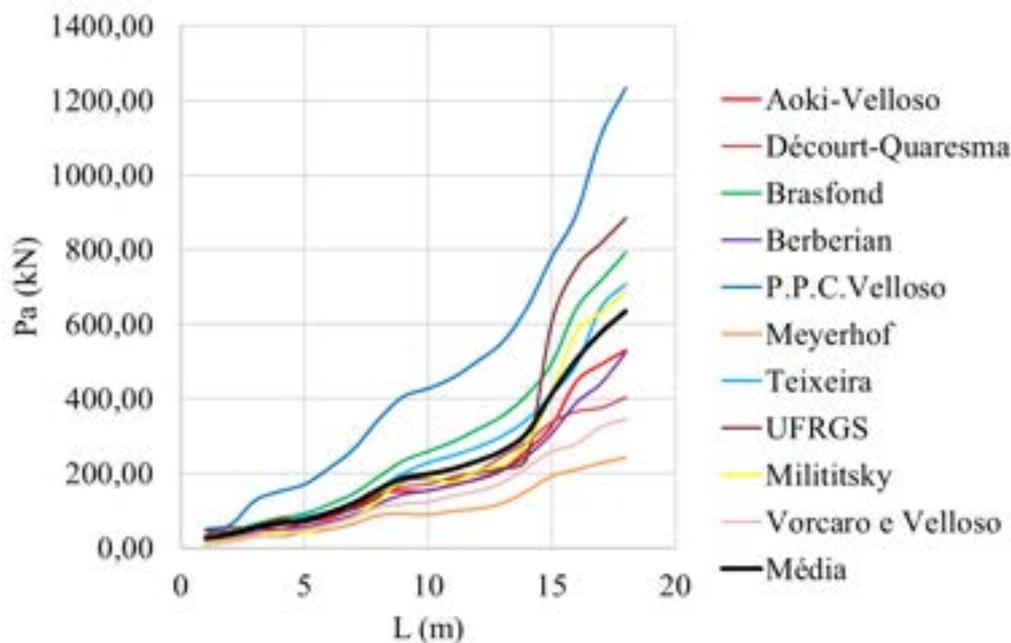
Figura 2 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Três Corações com estacas de 25 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

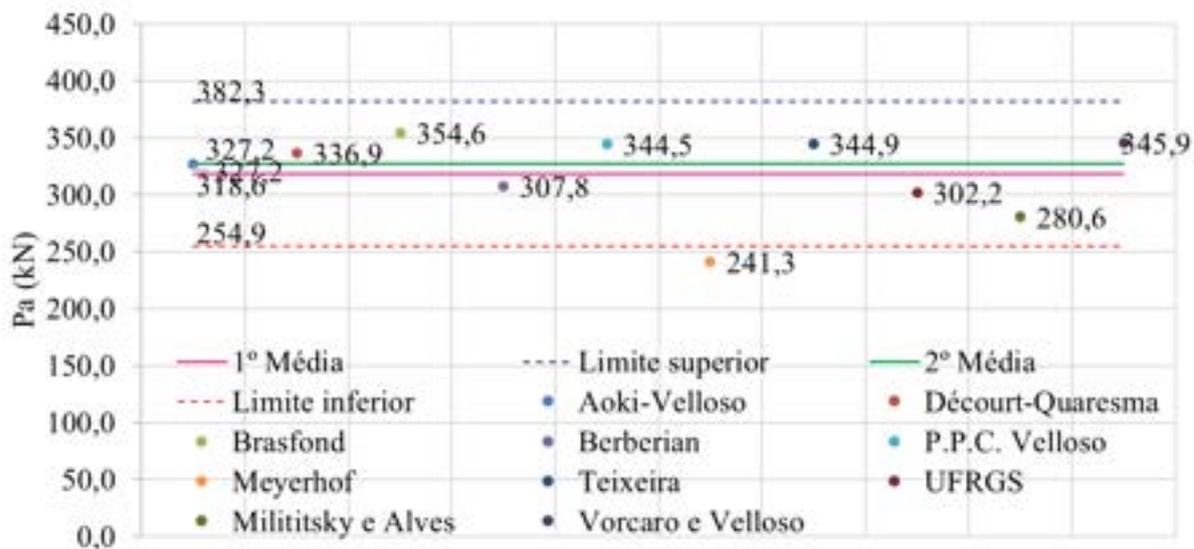
E.2 Estacas de 30 cm de diâmetro

Figura 3 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos - Três Corações, diâmetro de 30cm.



Fonte: dos autores (2021).

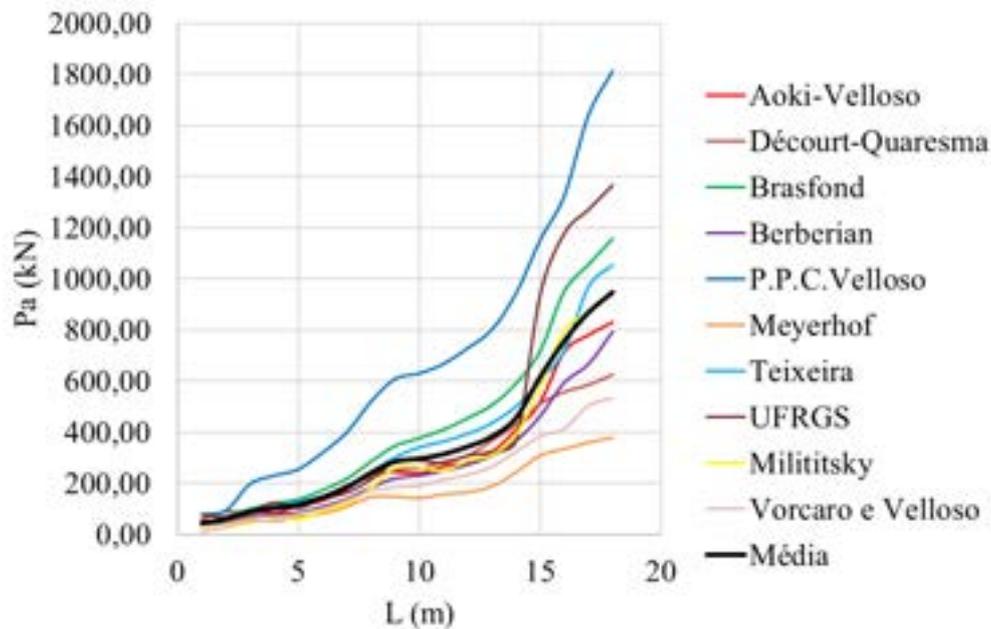
Figura 4 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Três Corações com estacas de 30 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

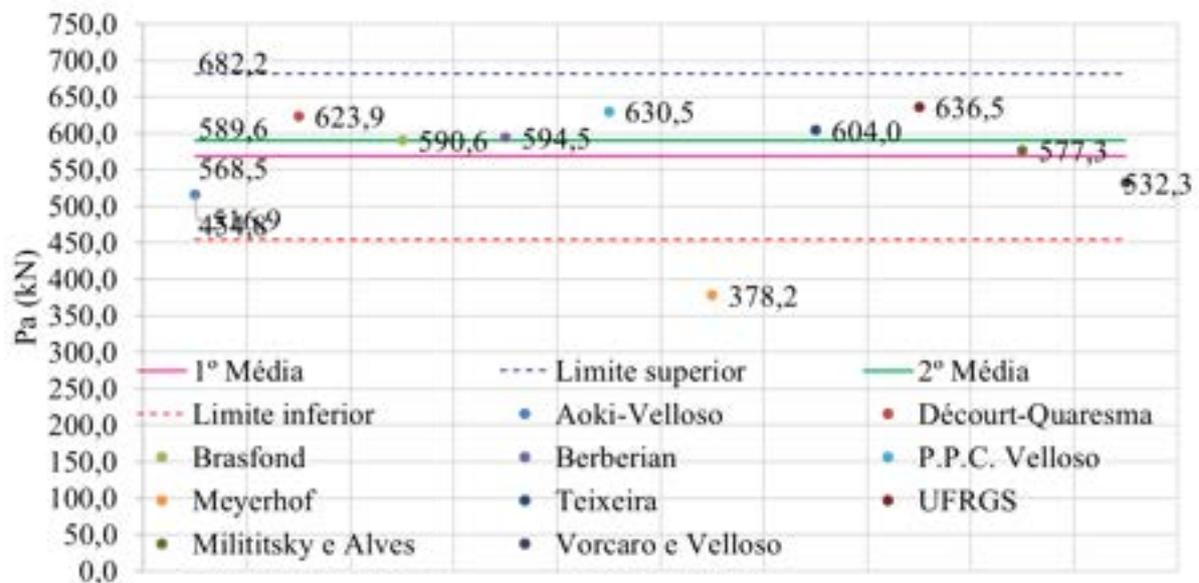
E.3 Estacas de 40 cm de diâmetro

Figura 5 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos - Três Corações, diâmetro de 40cm.



Fonte: dos autores (2021).

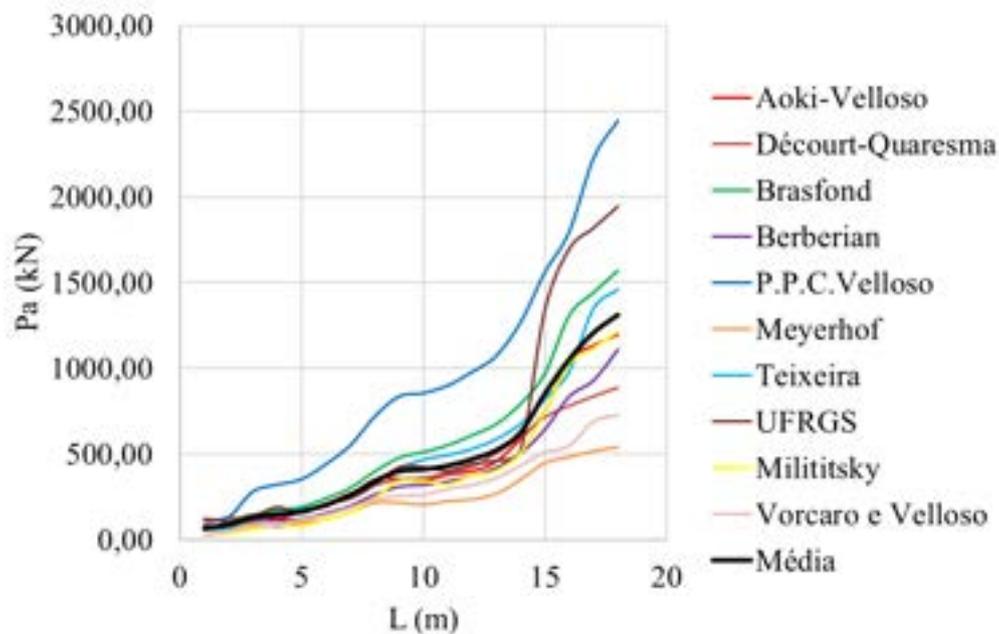
Figura 6 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Três Corações com estacas de 40 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

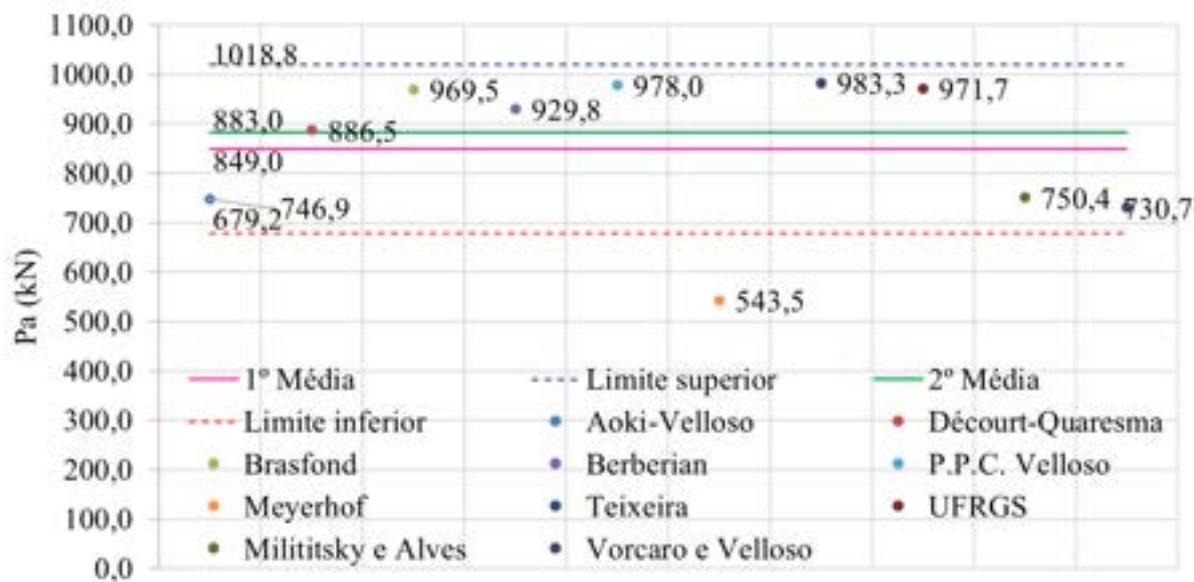
E.4 Estacas de 50 cm de diâmetro

Figura 5 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos - Três Corações, diâmetro de 50cm.



Fonte: dos autores (2021).

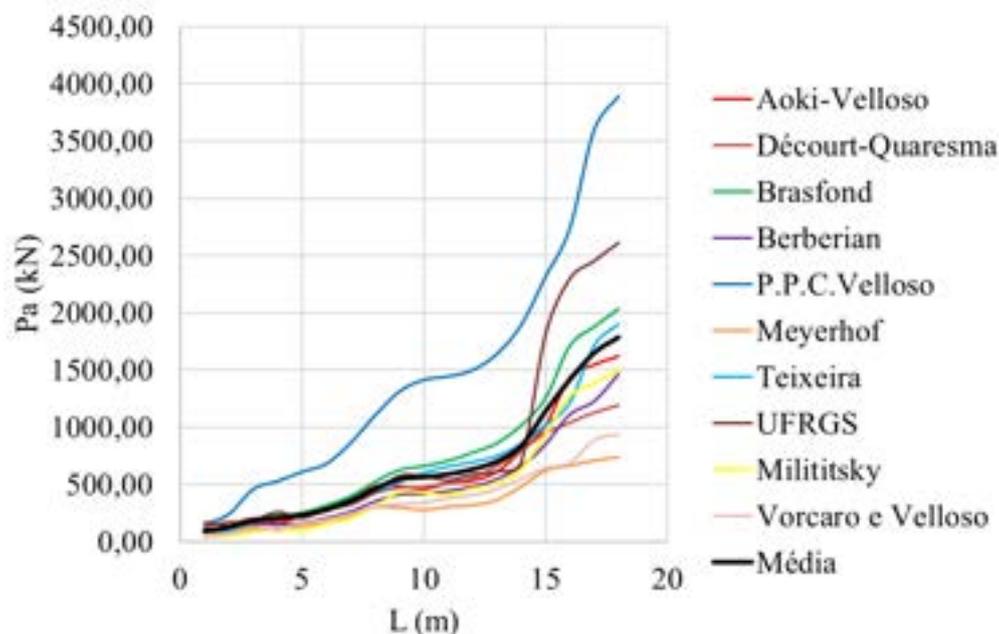
Figura 6 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Três Corações com estacas de 50 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

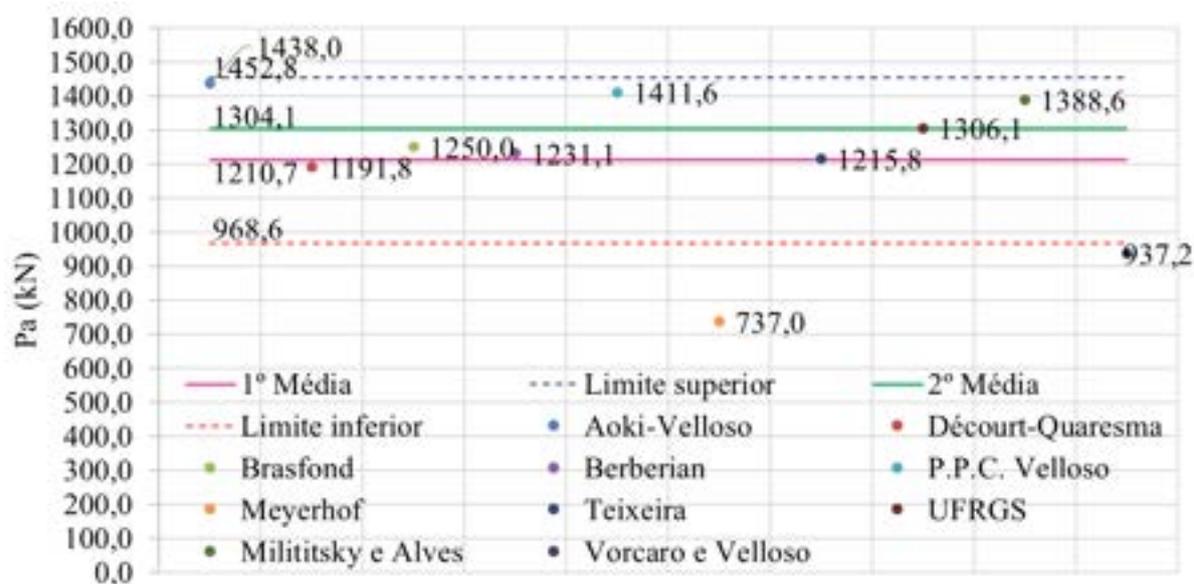
E.5 Estacas de 60 cm de diâmetro

Figura 9 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos. - Três Corações, diâmetro de 60cm



Fonte: dos autores (2021).

Figura 10 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Três Corações com estacas de 60 cm de diâmetro.



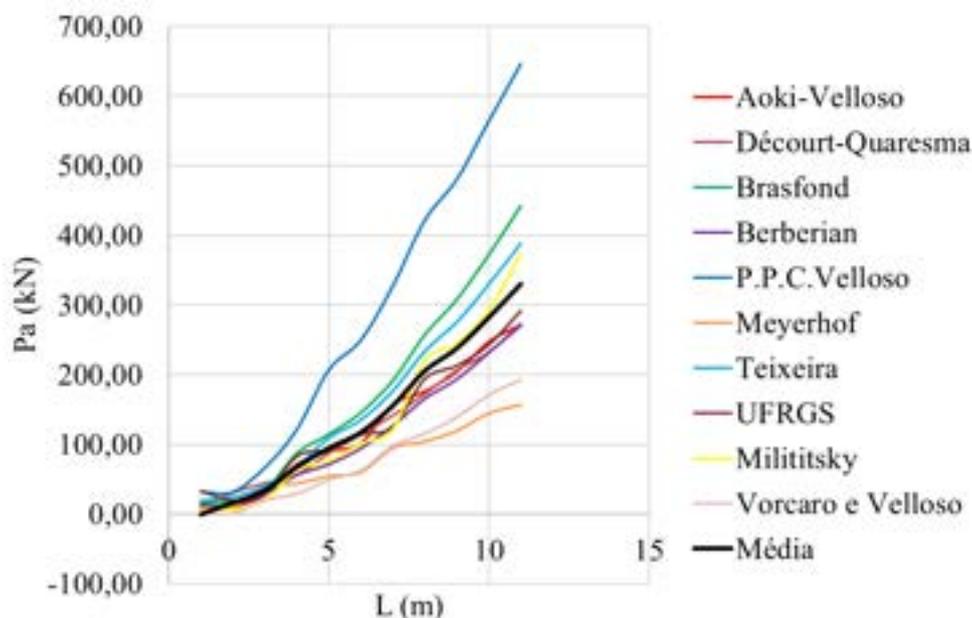
Fonte: dos autores (2021).

APÊNDICE F – Resultados para a cidade de Alfenas-MG

As Figuras de 1 a 10 apresentam os resultados para a cidade de Alfenas para cada um dos cinco diâmetros estudados.

