

INFLUENCE OF INTERACTION SOIL-STRUCTURE ON SMALL SIZE BUILDINGS.

INFLUÊNCIA DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA EM EDIFICAÇÕES DE PEQUENO PORTE

INFLUENCIA DE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN PEQUEÑAS EDIFICACIONES

Cyrlene Andressa do N. Santos¹

Thais Cristina de Sousa Ribeiro²

Paulo Ricardo Alves dos Reis Santos³

Wdyelle Elcine de Carvalho Matos⁴

Jefferson de Brito Sousa⁵

Patricia da Silva Lima⁶

DESCRIPTORS

Soil-Structure Interaction

DESCRITORES

Undesirable

DESCRIPTORES

Structural Analysis

ABSTRACT:

The design engineers, when sizing a structure, consider that it is under undeniable support, disregarding in some way the repression suffered by the earth massif. The Soil-Structure Interaction (ISE) aims at the most realistic structure sizing, because in this method the structure follows the earth mass displacement. Studies related to the proposed theme show that ISE-sized structures present a more realistic behavior. Given this assumption the present work aims to show clearly and succinctly that the use of ISE influences the sizing of structures, with the aim of performing sizing of a theoretical structure through unsupported supports and use of discrete springs through software and thus compare the results concerning foundation loads, displacement and bending moments in the overall structure analysis as well as changes in the base area of the foundation elements. The design of the theoretical model generated satisfactory and sufficient results to prove that the use of ISE influences the design of small structures, and its consideration is necessary to obtain more realistic structures.

RESUMO:

Os engenheiros projetistas ao dimensionar uma estrutura consideram que esta se encontra sob apoios indesejáveis, desprezando de certa maneira os recalques sofridos pelo maciço de terra. A interação Solo-Estrutura (ISE) tem como objetivo o dimensionamento de estrutura mais reais, pois neste método a estrutura acompanha o deslocamento do maciço de terra. Estudos referentes ao tema proposto mostram que estruturas dimensionadas através da ISE apresentam um comportamento mais realístico. Diante deste pressuposto o presente trabalho pretende mostrar de forma clara e sucinta que o uso da ISE tem influência no dimensionamento de estruturas, com o objetivo de realizar dimensionamento de uma estrutura teórica através de apoios indesejáveis e modelo de Winkler e assim comparar os resultados referentes às cargas nas fundações, deslocamento e momentos fletores na análise global da estrutura bem como as alterações na área da base dos elementos de fundação. O dimensionamento do modelo teórico gerou resultados satisfatórios e suficientes para comprovar que o uso da ISE influencia no dimensionamento de estruturas de pequeno porte, sendo necessária sua consideração para obtenção de modelos estruturais que mais se aproximem do real comportamento da estrutura.

RESUMEN:

Los ingenieros proyectistas, al dimensionar una estructura, consideran que se encuentra bajo apoyos indesplazables, ignorando, en cierto modo, los asentamientos que sufre la masa terrestre. La Interacción Suelo-Estructura (ISE) tiene como objetivo diseñar estructuras más reales, porque en este método la estructura sigue el desplazamiento de la masa terrestre. Los estudios referentes al tema propuesto muestran que las estructuras dimensionadas a través de ISE presentan un comportamiento más realista. Dado este supuesto, el presente trabajo pretende mostrar de manera clara y sucinta que el uso del ISE influye en el diseño de estructuras, con el objetivo de realizar el diseño de una estructura teórica a través de apoyos no desplazables y el modelo de Winkler y así comparar los resultados en cuanto a las cargas de cimentación, desplazamientos y momentos fletores en el análisis global de la estructura así como cambios en el área base de los elementos de cimentación. El dimensionamiento del modelo teórico generó resultados satisfactorios y suficientes para demostrar que el uso de ISE influye en el dimensionamiento de estructuras pequeñas, siendo necesario su consideración para obtener modelos estructurales más cercanos al comportamiento real de la estructura.

¹ Engenharia Civil. Centro Universitário de Ciência e Tecnologia do Maranhão Caxias, Maranhão Brasil. cyrlenesantos20@gmail.com

² Discente do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil. Centro Universitário de Ciência e Tecnologia do Maranhão Caxias, Maranhão Brasil.

³ Engenheiro Civil. Docente do Curso de Engenharia Civil. Mestre em Engenharia de Materiais pelo Instituto Federal do Piauí - IFPI. Centro Universitário de Ciência e Tecnologia do Maranhão - UNIFACEMA. Caxias, Maranhão -Brasil E-mail: pauloricardo.ars@gmail.com.