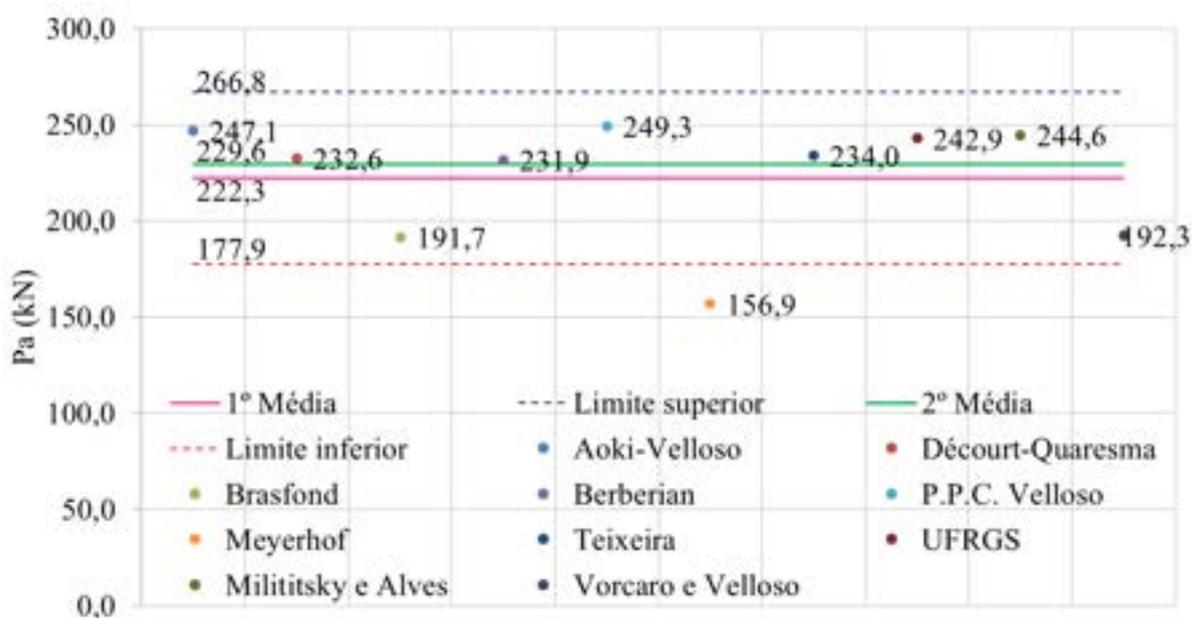
F.1 Estacas de 25 cm de diâmetro

Figura 1 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos - Alfenas, diâmetro de 25cm.



Fonte: dos autores (2021).

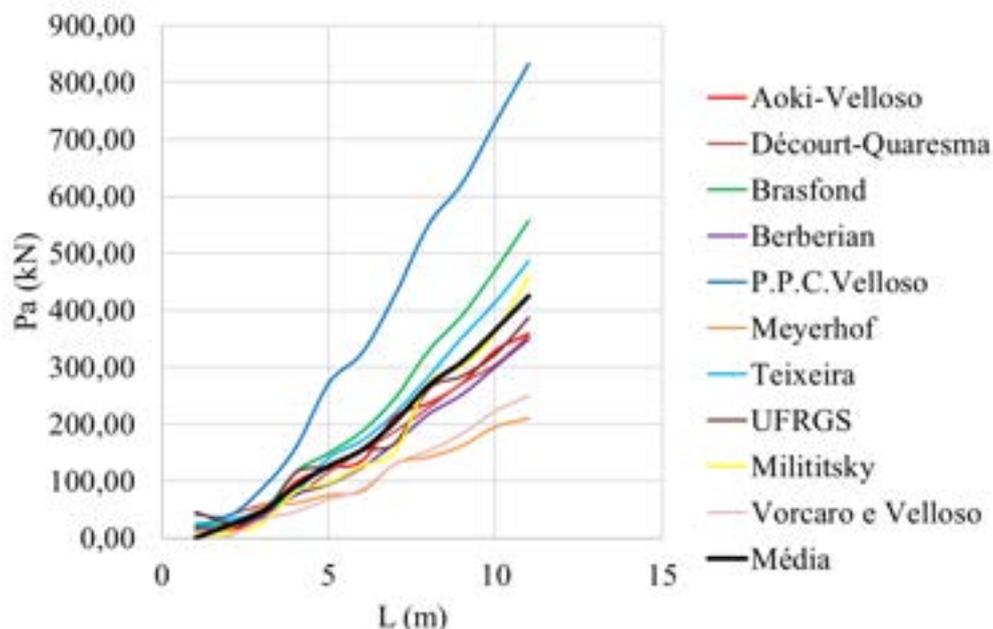
Figura 2 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Alfenas com estacas de 25 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

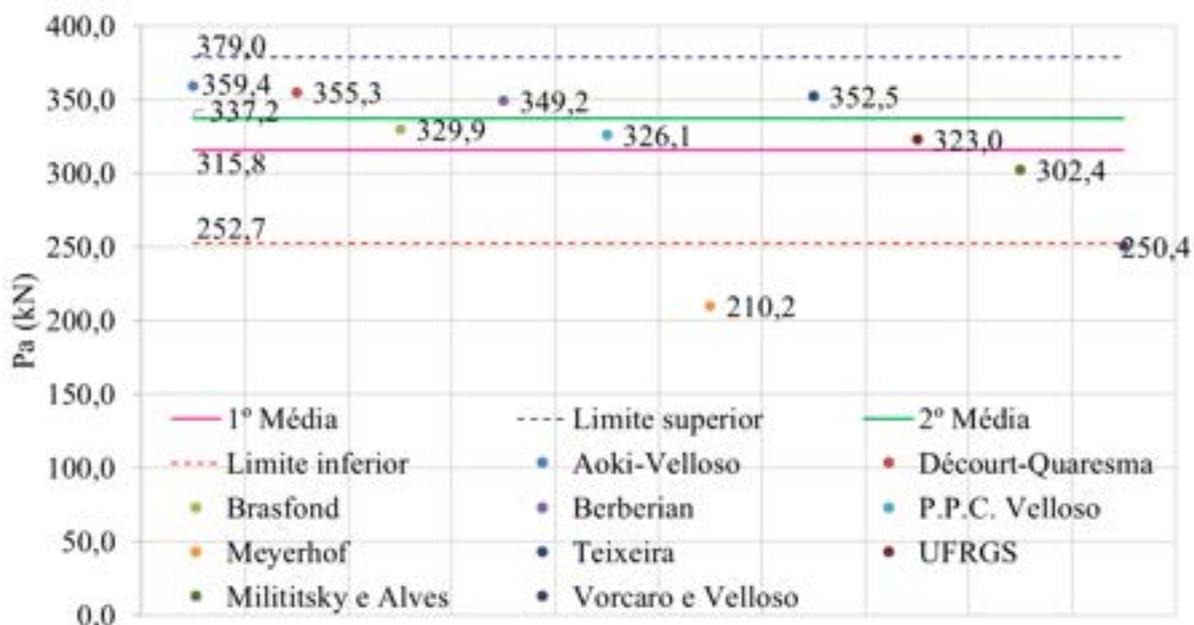
F.2 Estacas de 30 cm de diâmetro

Figura 3 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos - Alfenas, diâmetro de 30cm.



Fonte: dos autores (2021).

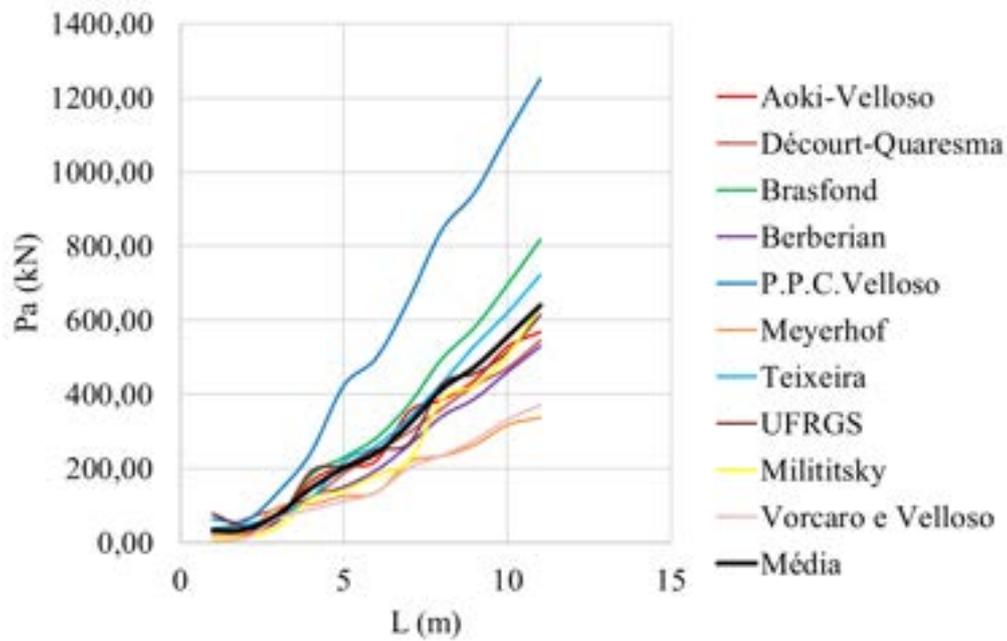
Figura 4 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Alfenas com estacas de 30 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

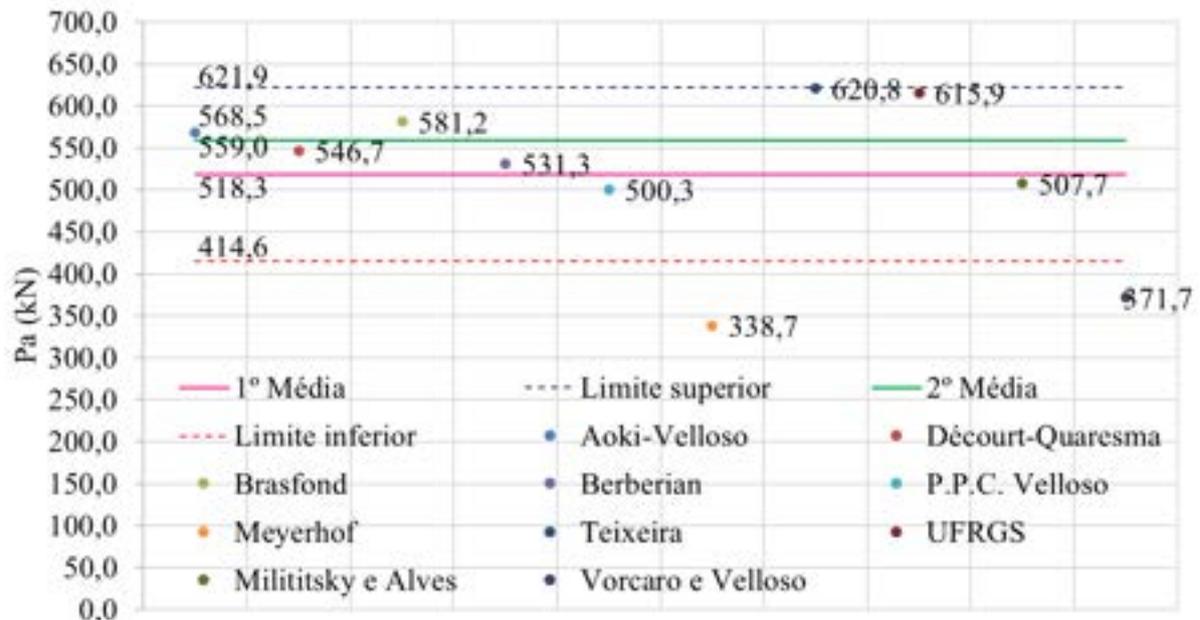
F.3 Estacas de 40 cm de diâmetro

Figura 5 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos - Alfenas, diâmetro de 40cm.



Fonte: dos autores (2021).

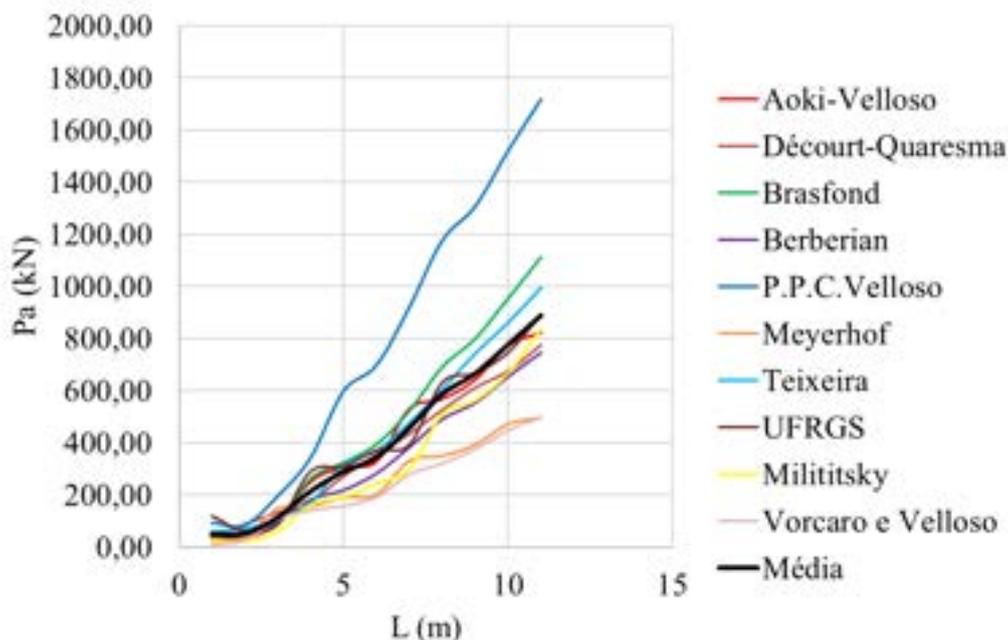
Figura 6 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Alfenas com estacas de 40 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

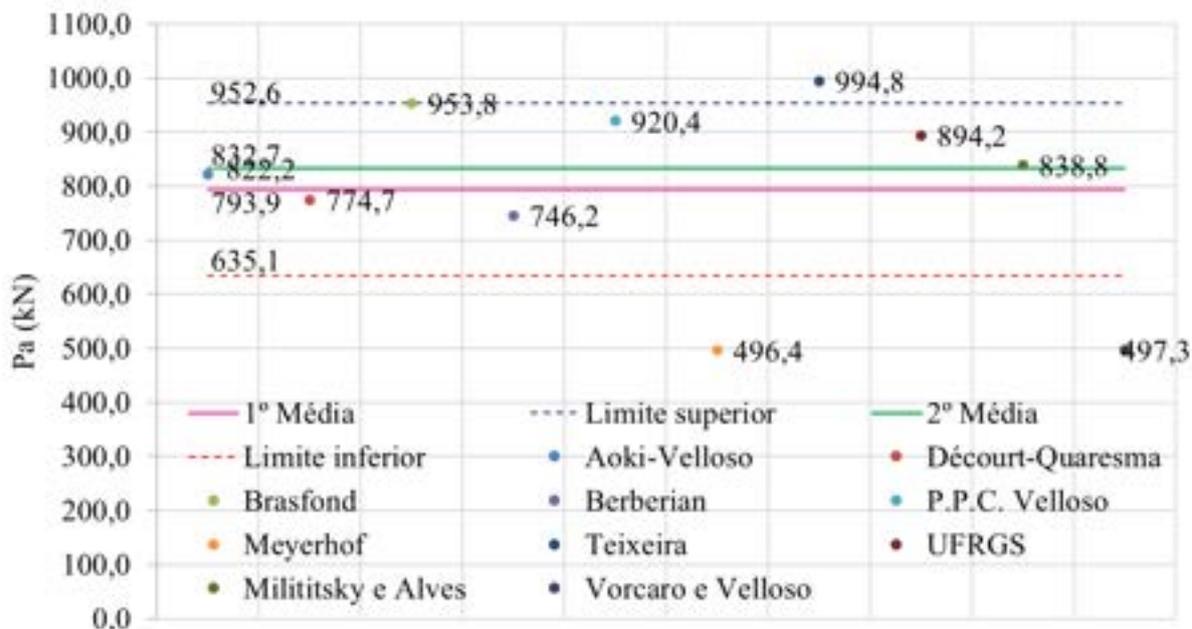
F.4 Estacas de 50 cm de diâmetro

Figura 7 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos - Alfenas, diâmetro de 50cm.



Fonte: dos autores (2021).

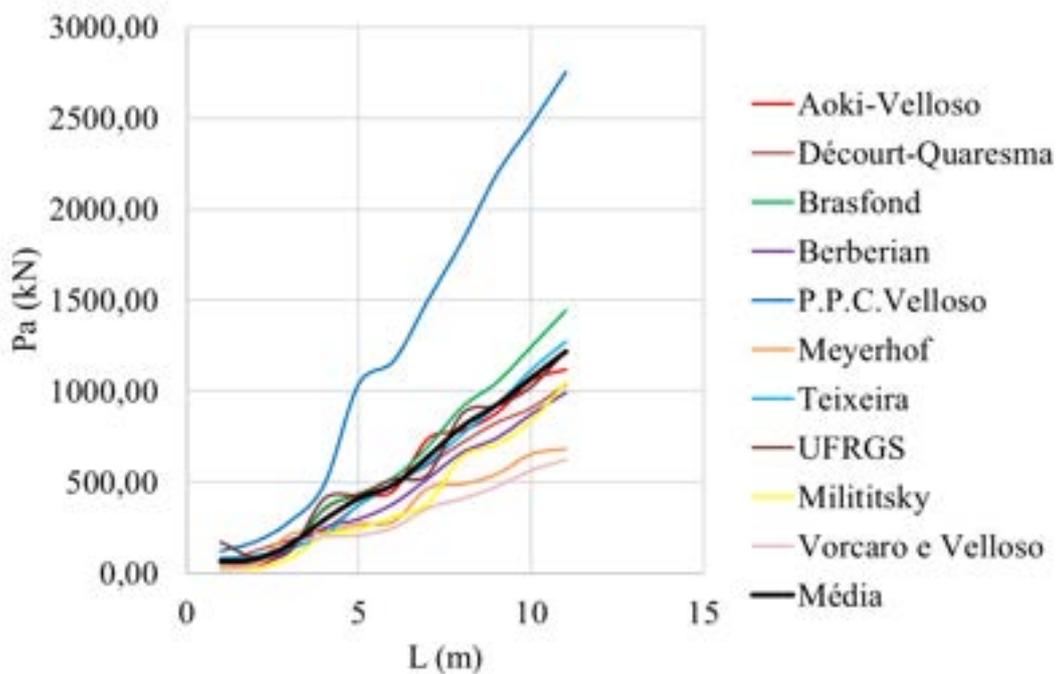
Figura 8 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Alfenas com estacas de 50 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

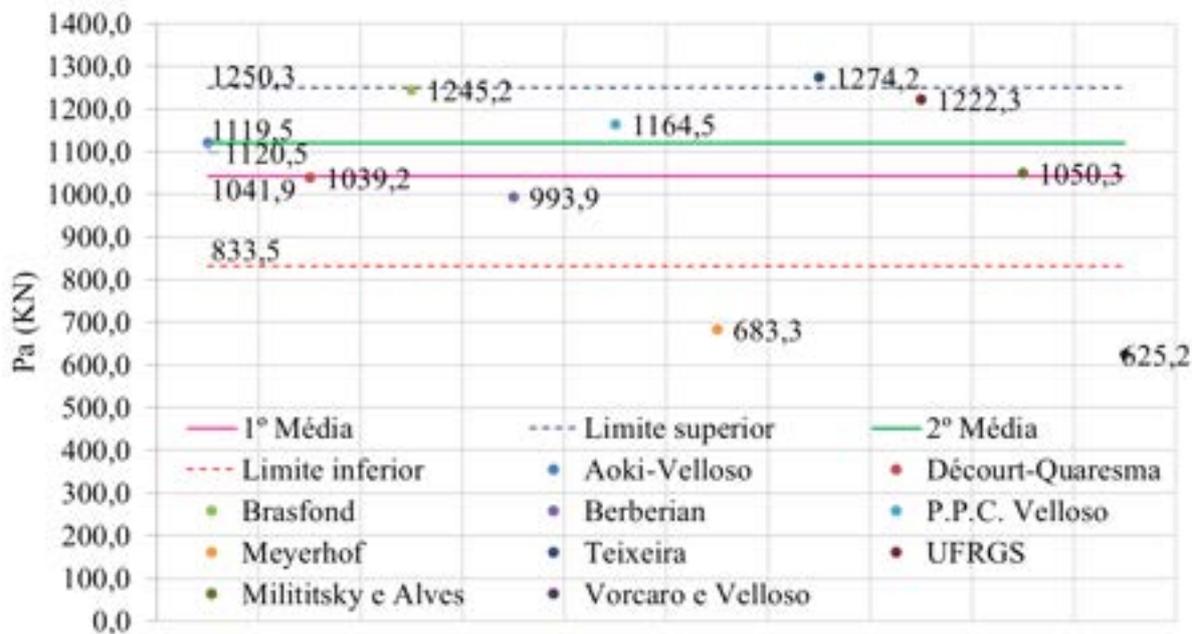
F.5 Estacas de 60 cm de diâmetro

Figura 9 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos - Alfenas, diâmetro de 60cm.



Fonte: dos autores (2021).

Figura 10 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Alfenas com estacas de 60 cm de diâmetro.