⁴ Engenheira Civil. Docente do Curso de Engenharia Civil. Mestre em Engenharia de Materiais -IFPI. Centro Universitário de Ciência e Tecnologia do Maranhão - UNIFACEMA. Caxias, Maranhão -Brasil E-mail: wdyelle.matos@unifacema.edu.br

⁵ Docente do Curso de Engenharia Civil. Mestre em Matemática - UFPI. Centro Universitário de Ciência e Tecnologia do Maranhão - UNIFACEMA. Caxias, Maranhão -Brasil E-mail: jefferson.brito@unifacema.edu.br

⁶ Engenheira Civil. Docente do Curso de Engenharia Civil. Profª Esp. Auxiliar. Centro Universitário de Ciência e Tecnologia do Maranhão - UNIFACEMA, Caxias-MA, E-mail: patriciacxp@gmail.com

1. INTRODUÇÃO/CONSIDERAÇÕES INICIAIS



O uso de apoios rígidos para o cálculo das solicitações em uma estrutura é algo costumeiramente utilizado pelos engenheiros estruturais para determinação dos esforços solicitantes¹⁴. Esse tipo de estrutura, por sua vez, é dimensionada considerando que seus elementos trabalham independentes entre si formando sistemas isolados, porém na prática toda estrutura trabalha em conjunto de maneira interativa.

Vários modelos já foram criados para representar a realidade destes cálculos¹⁴. Entretanto, esta técnica não é muito utilizada pelos engenheiros calculistas, sendo mais aplicada em estruturas de grande porte ou em casos que a estrutura não apresente resultados convenientes quando calculadas pelo método tradicional ou ainda quando se deseja resultados mais realísticos. A falta de interação entre o profissional projetista e o engenheiro de fundações acaba ocasionando dimensionamentos incertos, pois a medida que o projetista calculista dimensiona a superestrutura de maneira a considerar que a estrutura se encontra apoiada sob apoios indeslocáveis, ignora a deformabilidade do maciço de terra que segundo Velloso e Lopes (2011)²⁹, sempre sofre recalques.

Diante deste conhecimento é importante e relevante a consideração de métodos que utilizam de interação entre toda a estrutura e o solo de fundação, para o dimensionamento dos elementos estruturais. A partir disso, o presente trabalho, consistiu em analisar

a importância de considerar a ISE em projetos estruturais, a fim de demonstrar que a não consideração de uma ISE pode acabar ocasionando danos nas estruturas, que vão desde pequenas deformações até mesmo à ruptura, em casos que o solo de fundação não se comporta conforme o previsto.

Sendo assim a presente pesquisa tem como objetivo o dimensionamento de uma estrutura teórica com o uso do software denominado Eberick 2019 versão plena, considerando apoios rígidos e a ISE sobre solos distintos de maneira a demonstrar a influência do uso da ISE. O estudo foi realizado através de dimensionamento a partir de um modelo teórico sobre sapatas utilizando-se de apoios indeslocáveis e de apoios deslocáveis gerando assim a interação solo estrutura, onde foram comparados os resultados relacionados à carga na fundação, a análise do comportamento estrutural global em relação ao momento fletor e deslocamento e por fim analisou-se que mesmo em edificações de pequeno porte, o uso da ISE é importante para melhores resultados e para obtenção de estruturas mais otimizadas.

2. METODOLOGIA



Trata-se de uma documentação direta com pesquisa em campo, baseando-se em uma abordagem quantitativa e qualitativa. Desta maneira a pesquisa consistiu na elaboração de um modelo teórico através do uso de softwares com o intuito de simular uma estrutura realística de uma edificação de pequeno porte assentada sobre sapatas e foi verificado o comportamento desta através de dois métodos distintos de cálculo, que

consistem na consideração de uma estrutura sobre apoios indeslocáveis desconsiderando o deslocamento do maciço de terra e o método que considera esse deslocamento gerando uma interação entre o solo e a estrutura, sendo realizada uma comparação dos resultados obtidos.

O objeto de estudo consistiu na elaboração de um modelo teórico, simulando uma edificação residencial de pequeno porte, onde foi previsto o térreo, 2 pavimentos tipo e cobertura, possuindo 3 m de pé-esquerdo. O modelo estrutural ficou definido em 36 vigas com altura de 40 cm e largura de 14 cm, 12 pilares sendo com dimensões de 15 cm x 30 cm, 21 lajes com espessura de 8 cm e 12 fundações do tipo sapata cujo suas dimensões definidas a partir do dimensionamento da estrutura, assentado em dois tipos de solos com propriedades distintas, que foi adquirido através de um estudo sobre análise dos perfis de sondagem SPT em Caxias-MA realizado por Santos et al (2017)²³ e por um estudo de sondagem SPT em Palma-TO realizado por Castro et al (2016)⁷ onde foi adotado um solo com SPT de 12 golpes em um solo com a característica de uma Argila Siltosa pouco arenosa de cor marrom mediantemente compactada, SPT de 8 golpes em um solo composto por argila pouco arenosa de cor vermelha Para o dimensionamento da estrutura tomou-se por base as diretrizes constantes na ABNT NBR 6118 (2014), definindo-se que o tipo de aço a ser utilizado foi o CA - 50, o concreto com fck de 20 MPa, adotou-se que a estrutura estaria inserida em uma localidade que

possui classe II de agressividade. A Figura 3 demonstra o pavimento tipo e a Figura 4 o pórtico espacial em 3D da estrutura, idealizada conforme as especificações citadas.