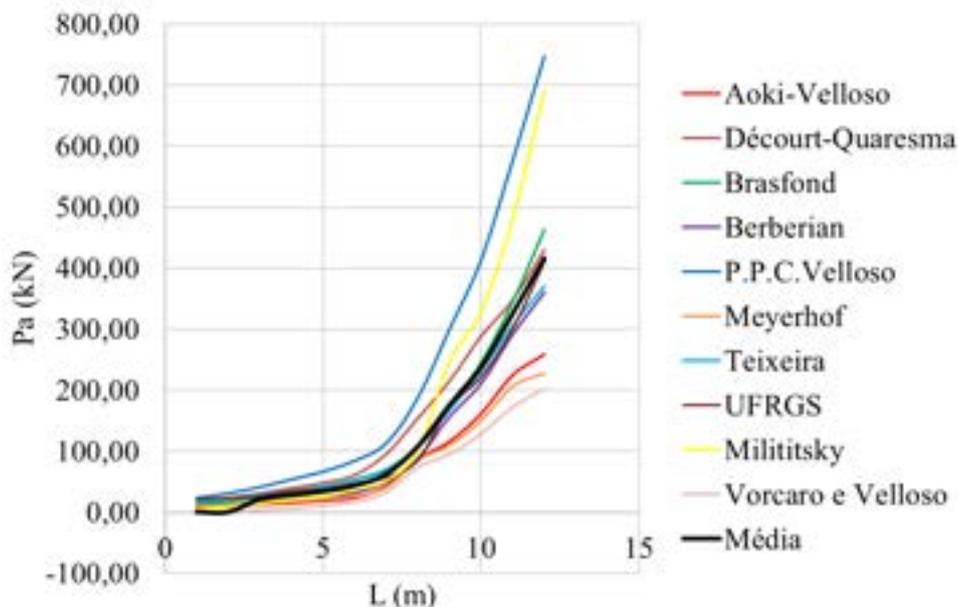
Fonte: dos autores (2021).

APÊNDICE G – Resultados para a cidade de Três Pontas-MG

As Figuras de 1 a 10 apresentam os resultados para a cidade de Três Pontas para os cinco diâmetros estudados.

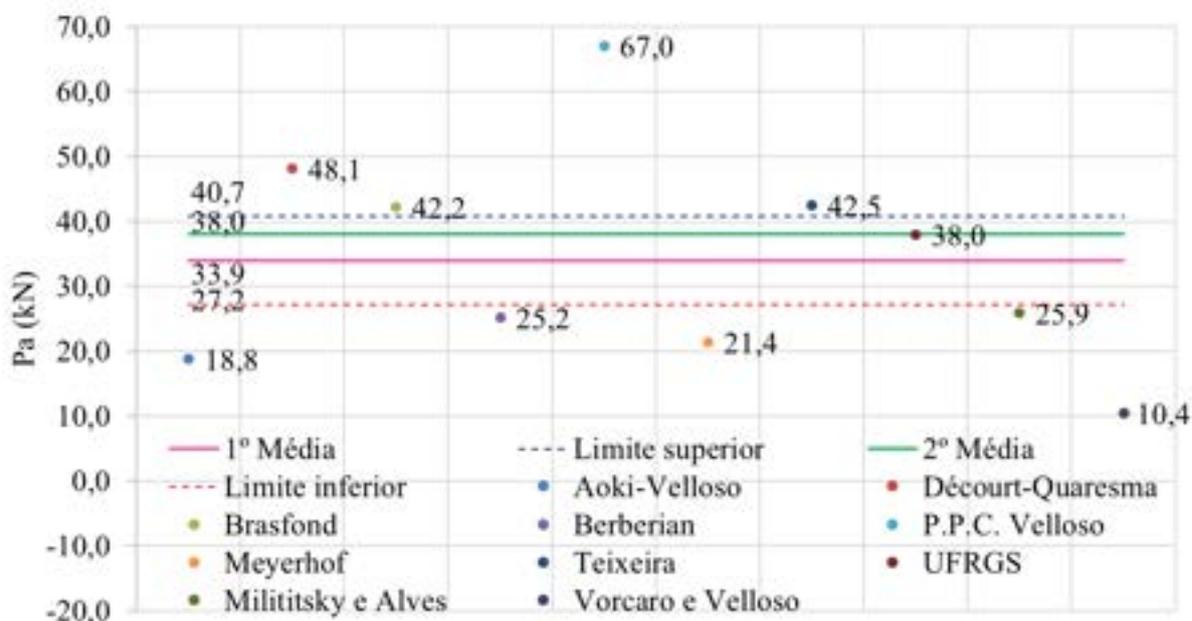
G.1 Estacas de 25 cm de diâmetro

Figura 1 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – Três Pontas, diâmetro de 25 cm.



Fonte: dos autores (2021).

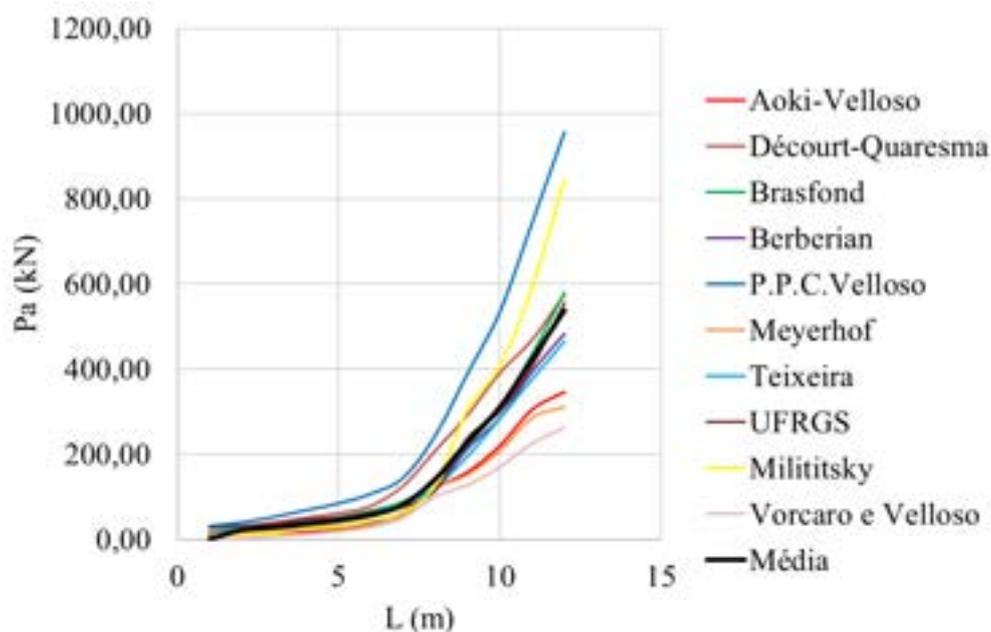
Figura 2 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Três Pontas com estacas de 25 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

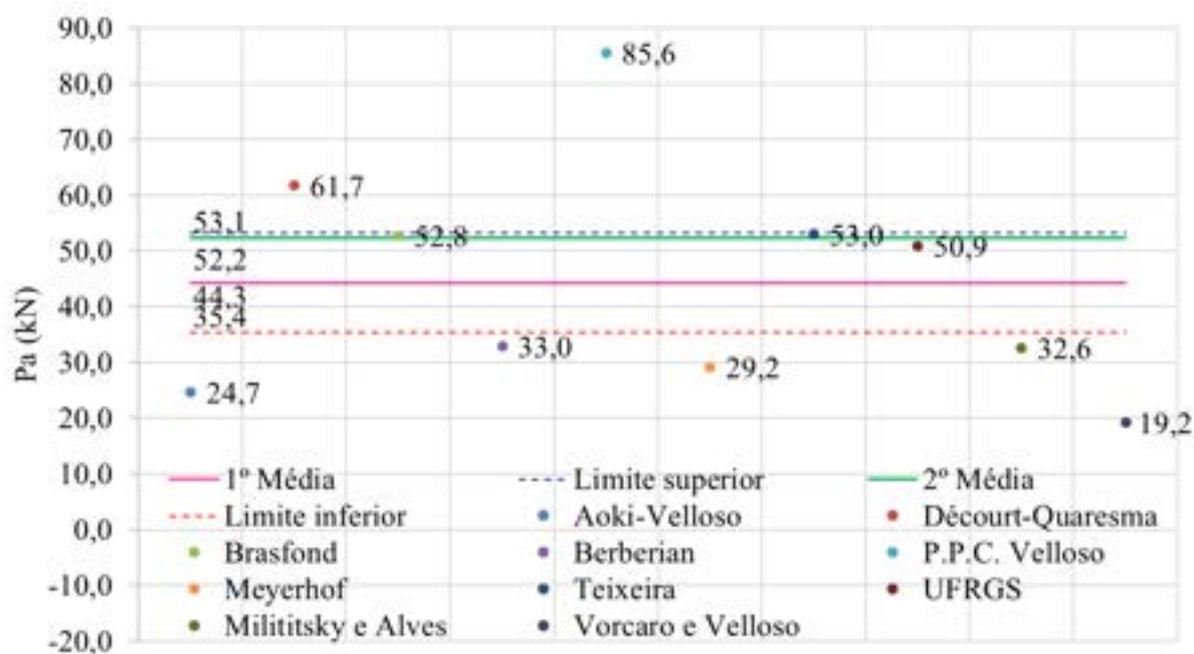
G.2 Estacas de 30 cm de diâmetro

Figura 3 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – Três Pontas, diâmetro de 30 cm.



Fonte: dos autores (2021).

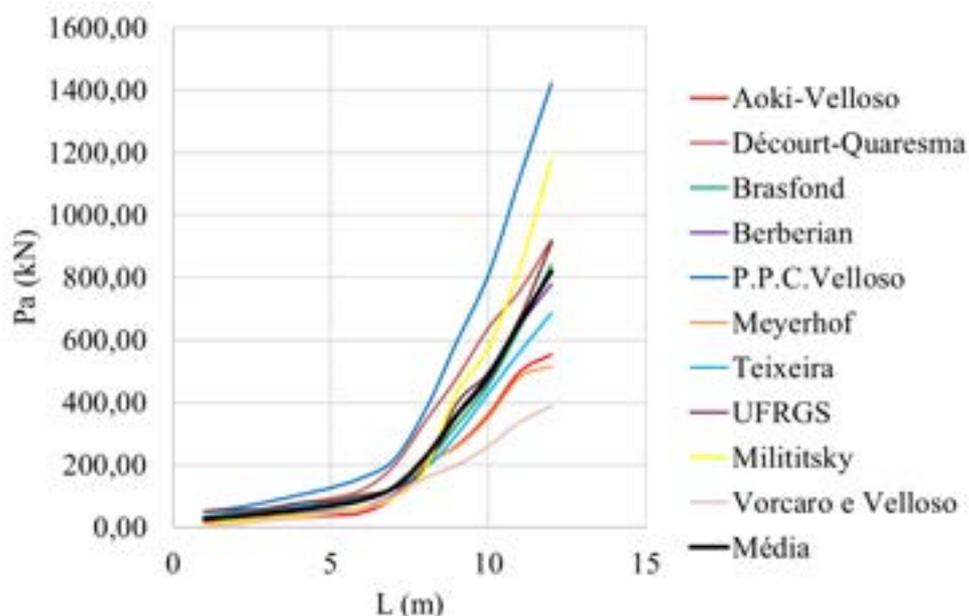
Figura 4 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Três Pontas com estacas de 30 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

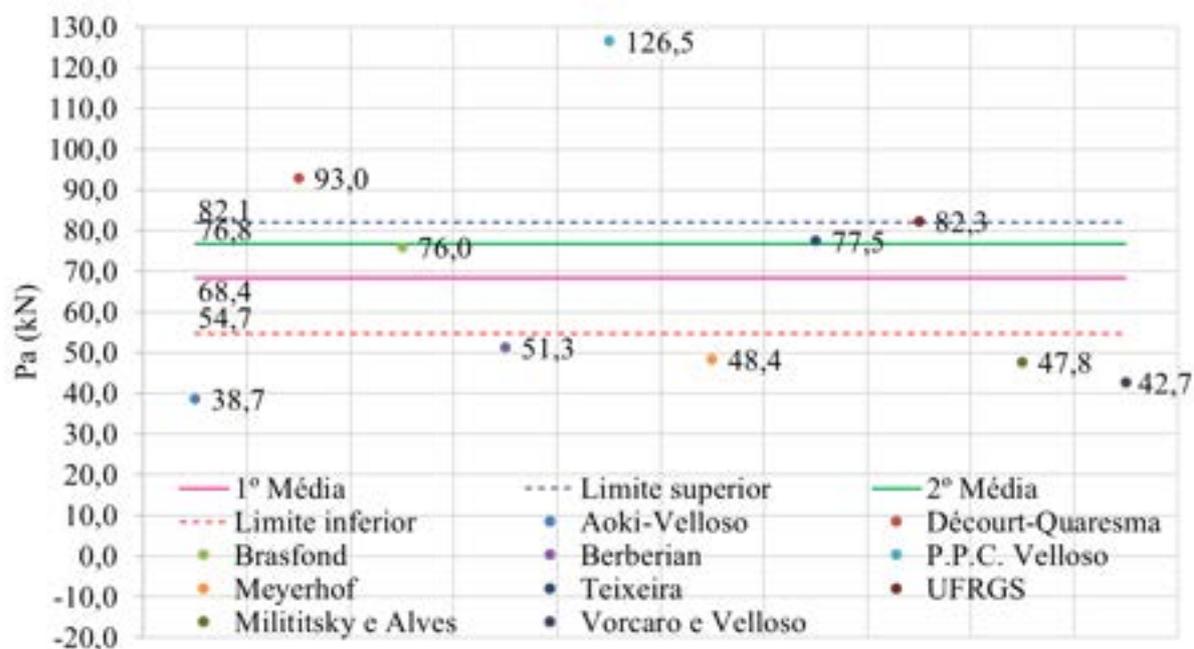
G.3 Estacas de 40 cm de diâmetro

Figura 5 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – Três Pontas, diâmetro de 40 cm.



Fonte: dos autores (2021).

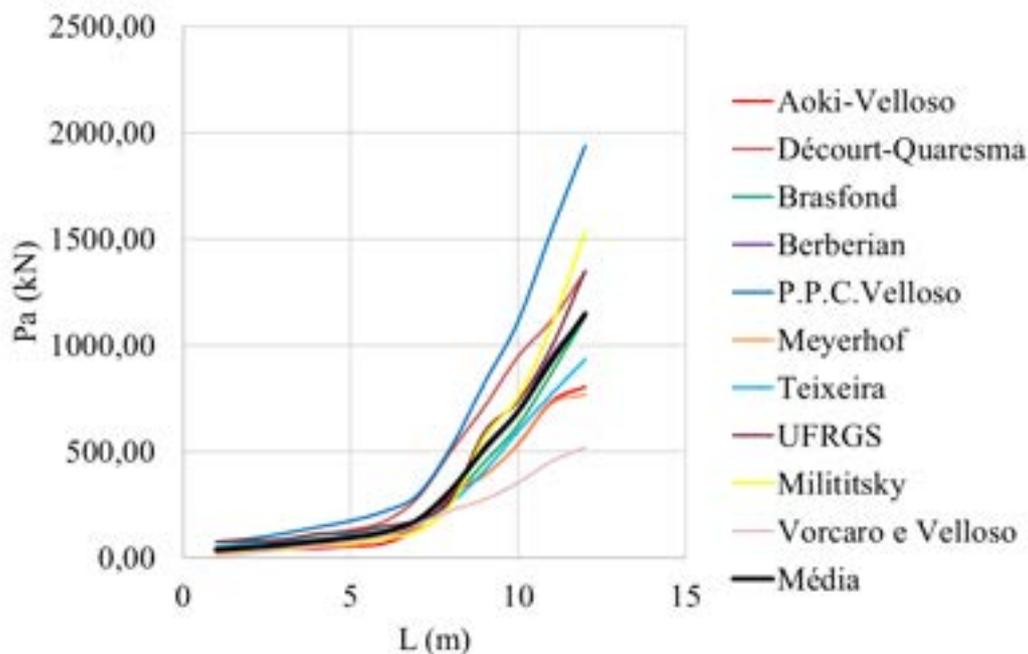
Figura 6 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Três Pontas com estacas de 40 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

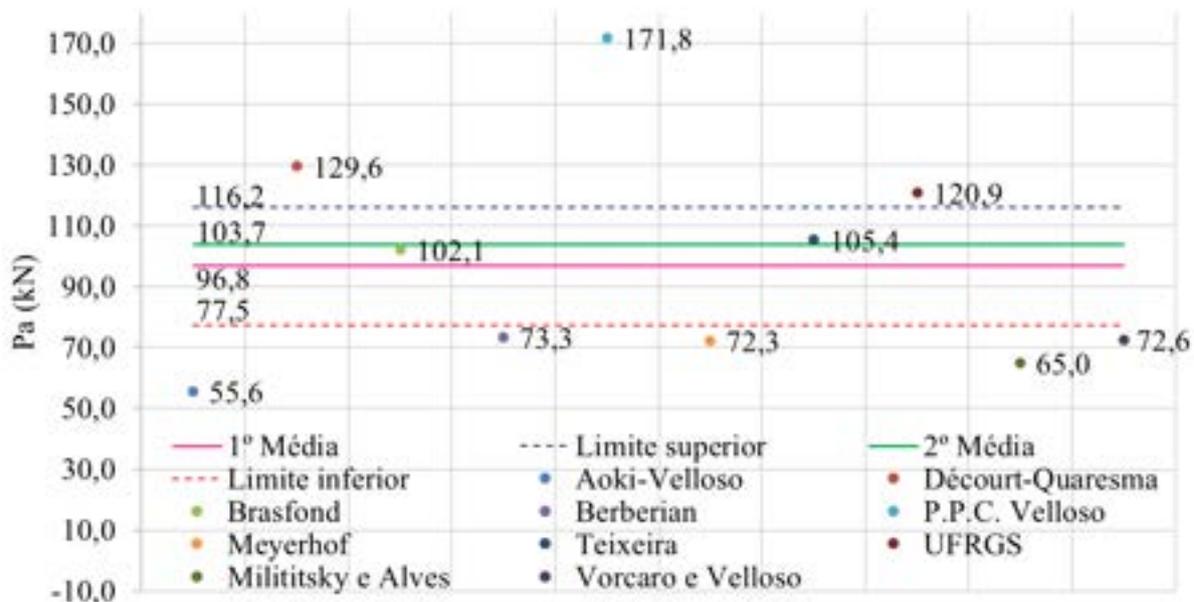
G.4 Estacas de 50 cm de diâmetro

Figura 7 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – Três Pontas, diâmetro de 50 cm.



Fonte: dos autores (2021).

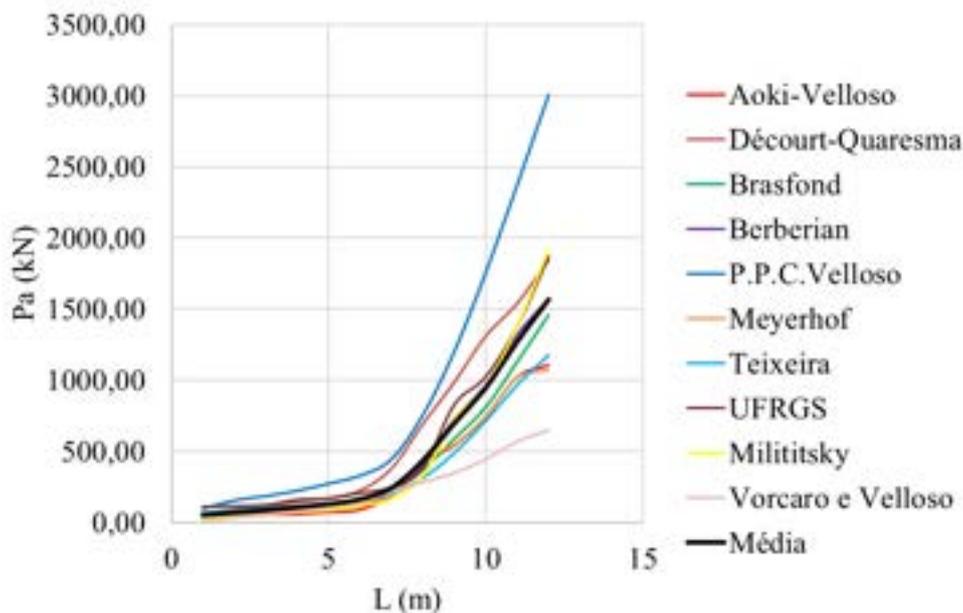
Figura 8 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Três Pontas com estacas de 50 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

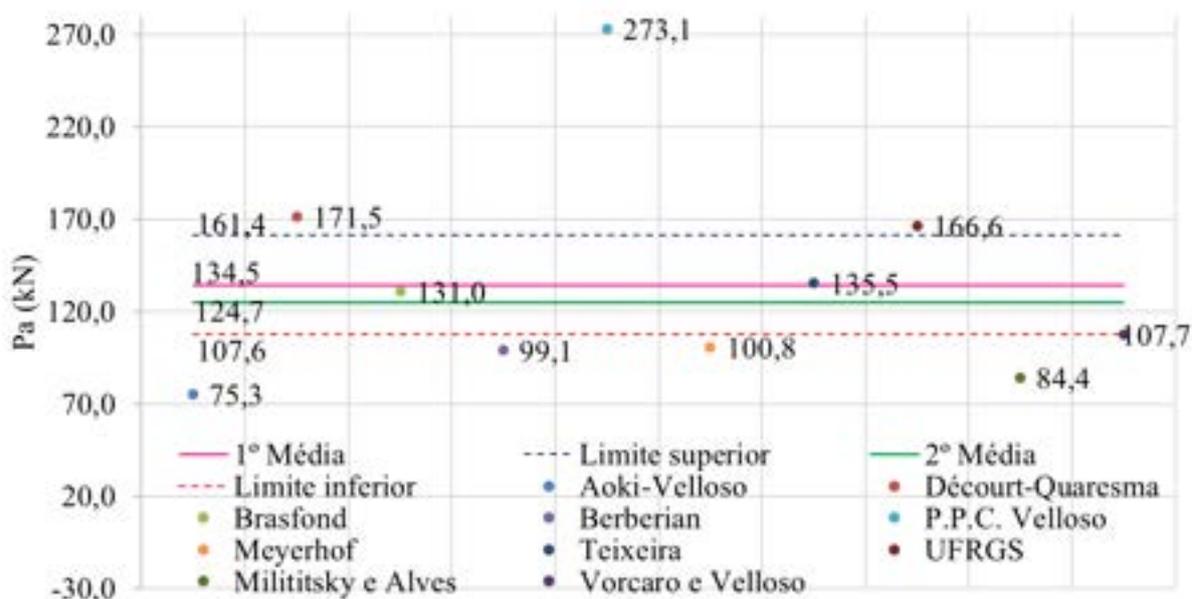
G.5 Estacas de 60 cm de diâmetro

Figura 9 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – Três Pontas, diâmetro de 60 cm.



Fonte: dos autores (2021).

Figura 10 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Três Pontas com estacas de 60 cm de diâmetro.



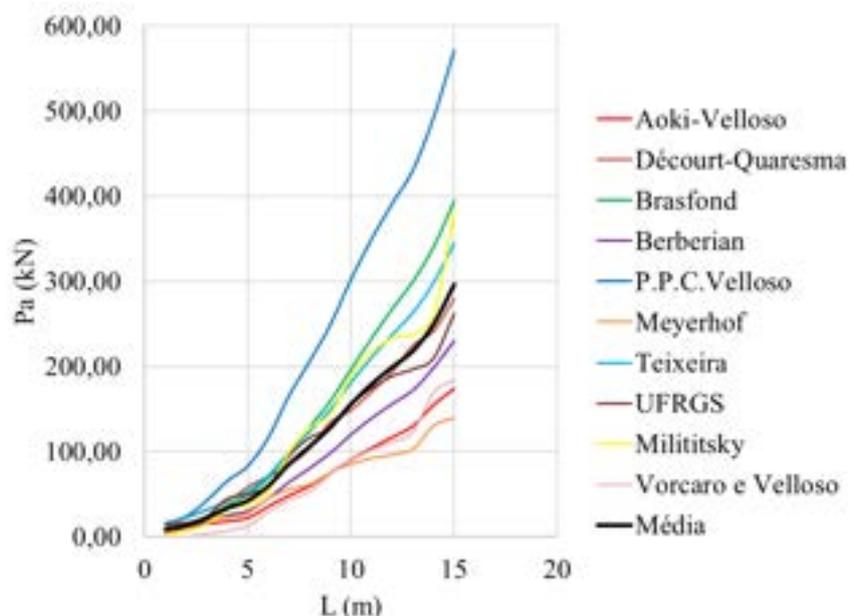
Fonte: dos autores (2021).

APÊNDICE H – Resultados para a cidade de Machado-MG

As Figuras 1 a 10 apresentam os resultados para a cidade de Machado para os cinco diâmetros estudados.

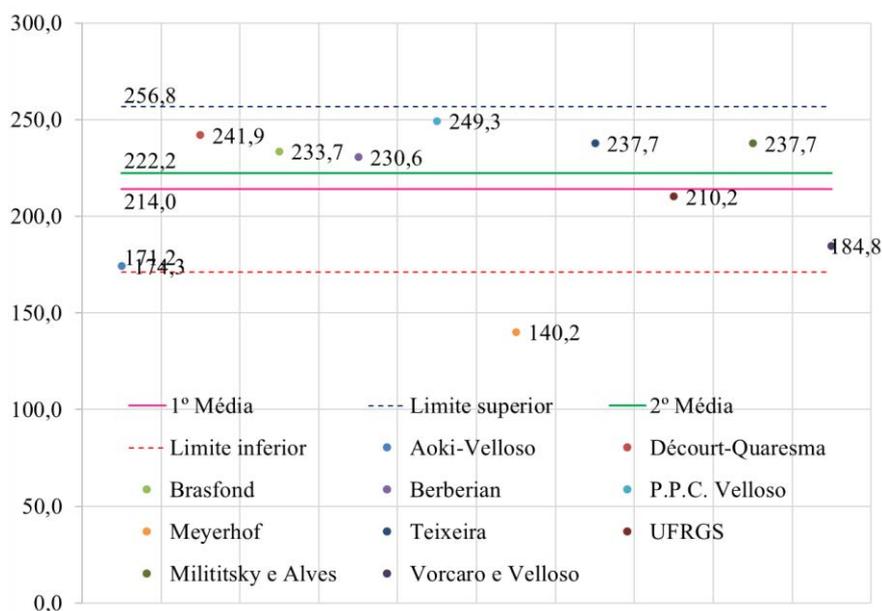
H.1 Estacas de 25 cm de diâmetro

Figura 1 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – Machado, diâmetro de 25 cm.



Fonte: dos autores (2021).

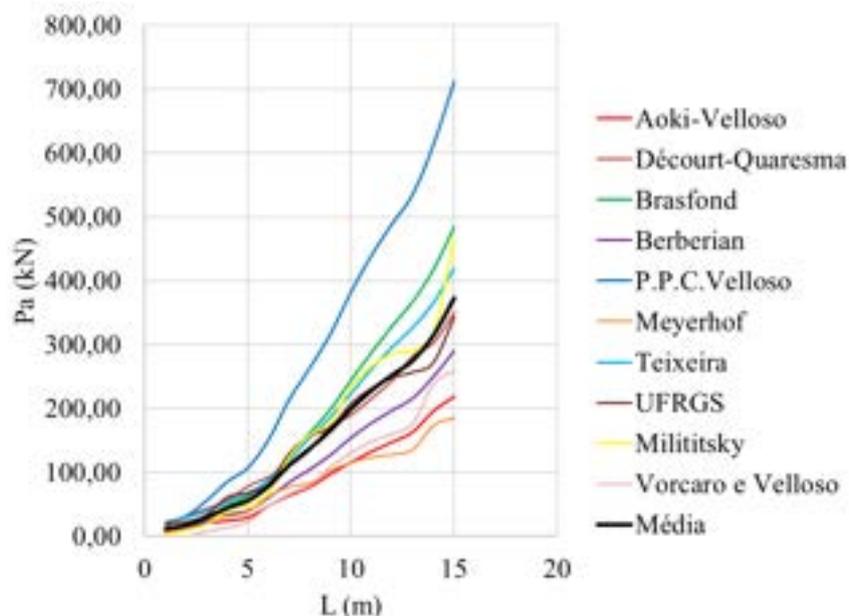
Figura 3 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Machado com estacas de 25 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

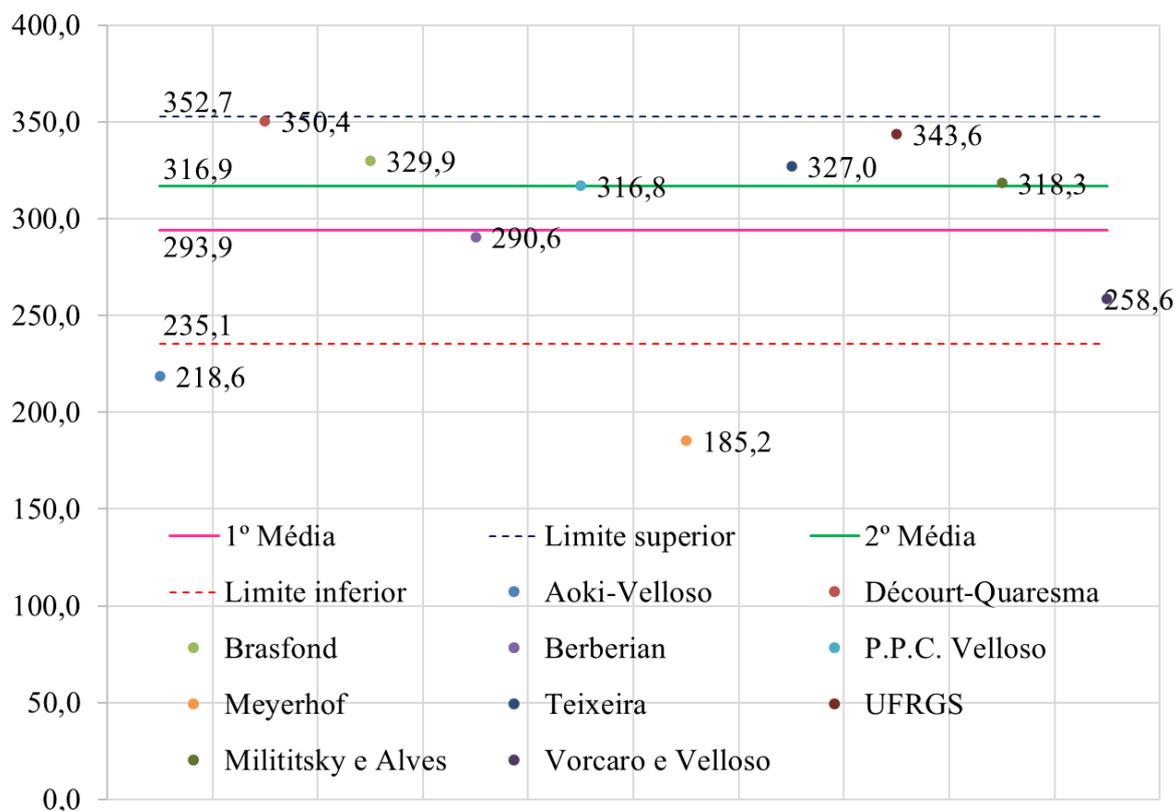
H.2 Estacas de 30 cm de diâmetro

Figura 3 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – Machado, diâmetro de 30 cm.



Fonte: dos autores (2021).

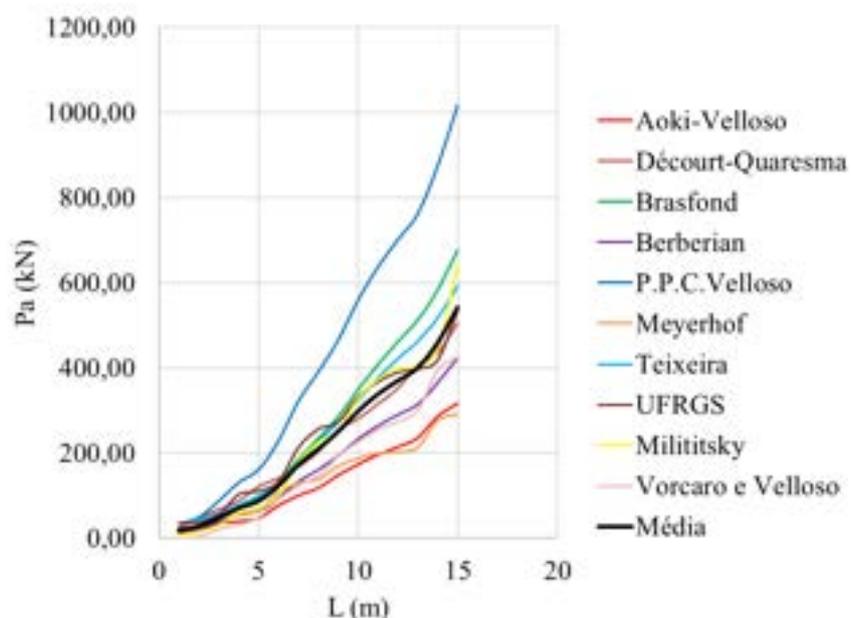
Figura 4 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Machado com estacas de 30 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

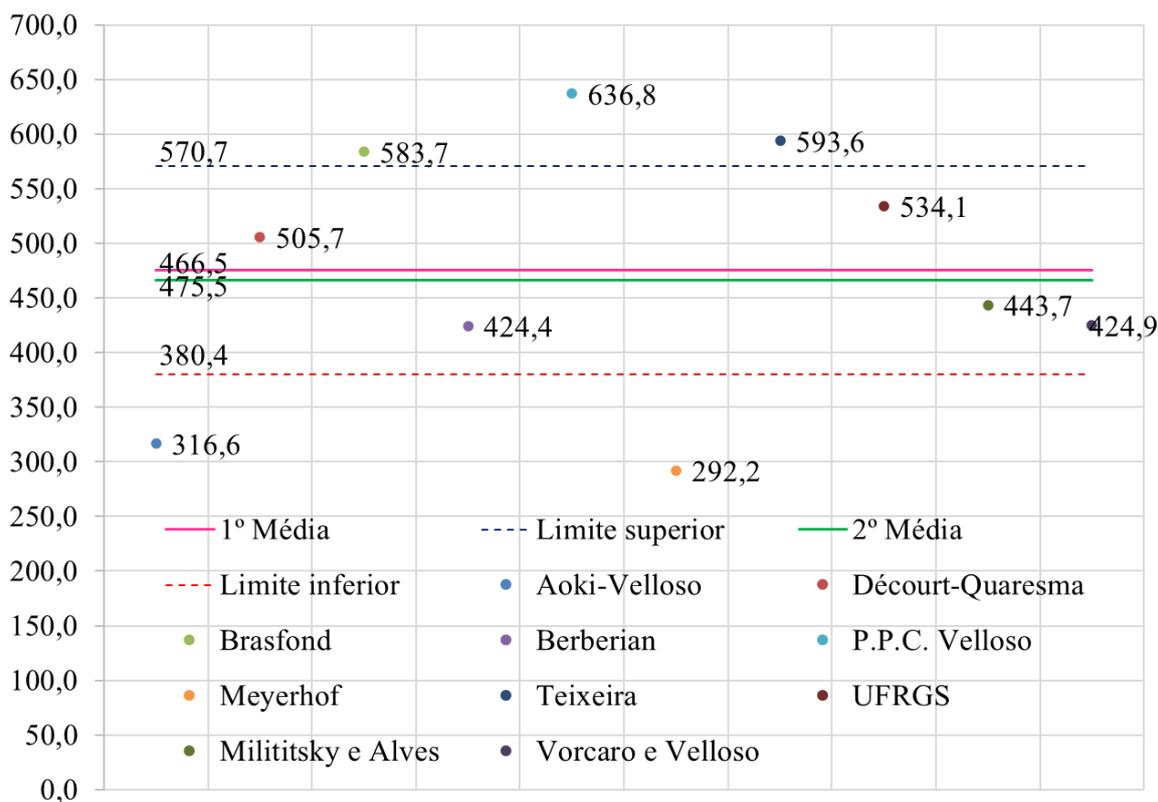
H.3 Estacas de 40 cm de diâmetro

Figura 5 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – Machado, diâmetro de 40 cm.



Fonte: dos autores (2021).

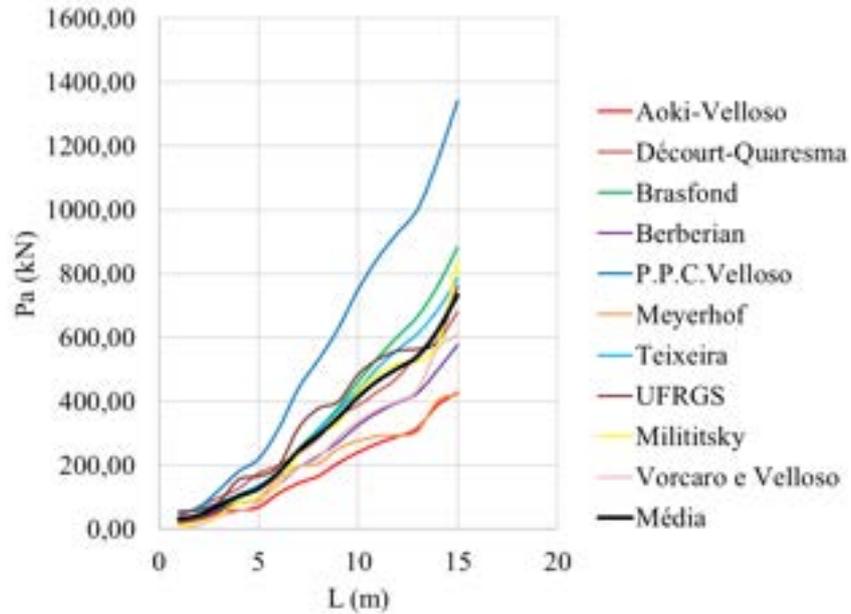
Figura 6 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Machado com estacas de 40 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

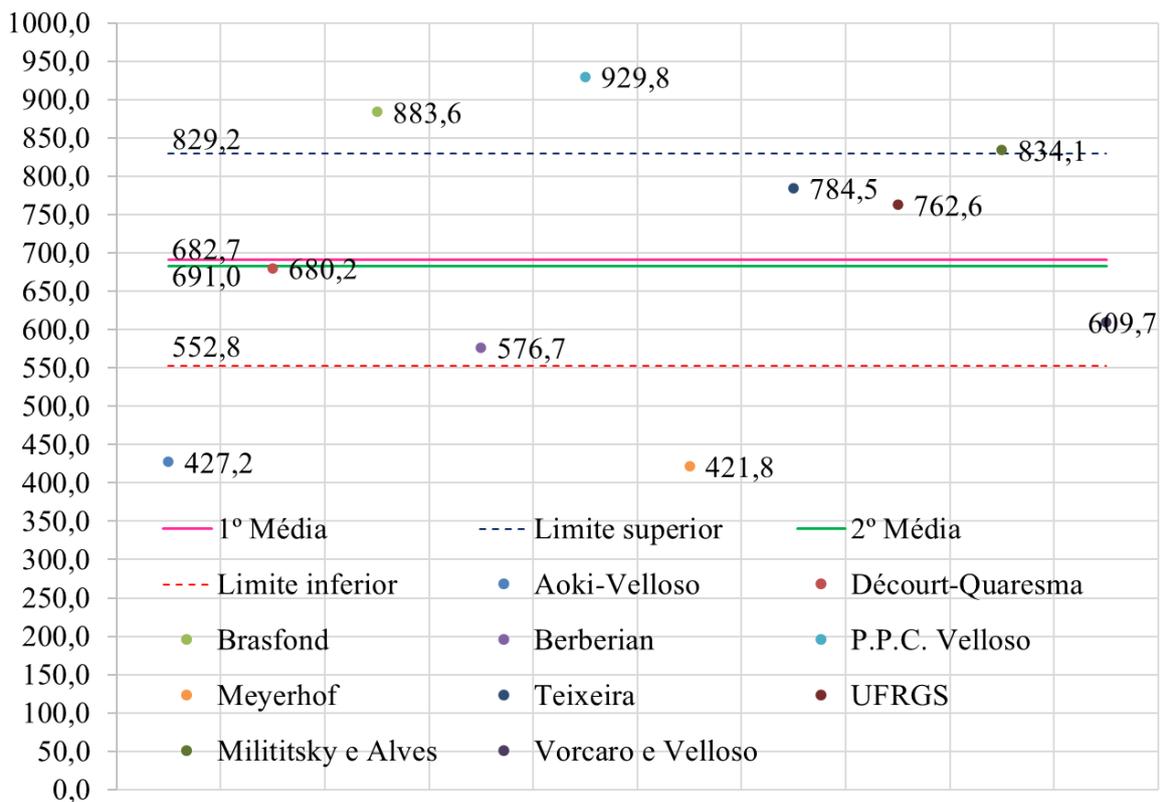
H.4 Estacas de 50 cm de diâmetro

Figura 7 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – Machado, diâmetro de 50 cm.



Fonte: dos autores (2021).

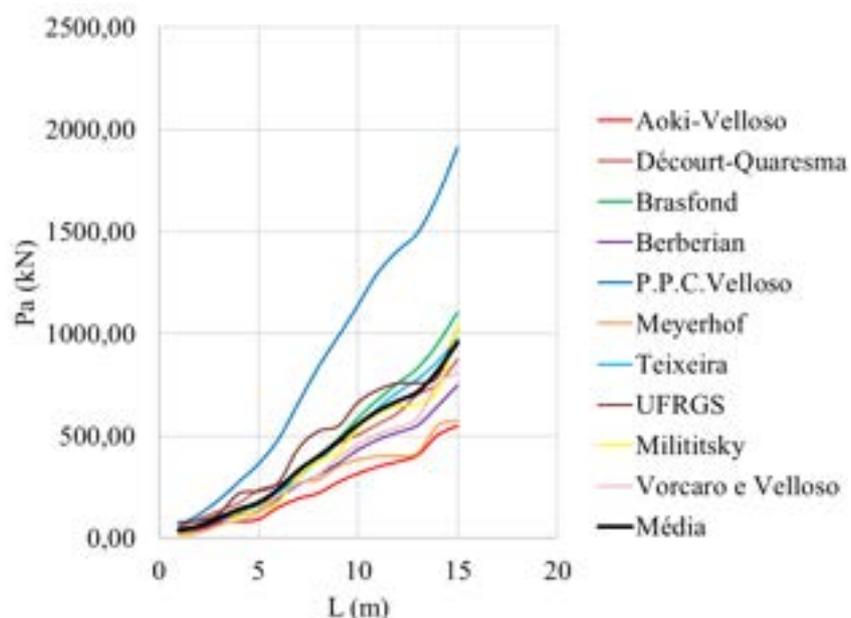
Figura 8 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Machado com estacas de 50 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

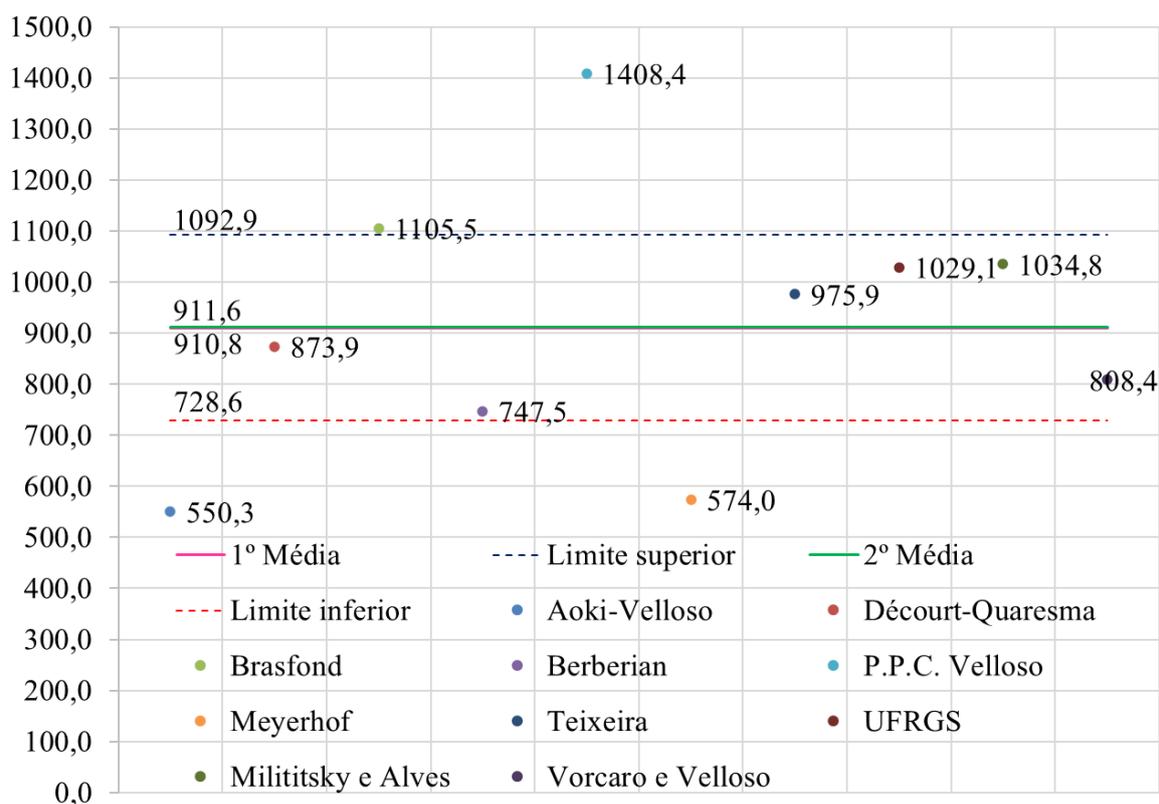
H.5 Estacas de 60 cm de diâmetro

Figura 9 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – Machado, diâmetro de 60 cm.



Fonte: dos autores (2021).

Figura 10– Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Machado com estacas de 60 cm de diâmetro.



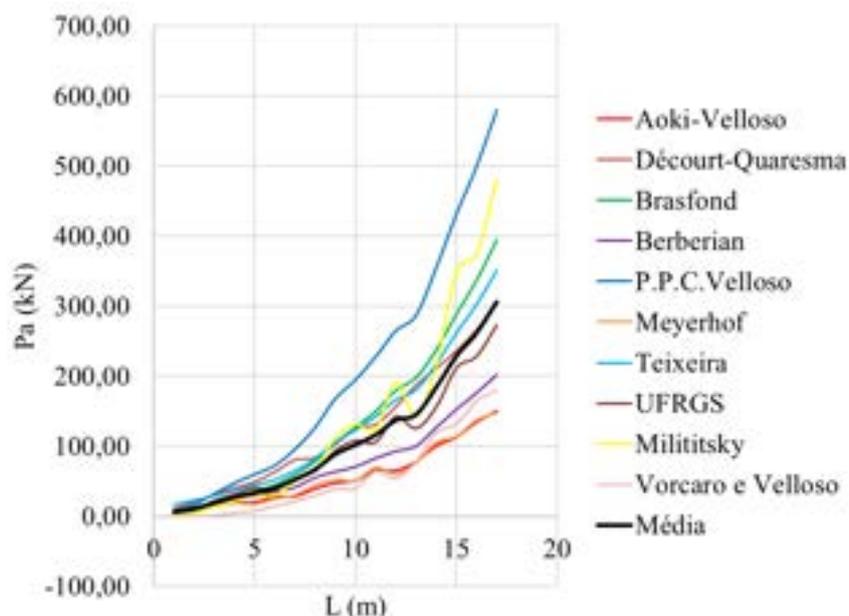
Fonte: dos autores (2021).

APÊNDICE I – Resultados para a cidade de Guaxupé-MG

As Figuras 1 a 10 apresentam os resultados para a cidade de Guaxupé para os cinco diâmetros estudados.

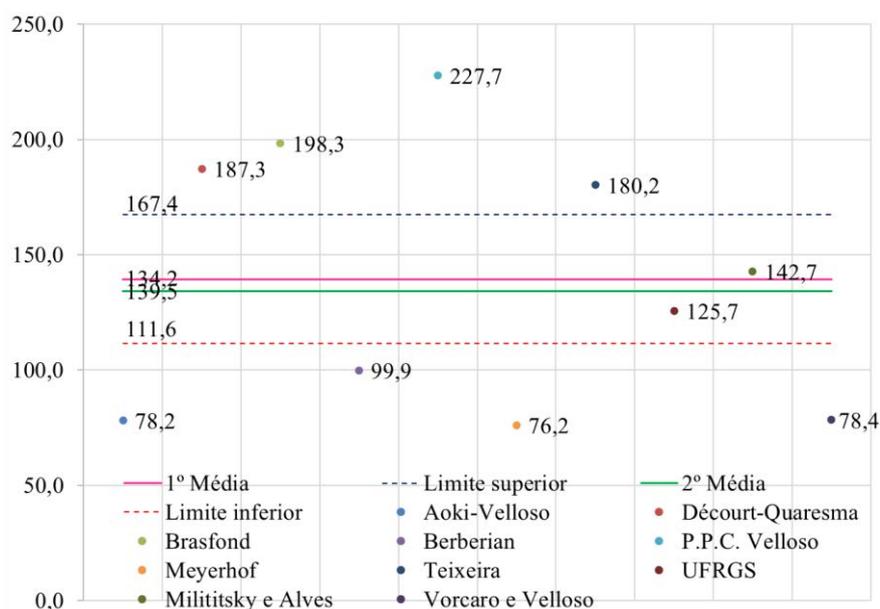
I.1 Estacas de 25 cm de diâmetro

Figura 1 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – Guaxupé, diâmetro de 25 cm.



Fonte: dos autores (2021).

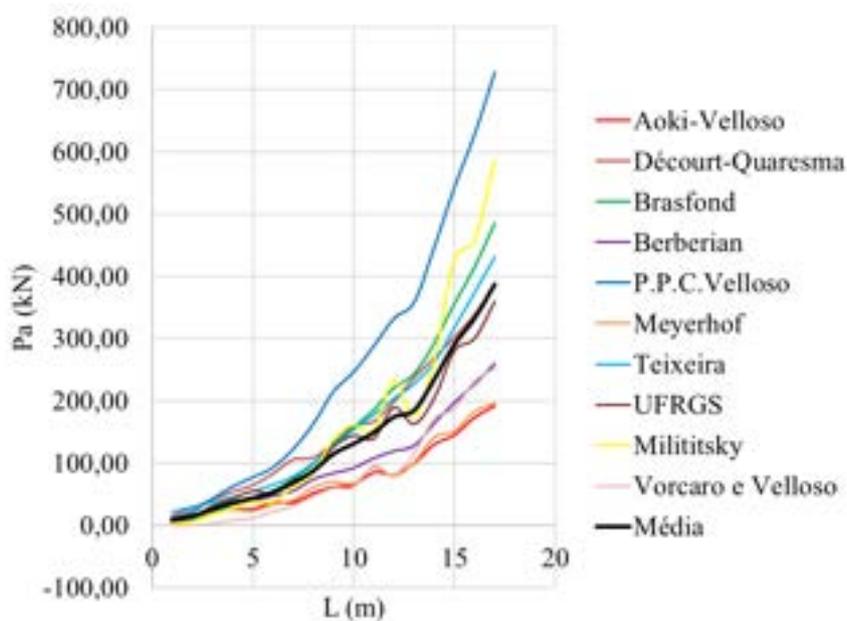
Figura 2 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Guaxupé com estacas de 25 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

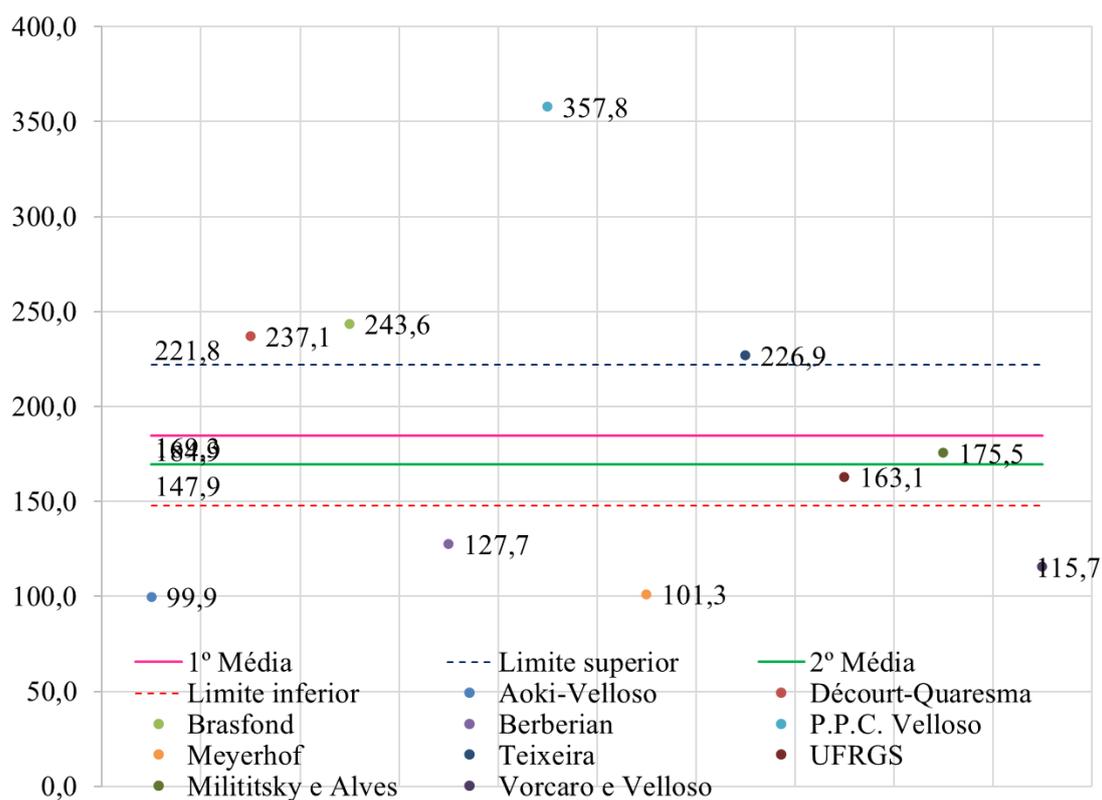
I.2 Estacas de 30 cm de diâmetro

Figura 3 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – Guaxupé, diâmetro de 30 cm.



Fonte: dos autores (2021).

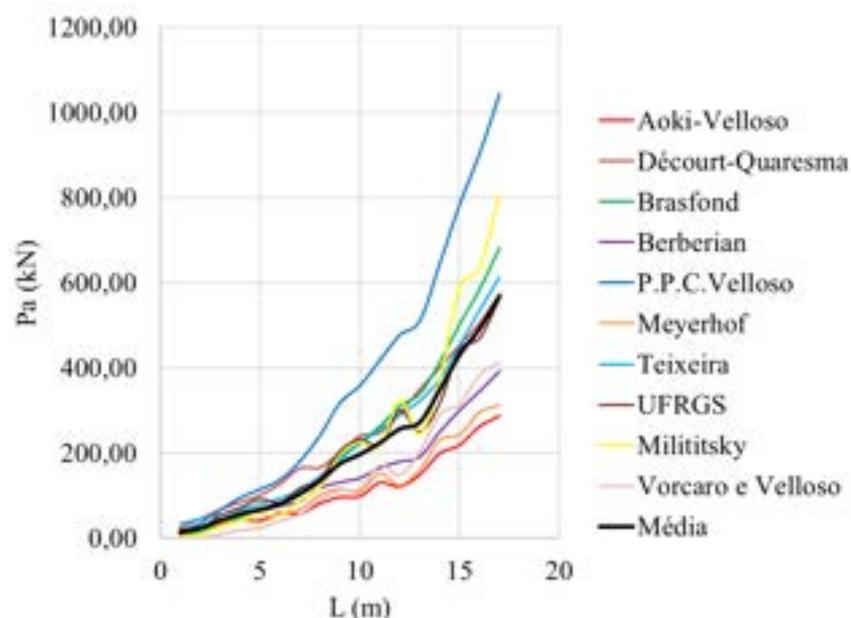
Figura 4– Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Guaxupé com estacas de 30 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

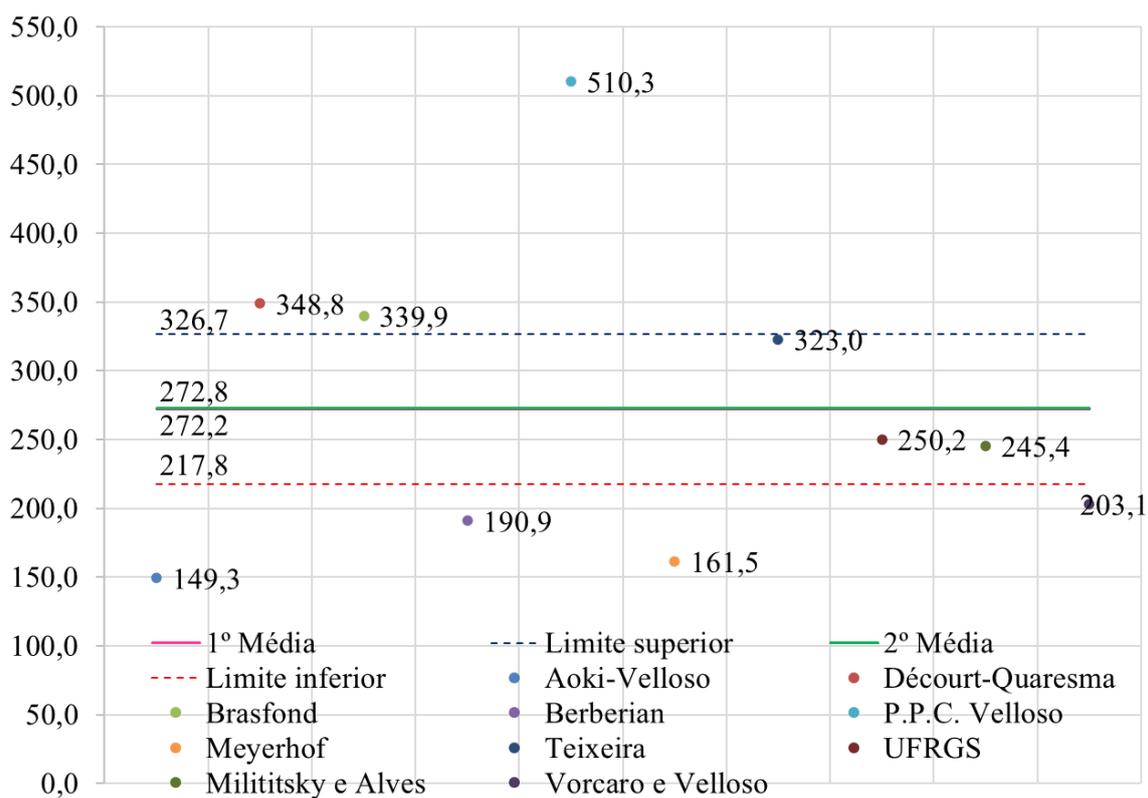
I.3 Estacas de 40 cm de diâmetro

Figura 5 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – Guaxupé, diâmetro de 40 cm.



Fonte: dos autores (2021).

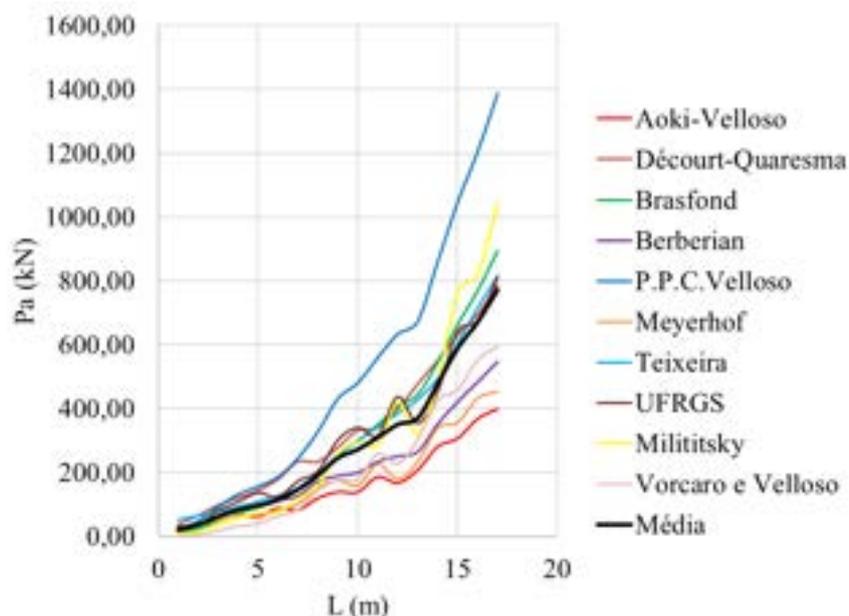
Figura 6 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Guaxupé com estacas de 40 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

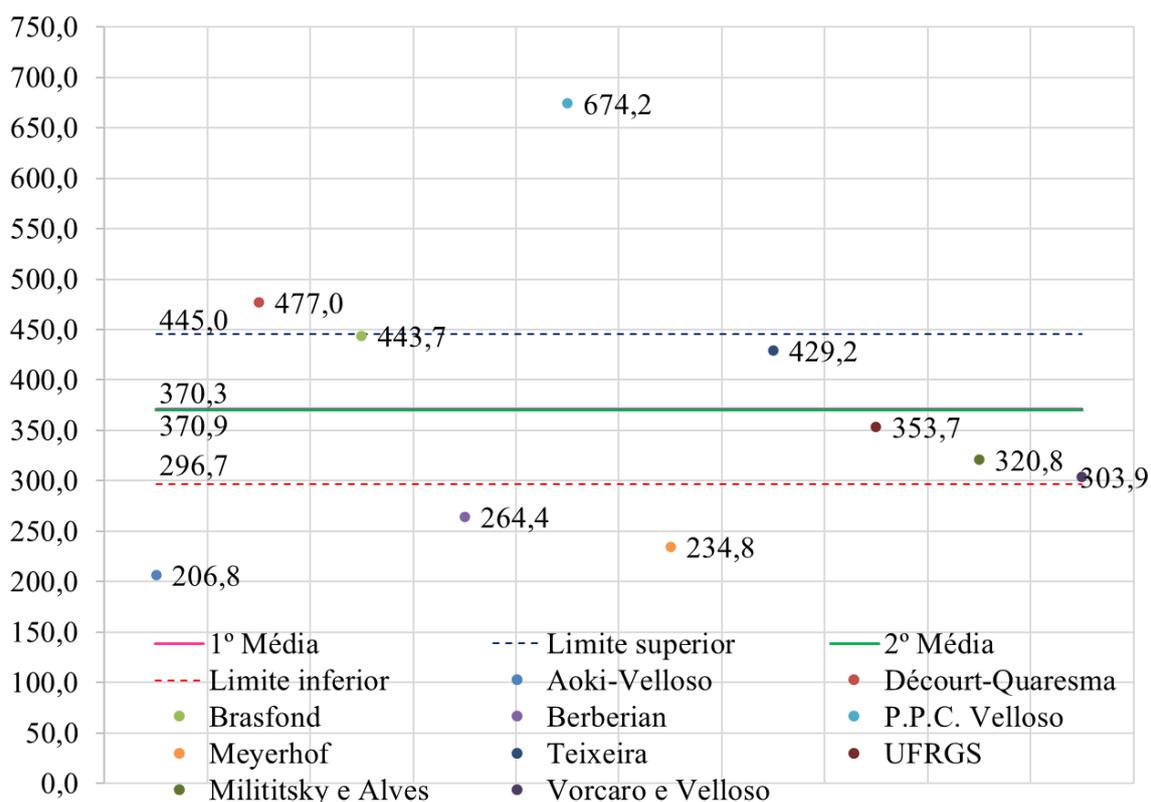
I.4 Estacas de 50 cm de diâmetro

Figura 7 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – Guaxupé, diâmetro de 50 cm.



Fonte: dos autores (2021).

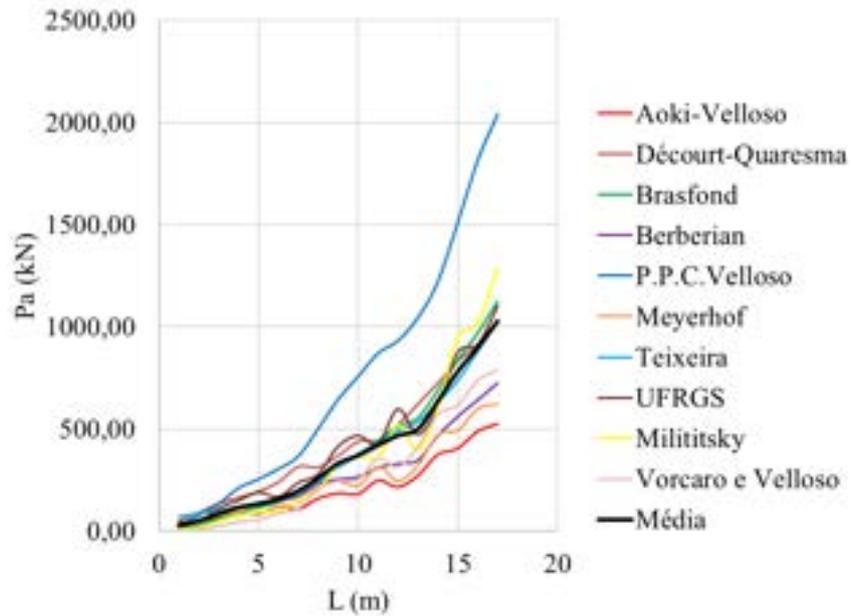
Figura 8 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Guaxupé com estacas de 50 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

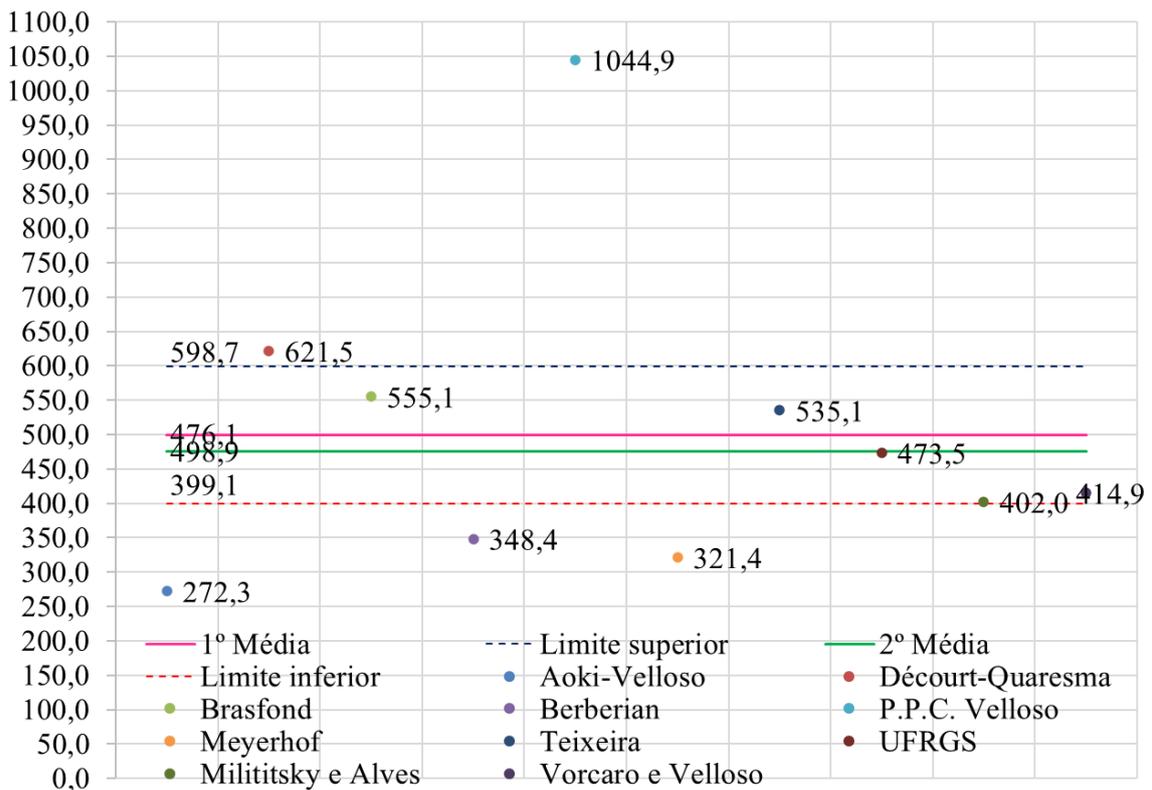
I.5 Estacas de 60 cm de diâmetro

Figura 9 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – Guaxupé, diâmetro de 60 cm.



Fonte: dos autores (2021).

Figura 10 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Guaxupé com estacas de 60 cm de diâmetro.



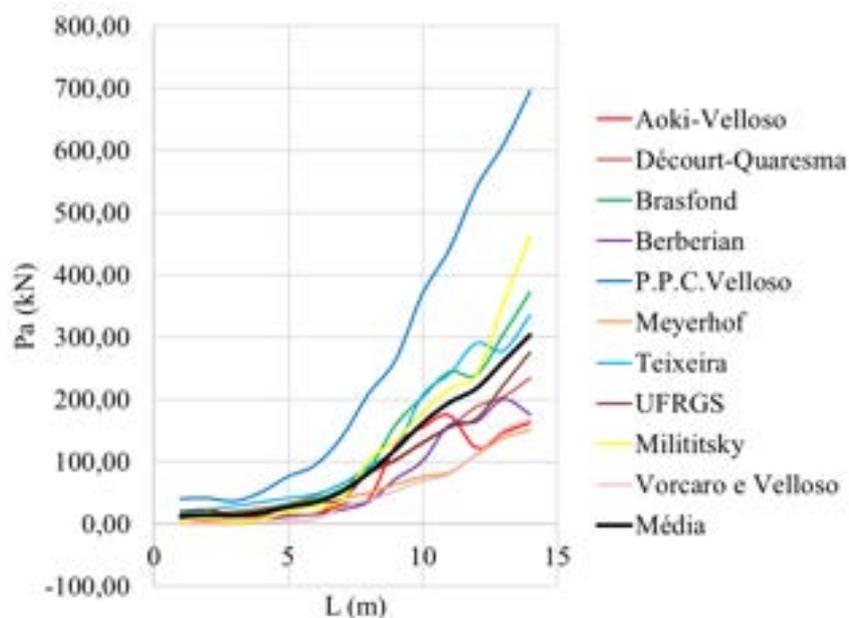
Fonte: dos autores (2021).

APÊNDICE J – Resultados para a cidade de São Sebastião do Paraíso-MG

As Figuras 1 a 10 apresentam os resultados para a cidade de São Sebastião do Paraíso para os cinco diâmetros estudados.

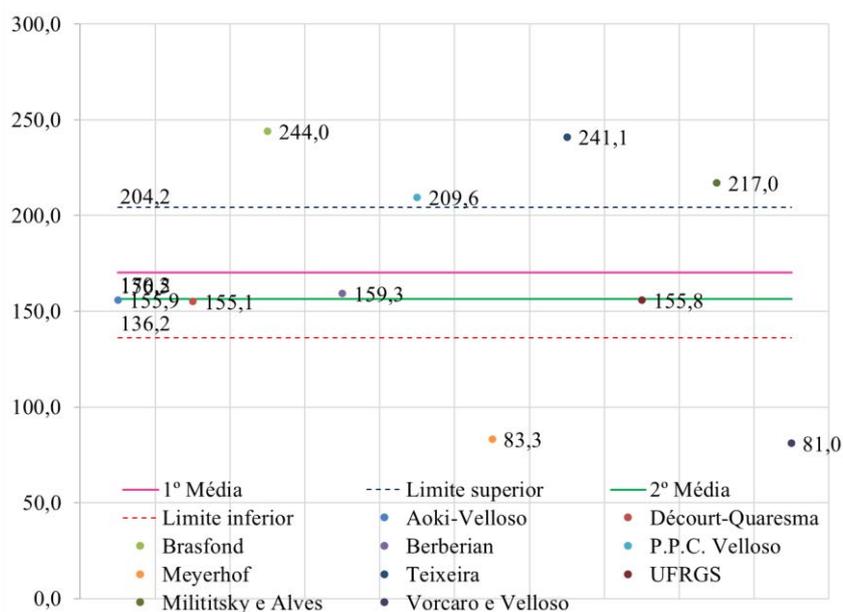
J.1 Estacas de 25 cm de diâmetro

Figura 1 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – S. S. do Paraíso, diâmetro de 25 cm.



Fonte: dos autores (2021).

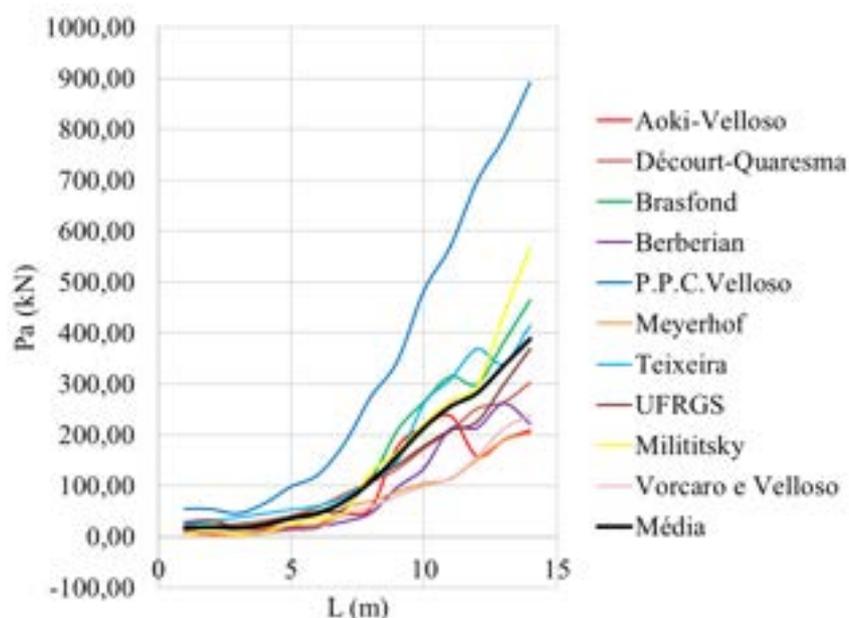
Figura 2 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de S. S. do Paraíso com estacas de 25 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

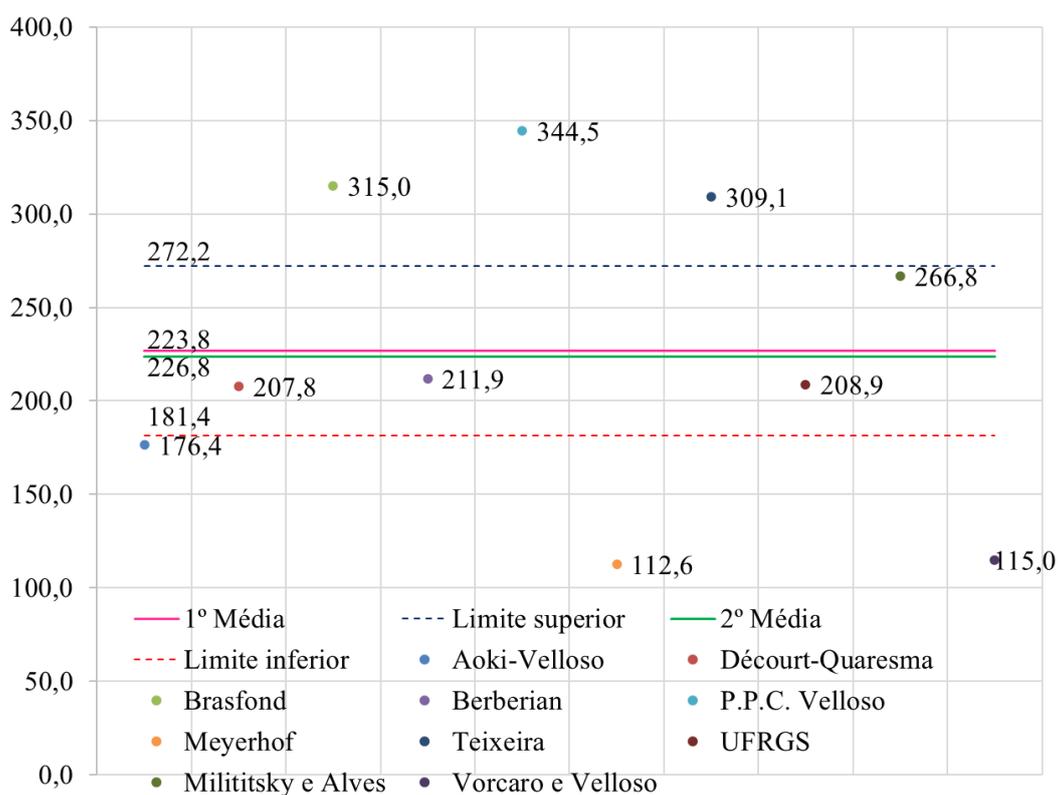
J.2 Estacas de 30 cm de diâmetro

Figura 3 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – S. S. do Paraíso, diâmetro de 30 cm.



Fonte: dos autores (2021).

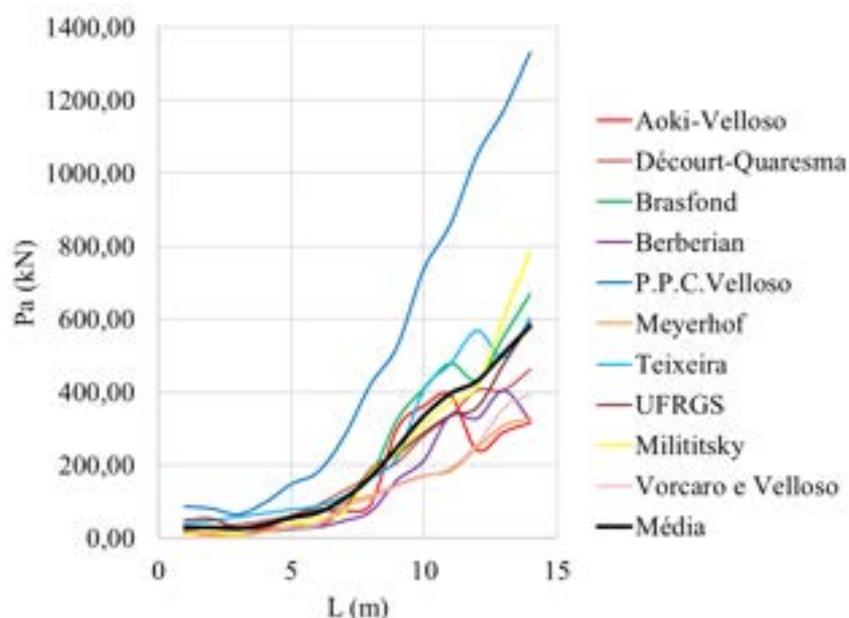
Figura 4 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de S. S. do Paraíso com estacas de 30 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

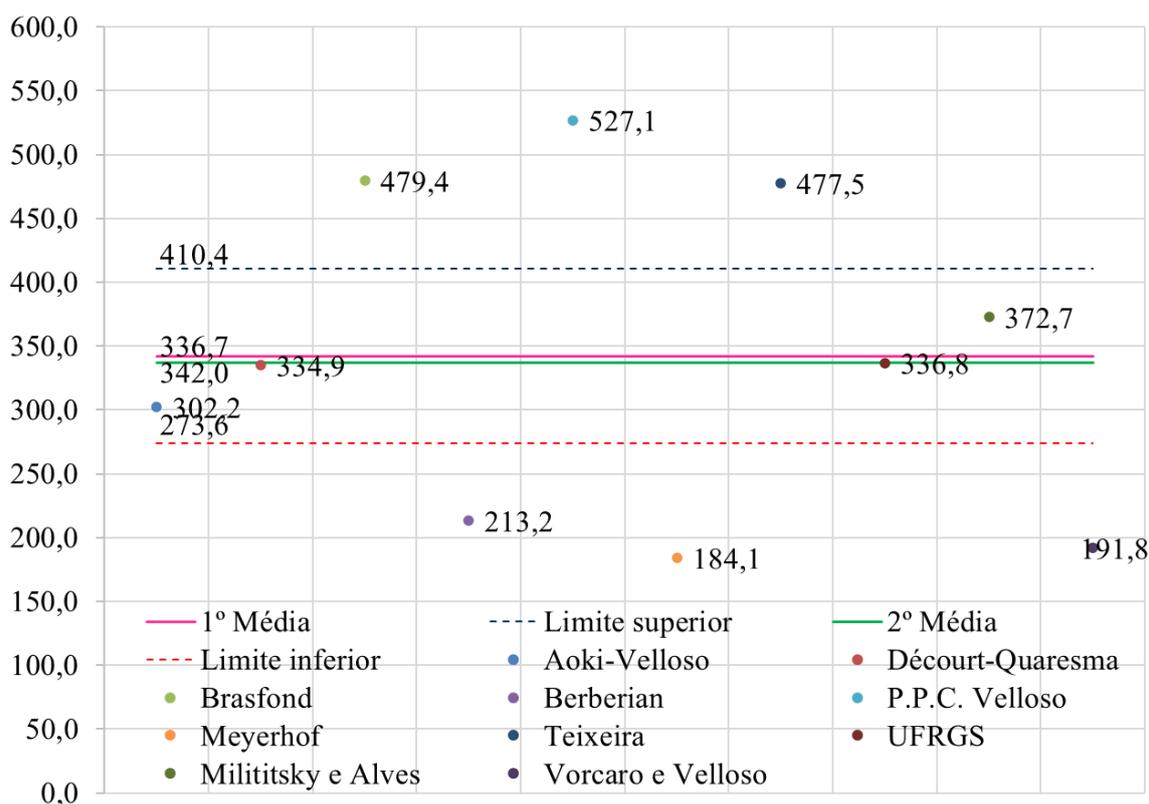
J.3 Estacas de 40 cm de diâmetro

Figura 5 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – S. S. do Paraíso, diâmetro de 40 cm.



Fonte: dos autores (2021).

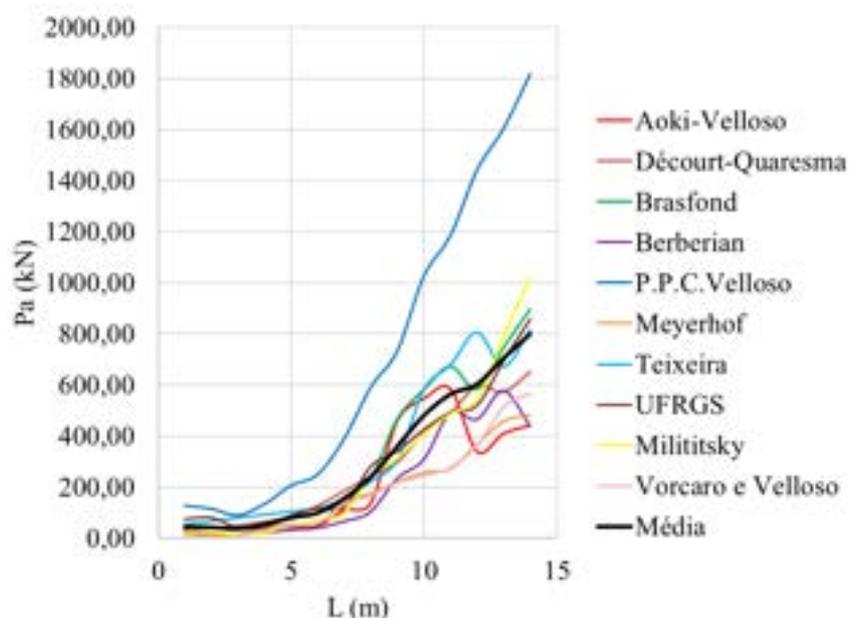
Figura 6 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de S. S. do Paraíso com estacas de 40 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

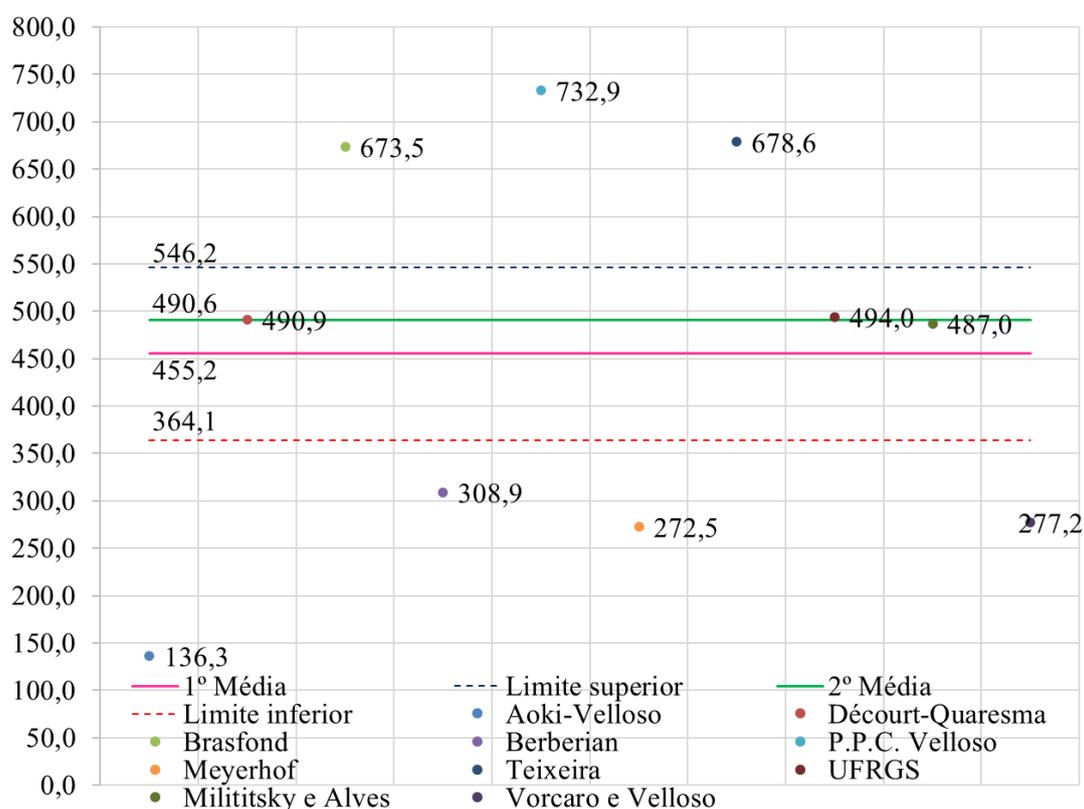
J.4 Estacas de 50 cm de diâmetro

Figura 7 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – S. S. do Paraíso, diâmetro de 50 cm.



Fonte: dos autores (2021).

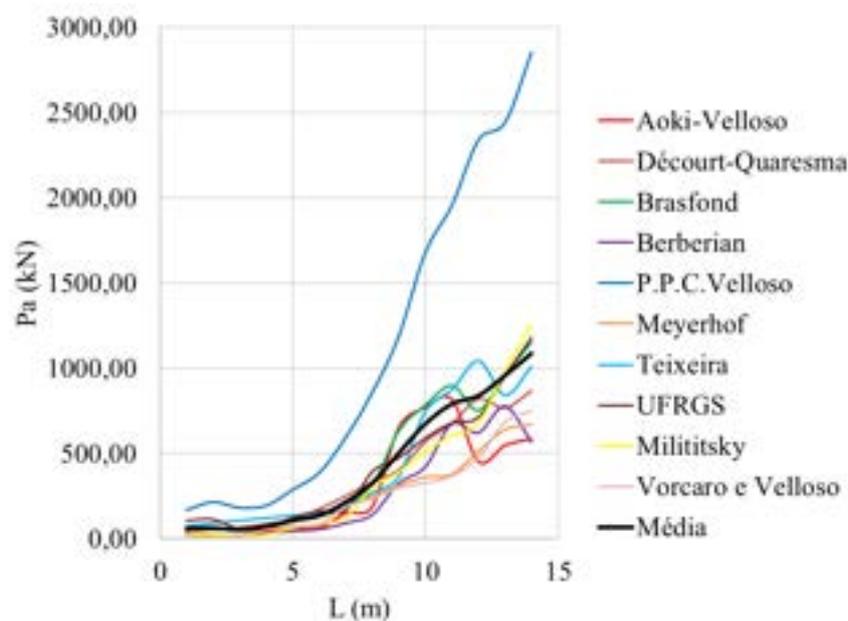
Figura 8 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de S. S. do Paraíso com estacas de 50 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

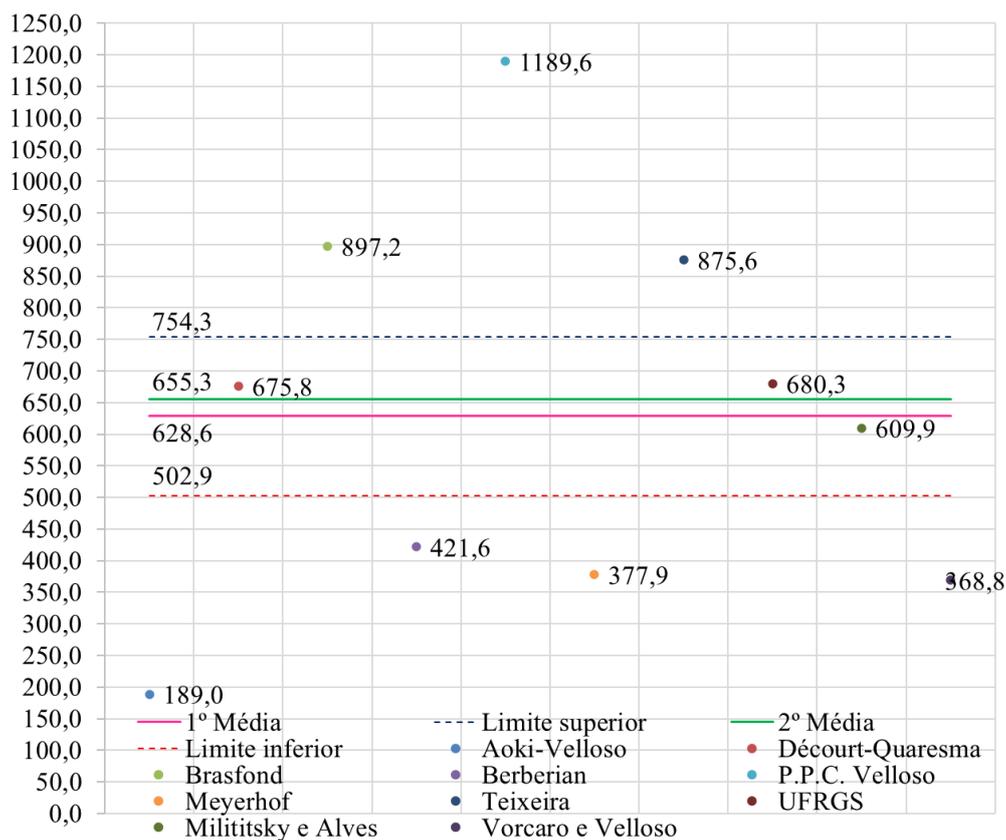
J.5 Estacas de 60 cm de diâmetro

Figura 9 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – S. S. do Paraíso, diâmetro de 60 cm.



Fonte: dos autores (2021).

Figura 10 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de S. S. do Paraíso com estacas de 60 cm de diâmetro.



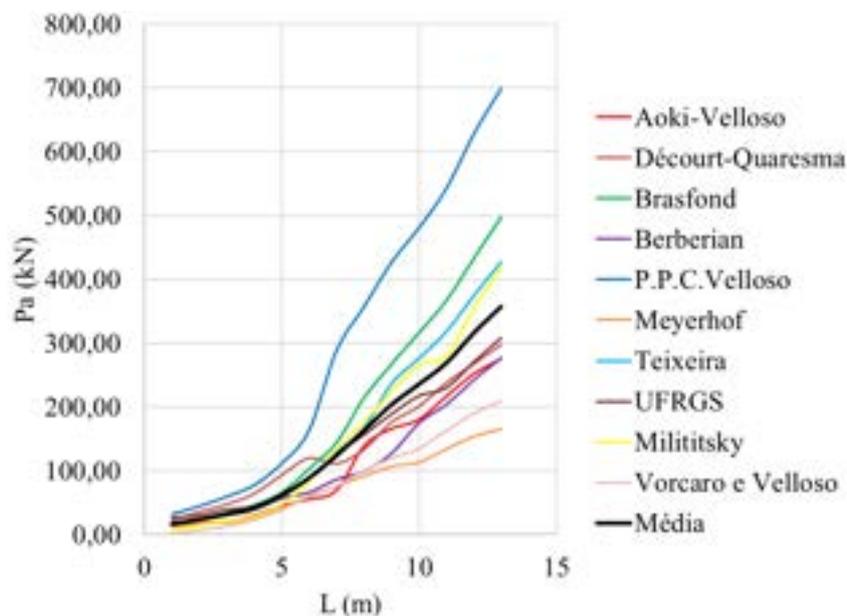
Fonte: dos autores (2021).

APÊNDICE K – Resultados para a cidade de Formiga-MG

As Figuras 1 a 10 apresentam os resultados para a cidade de Formiga para os cinco diâmetros estudados.

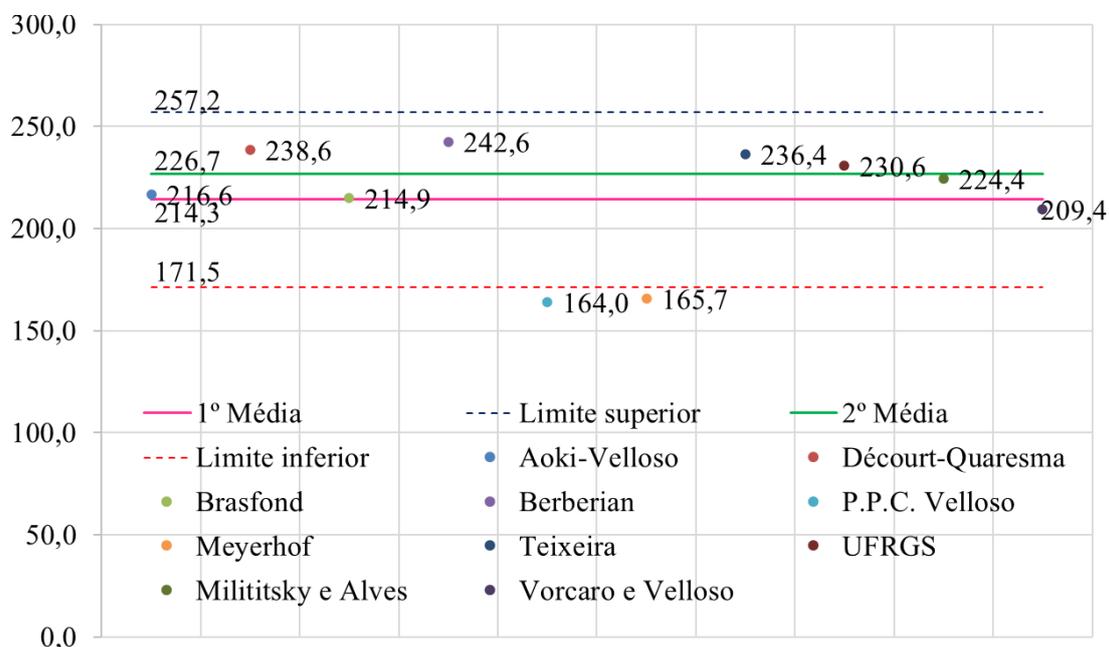
K.1 Estacas de 25 cm de diâmetro

Figura 1 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – Formiga, diâmetro de 25 cm.



Fonte: dos autores (2021).

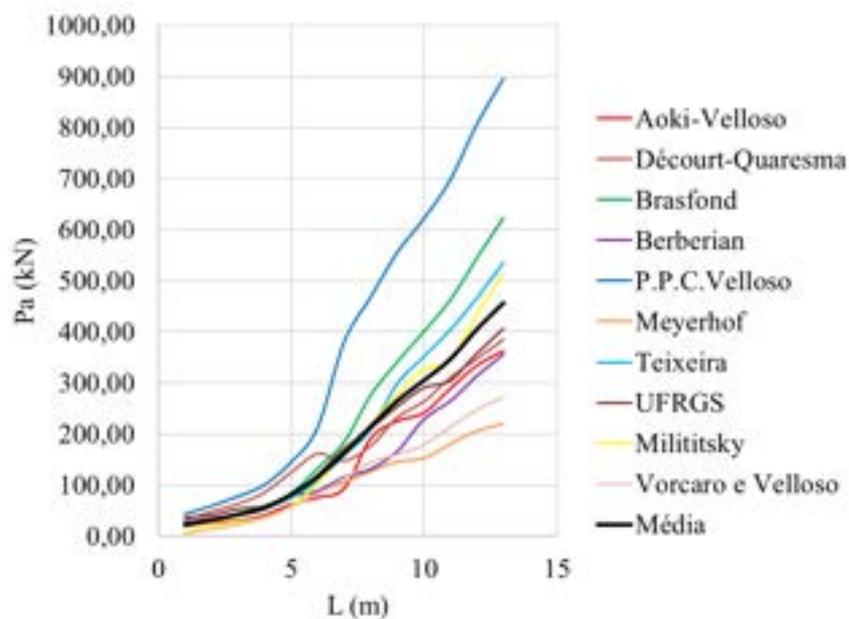
Figura 2 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Formiga com estacas de 25 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

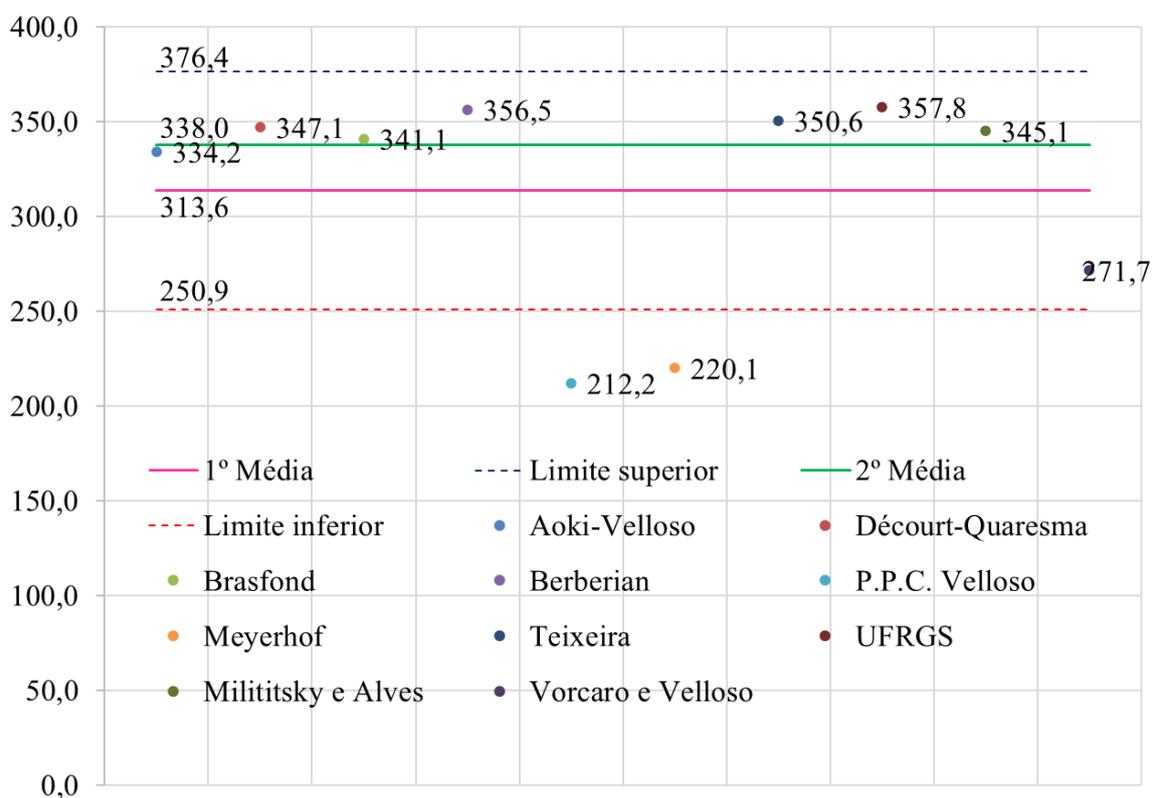
K.2 Estacas de 30 cm de diâmetro

Figura 3 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – Formiga, diâmetro de 30 cm.



Fonte: dos autores (2021).

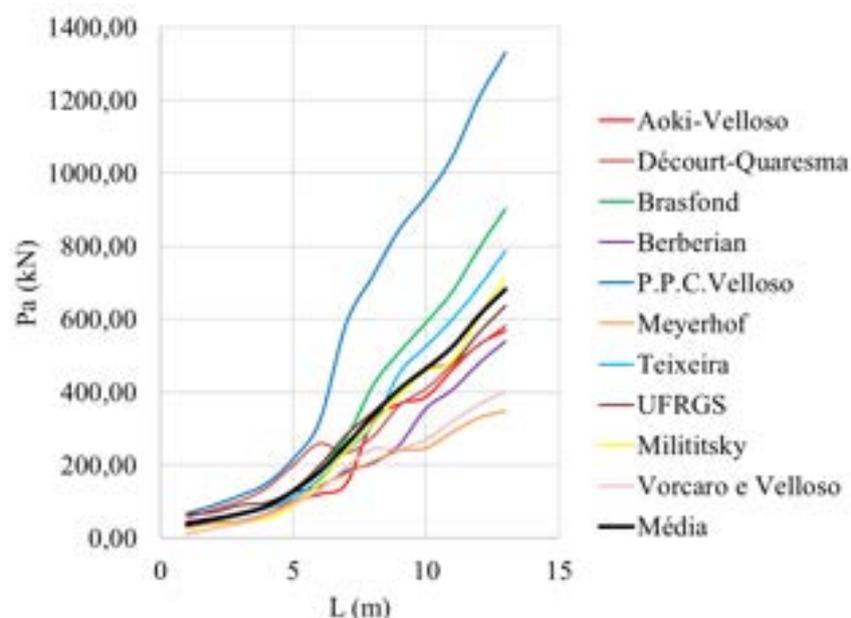
Figura 4 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Formiga com estacas de 30 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

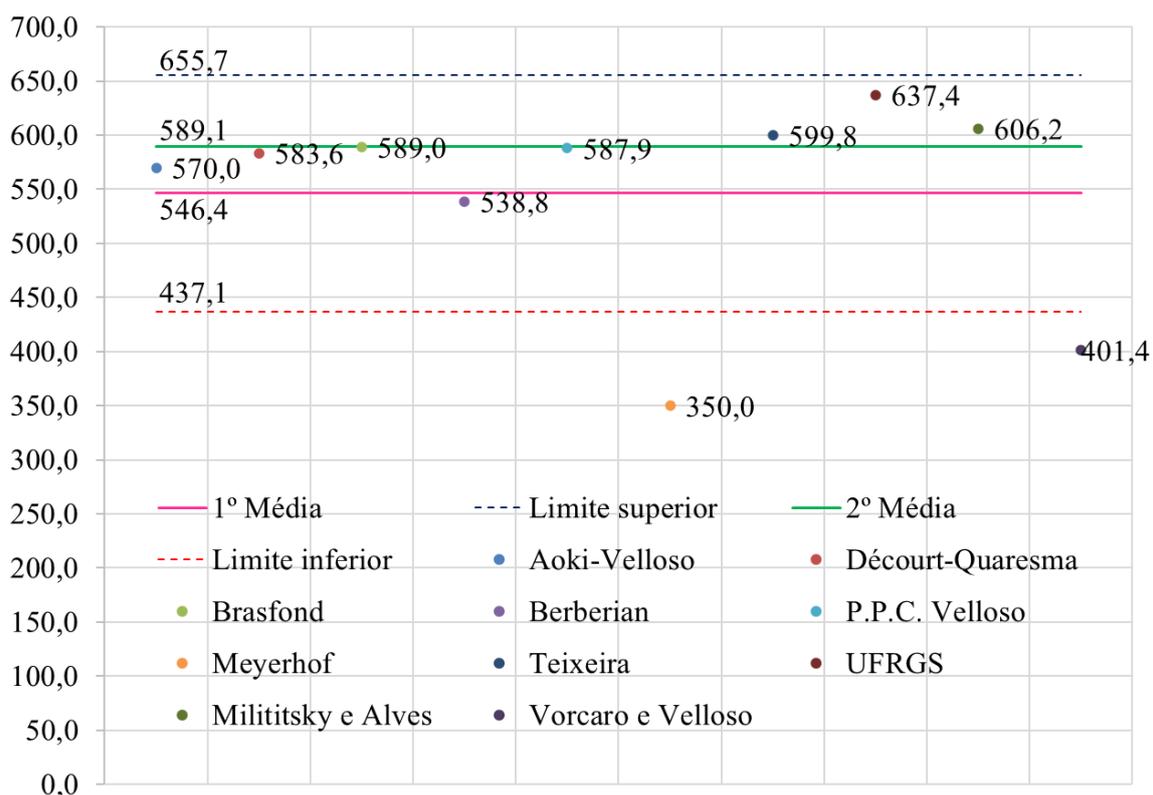
K.3 Estacas de 40 cm de diâmetro

Figura 5 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – Formiga, diâmetro de 40 cm.



Fonte: dos autores (2021).

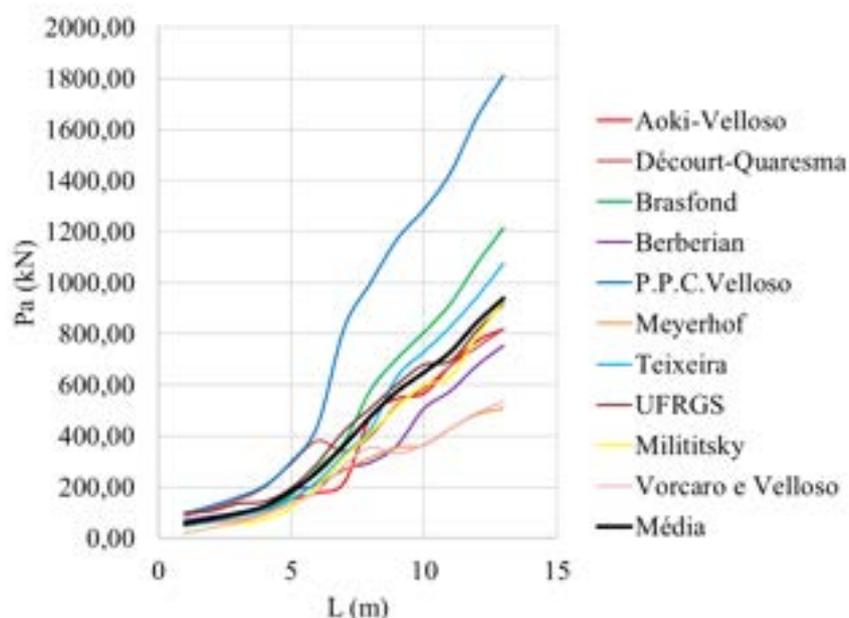
Figura 6 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Formiga com estacas de 40 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

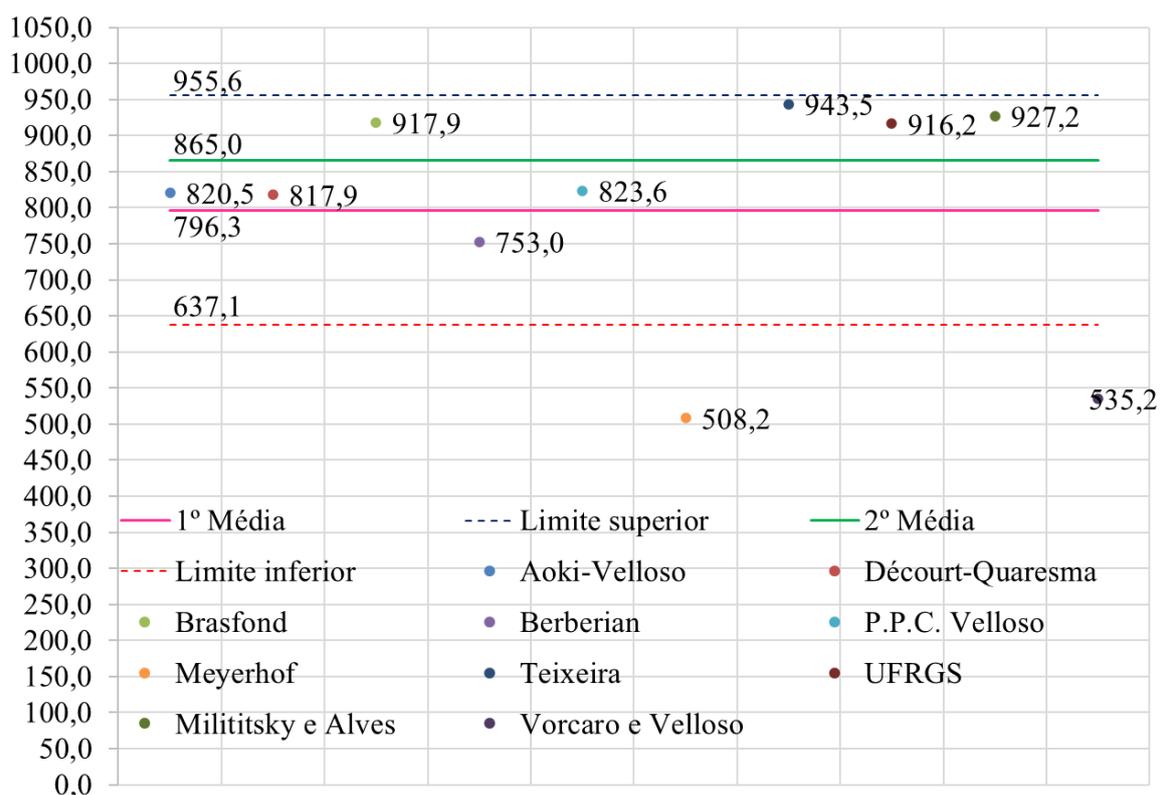
K.4 Estacas de 50 cm de diâmetro

Figura 7 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – Formiga, diâmetro de 50 cm.



Fonte: dos autores (2021).

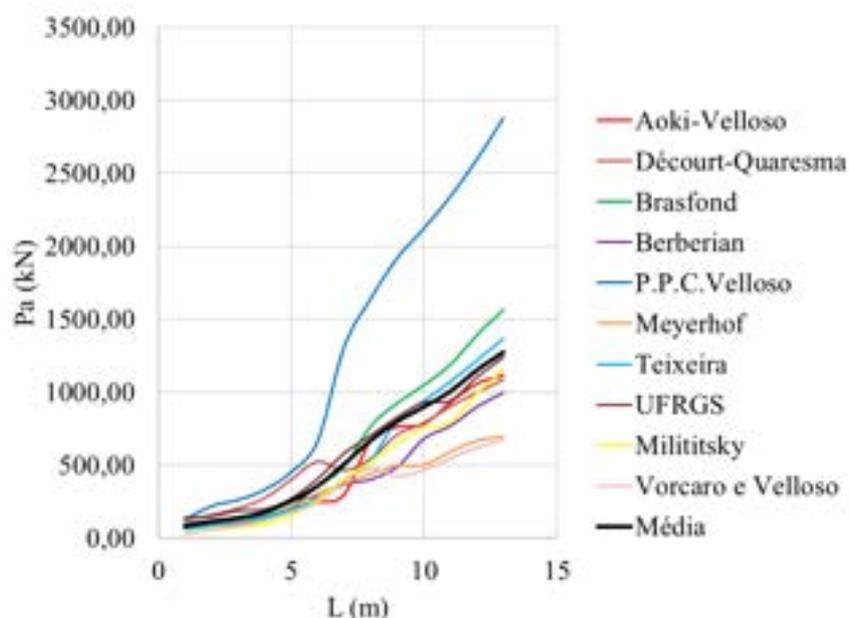
Figura 8 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Formiga com estacas de 50 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

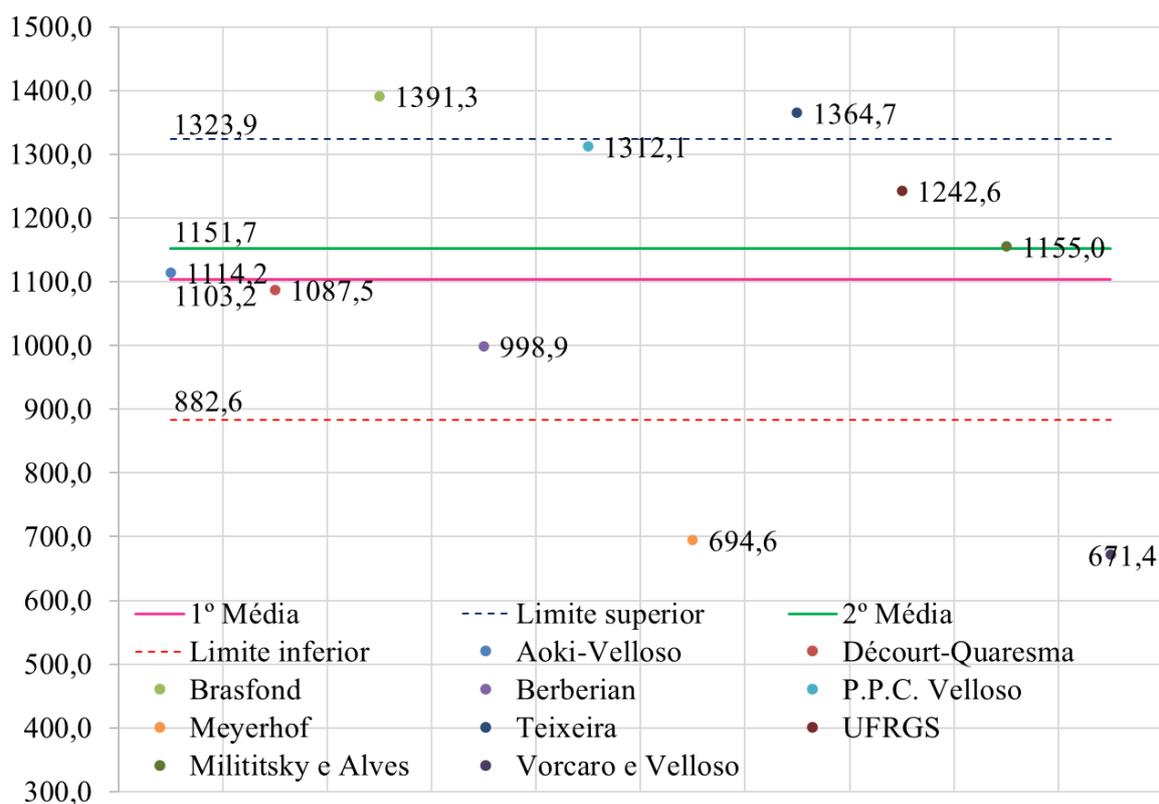
K.5 Estacas de 60 cm de diâmetro

Figura 9 – Comparativo entre as curvas de capacidade de carga x comprimento da estaca obtidos por cada um dos métodos – Formiga, diâmetro de 60 cm.



Fonte: dos autores (2021).

Figura 10 – Método estatístico da segunda média aplicado a cidade de Formiga com estacas de 60 cm de diâmetro.



Fonte: dos autores (2021).

ANEXO A - Sondagens médias das cidades analisadas.

As Tabelas 1 a 9 apresentam as sondagens médias apresentadas por Teixeira (1997) para as nove cidades aqui estudadas.

Tabela 1 – Sondagem média para a cidade de Lavras – MG.

Prof. inicial (m)	Prof. final (m)	NSPT	N.A.	Tipo de Solo
0	1	-	-	Argila arenosa mole, cor escura
1	1,8	2	-	Argila arenosa mole, cor escura
1,8	2	2	-	Argila silto arenosa, mole, avermelhada
2	3	2	-	Argila silto arenosa, mole, avermelhada
3	4	5	-	Silte argiloso arenoso (de composição de rocha), pouco a muito compacto, variegado
4	5	8	-	Silte argiloso arenoso (de composição de rocha), pouco a muito compacto, variegado
5	6	10	-	Silte argiloso arenoso (de composição de rocha), pouco a muito compacto, variegado
6	7	9	-	Silte argiloso arenoso (de composição de rocha), pouco a muito compacto, variegado
7	8	9	-	Silte argiloso arenoso (de composição de rocha), pouco a muito compacto, variegado
8	9	20	-	Silte argiloso arenoso (de composição de rocha), pouco a muito compacto, variegado
9	10	12	-	Silte argiloso arenoso (de composição de rocha), pouco a muito compacto, variegado
10	11	19	-	Silte argiloso arenoso (de composição de rocha), pouco a muito compacto, variegado
11	12	13	-	Silte argiloso arenoso (de composição de rocha), pouco a muito compacto, variegado
12	13	21	-	Silte argiloso arenoso (de composição de rocha), pouco a muito compacto, variegado
13	14	24	-	Silte argiloso arenoso (de composição de rocha), pouco a muito compacto, variegado
14	15	32	-	Silte argiloso arenoso (de composição de rocha), pouco a muito compacto, variegado

Fonte: Adaptado de Teixeira (1997).

Tabela 2 – Sondagem média para a cidade de Varginha – MG (Continua).

Prof. inicial (m)	Prof. final (m)	NSPT	N.A.	Tipo de Solo
0	1	-	-	Argila arenosa marrom, média
1	2	7	-	Argila arenosa marrom. Média
2	3	6	-	Argila arenosa com alteração de rocha, marrom com veios brancos, dura
3	4	22	-	Argila arenosa com alteração de rocha, marrom com veios brancos, dura
4	5	27	-	Silte arenoso compacto, rosa
5	6	20	-	Silte arenoso compacto, rosa
6	7	14	-	Silte arenoso compacto, rosa
7	8	18	-	Silte arenoso compacto, rosa

Tabela 2 – Sondagem média para a cidade de Varginha – MG (Conclusão).

8	9	28	-	Silte arenoso compacto, rosa
9	10	26	-	Silte arenoso compacto, rosa
10	11	29	-	Silte arenoso compacto, rosa
11	12	31	-	Silte arenoso compacto, rosa
12	13	32	-	Silte arenoso compacto, rosa
13	14	36	-	Silte arenoso compacto, rosa

Fonte: Adaptado de Teixeira (1997).

Tabela 3 – Sondagem média para a cidade de Três Corações – MG.

Prof. inicial (m)	Prof. final (m)	NSPT	N.A.	Tipo de Solo
0	1	-	-	Argila silto arenosa mole
1	2	5	-	Argila silto arenosa mole
2	3	4	-	Silte pouco arenoso medianamente compacto
3	4	5	-	Silte pouco arenoso medianamente compacto
4	5	7	-	Silte pouco arenoso medianamente compacto
5	6	5	-	Silte pouco arenoso medianamente compacto
6	7	7	-	Silte pouco arenoso medianamente compacto
7	8	8	-	Silte pouco arenoso medianamente compacto
8	9	11	-	Silte pouco arenoso medianamente compacto
9	10	15	-	Silte pouco arenoso medianamente compacto
10	11	14	-	Silte pouco arenoso medianamente compacto
11	12	12	-	Silte pouco arenoso medianamente compacto
12	13	13	-	Silte pouco arenoso medianamente compacto
13	14	13	-	Silte pouco arenoso medianamente compacto
14	15	15	-	Silte arenoso compacto
15	16	21	-	Silte arenoso compacto
16	17	28	-	Silte arenoso compacto
17	18	29	-	Areia fina siltosa
18	19	30	-	Areia fina siltosa

Fonte: Adaptado de Teixeira (1997).

Tabela 4 – Sondagem média para a cidade de Alfenas – MG.

Prof. inicial (m)	Prof. final (m)	NSPT	N.A.	Tipo de Solo
0	1	-	-	Argila marrom escuro mole
1	2	5	-	Argila marrom escuro mole
2	3	2	-	Argila marrom escuro mole
3	4	3	-	Argila arenosa marrom, rija
4	5	12	-	Argila arenosa marrom, rija
5	6	12	-	Silte arenoso medianamente compacto
6	7	14	-	Silte arenoso medianamente compacto
7	8	14	-	Silte arenoso compacto
8	9	24	-	Silte arenoso compacto
9	10	24	-	Silte arenoso compacto
10	11	26	-	Silte arenoso muito compacto
11	12	31	-	Silte arenoso muito compacto

Fonte: Adaptado de Teixeira (1997).

Tabela 5 – Sondagem média para a cidade de Três Pontas – MG.

Prof. inicial (m)	Prof. final (m)	NSPT	N.A.	Tipo de Solo
0	1	-	-	Argila pouco siltosa, mole a média
1	2	3	-	Argila pouco siltosa, mole a média
2	3	3	-	Argila pouco siltosa, mole a média
3	4	3	-	Argila pouco siltosa, mole a média
4	5	4	-	Argila pouco siltosa, mole a média
5	6	4	5 m	Argila pouco siltosa, mole a média
6	7	5	-	Argila pouco siltosa, mole a média
7	8	6	-	Argila pouco siltosa, rija
8	9	10	-	Argila silto- arenosa, muito rija
9	10	24	-	Argila silto- arenosa, muito rija
10	11	29	-	Argila silto-arenosa turfosa
11	12	39	-	Argila silto-arenosa, dura
12	13	53	-	Argila silto-arenosa, dura

Fonte: Adaptado de Teixeira (1997).

Tabela 6 – Sondagem média para a cidade de São Sebastião do Paraíso– MG.

Prof. inicial (m)	Prof. final (m)	NSPT	N.A.	Tipo de Solo
0	1	-	-	Silte argiloso, mole
1	2	3	-	Silte argiloso, mole
2	3	3	-	Silte argiloso, mole
3	4	1	-	Silte argiloso, mole
4	5	1	-	Silte argiloso, mole
5	6	3	-	Silte argiloso, mole
6	7	4	-	Silte argilo-arenoso, mole a rijo
7	8	4	-	Silte argilo-arenoso, mole a rijo
8	9	11	-	Silte argilo-arenoso, mole a rijo
9	10	13	-	Silte argilo-arenoso, rijo a duro
10	11	16	-	Areia fina siltosa, medianamente compacta
11	12	18	11,8m	Areia fina siltosa, medianamente compacta
12	13	18	-	Areia fina siltosa, medianamente compacta
13	14	25	-	Silte argiloso, rijo a duro
14	15	31	-	Silte argiloso, rijo a duro

Fonte: Adaptado de Teixeira (1997).

Tabela 7 – Sondagem média para a cidade de Formiga– MG (Continua).

Prof. inicial (m)	Prof. final (m)	NSPT	N.A.	Tipo de Solo
0	1	-	-	Argila silto-arenosa, mole a rija
1	2	4	-	Argila silto-arenosa, mole a rija
2	3	4	-	Argila silto-arenosa, mole a rija
3	4	5	-	Argila silto-arenosa, mole a rija
4	5	5	-	Argila silto-arenosa, mole a rija
5	6	7	-	Argila silto-arenosa, mole a rija
6	7	11	-	Argila silto-arenosa, mole a rija

Tabela 7 – Sondagem média para a cidade de Formiga– MG (Conclusão).

7	8	16	-	Silte argilo- arenoso, compacto a muito compacto
8	9	19	-	Silte argilo- arenoso, compacto a muito compacto
9	10	22	-	Silte arenoso, compacto a muito compacto
10	11	24	-	Silte arenoso, compacto a muito compacto
11	12	23	-	Silte arenoso, compacto a muito compacto
12	13	27	-	Silte arenoso, compacto a muito compacto
13	14	30	-	Silte argiloso, muito compacto

Fonte: Adaptado de Teixeira (1997).

Tabela 8 – Sondagem média para a cidade de Guaxupé– MG.

Prof. inicial (m)	Prof. final (m)	NSPT	N.A.	Tipo de Solo
0	1	-	-	Argila siltosa, mole
1	2	1/40	-	Argila silto arenosa, mole a média
2	3	1/40	-	Argilo silto arenosa, mole a média
3	4	3	-	Argilo silto arenosa, mole a média
4	5	4	-	Argilo silto arenosa, mole a média
5	6	5	-	Argilo silto arenosa, mole a média
6	7	4	-	Argila silto arenosa, média a rija
7	8	6	-	Argila silto arenosa, média a rija
8	9	7	-	Argila siltosa, rija
9	10	11	-	Argila siltosa, rija
10	11	12	-	Argila siltosa, rija
11	12	10	-	Argila siltosa, rija
12	13	15	13,0m	Argila siltosa, rija
13	14	10	-	Argila siltosa, rija
14	15	14	-	Argila siltosa plástica, rija a dura
15	16	22	-	Argila siltosa plástica, rija a dura
16	17	22	-	Argila siltosa plástica, rija a dura
17	18	27	-	Argila siltosa plástica, rija a dura

Fonte: Adaptado de Teixeira (1997).

Tabela 9 – Sondagem média para a cidade de Machado– MG (Continua).

Prof. inicial (m)	Prof. final (m)	NSPT	N.A.	Tipo de Solo
0	1	-	-	Argila siltosa, mole a média
1	2	2	-	Argila siltosa, mole a média
2	3	2	-	Argila siltosa, mole a média
3	4	3	-	Argila siltosa, mole a média
4	5	6	-	Argila siltosa, mole a média
5	6	6	-	Argila siltosa, mole a média
6	7	7	-	Argila, média a rija
7	8	12	-	Argila, média a rija
8	9	14	-	Argila, rija a dura
9	10	14	-	Argila, rija a dura
10	11	17	-	Argila, rija a dura
11	12	18	-	Argila, rija a dura
12	13	18	-	Argila, rija a dura

Tabela 9 – Sondagem média para a cidade de Machado– MG (Conclusão).

13	14	17	-	Argila, rija a dura
14	15	17	-	Argila, rija a dura
15	16	24	-	Argila, rija a dura

Fonte: Adaptado de Teixeira (1997).