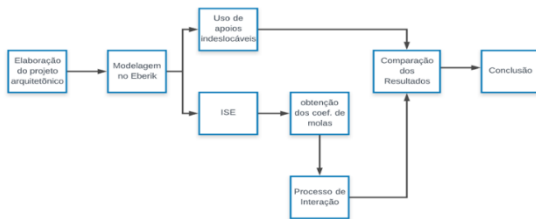
No Programa Eberick 2019 versão plena, foi realizada a modelagem da edificação a ser estudada, inserindo-se a arquitetura, fazendo-se sobre ela o lançamento e modelagem da estrutura, com todas as suas dimensões. Em seguida alimentou-se o programa com os dados referentes às características da estrutura, como o fck do concreto, a classe de agressividade, características do solo (tensão admissível).

Após todos os dados inseridos, foi feita a escolha do tipo de apoio sendo selecionado então o apoio fixo, pois este configura o modelo que não considera a deformação do solo, em seguida o programa processou e efetuou todos os cálculos necessários para obtenção das dimensões das sapatas bem como todos os esforços atuantes na estrutura.

Com a modelagem já pronta, e todos os dados necessários inseridos, foi-se realizada a obtenção dos dados referentes aos coeficientes de molas do solo para gerar a interação, em seguida com os valores já obtidos criou-se uma planilha no Microsoft Excel para organização dos resultados e em seguida realizou-se mais uma obtenção de coeficientes para uma nova iteração. Esse processo foi repetido até que os valores das dimensões da base da sapata não se alterassem, finalizando assim o processo da ISE.

O fluxograma mostrado na Figura 1 mostra de maneira clara e resumida o passo a passo para a obtenção dos resultados.

Figura 1. Fluxograma das atividades.



Fonte: Autores,2019.

3. RESULTADOS

Os resultados aqui apresentados consistiram na análise dos esforços nas fundações, dimensões e área das sapatas, deslocamentos e a distribuição dos momentos fletores na estrutura. Para a aplicação dos resultados foram utilizados 2 tipos de solos distintos para assim fazer uma comparação final dos resultados e estes foram dispostos separadamente. Os valores adquiridos nesse trabalho consistiram nos resultados referentes à última iteração, para assim realizar uma comparação mais simplificada e de fácil entendimento.

3.1. ESTUDO DE CASO 1

Para o primeiro caso foi considerado um solo com a característica de uma Argila Silteosa pouco arenosa de cor marrom mediamente compactada, que foi adquirida através de um estudo sobre análise dos perfis de sondagem SPT em Caxias-MA realizado por Santos et al (2017)²³ cujo o SPT correspondeu a 12 golpes nos últimos 30 cm gerando uma tensão admissível de 2,4 kgf/cm². No caso 1 foram necessárias apenas 3 iterações, para a obtenção dos valores relativos às dimensões da base da sapata, carga nas fundações,

deslocamento e momentos globais da estrutura visto que as iterações se cessaram após haver convergência dos valores relativos às dimensões dos elementos de fundações. Os valores apresentados foram os obtidos através do dimensionamento do modelo teórico tanto pelo método convencional como pelo uso da ISE. Os valores referentes ao uso da ISE são relacionados à última iteração.

3.1.1. Análise das cargas nas fundações

A Tabela 1 mostra os valores das cargas nas fundações, sendo estes valores obtidos pelo método convencional (indeslocável) e através da ISE. Os resultados apresentados estão dispostos de maneira a apresentar a diferença em porcentagem dos valores para maior clareza, em que os valores com sinal negativo representam a redução da carga devido à ISE e os positivos acréscimos de carga.

Tabela 1: Análise das cargas horizontais e verticais nas fundações

SAPATAS	CARGA (tf) sem ISE	CARGA (tf) com ISE	DIFERENÇA (%)
S1	16,79	17,02	1,37
S2	21,13	20,29	-3,98
S3	18,54	19,12	3,13
S4	23,66	23,13	-2,24
S5	38,88	37,74	-2,93
S6	14,56	14,16	-2,75
S7	30,64	28,94	-5,55
S8	14,1	12,62	-10,5
S9	15,08	14,86	-1,46
S10	27,46	26	-5,32
S11	27	26,56	-1,63
S12	20,67	20,35	-1,55

Fonte: Autores,2019.

Em relação aos resultados pôde-se constatar que houve um aumento de cargas em apenas duas sapatas chegando a 3,13% na S3. Ocorreram reduções nos esforços das demais sapatas, chegando a 10,50% na sapata S8. Os valores apresentados só aumentam a afirmativa de que a interação solo-estrutura gera uma modelagem mais realista, apresentado valores

de cargas que mais se aproximam do comportamento verdadeiro da estrutura, pois há a ocorrência da redistribuição dos esforços quando se considera a capacidade de deformação do solo no processo de dimensionamento das estruturas. Os resultados apresentados, possivelmente comprovam que a não consideração do uso da ISE ao dimensionar estruturas, geram para estrutura carregamentos que não são a realidade de seu comportamento, que levam a problemas estruturais como, por exemplo, o superdimensionamento de elementos estruturais e subdimensionamento que em alguns casos leva a estrutura ao colapso.

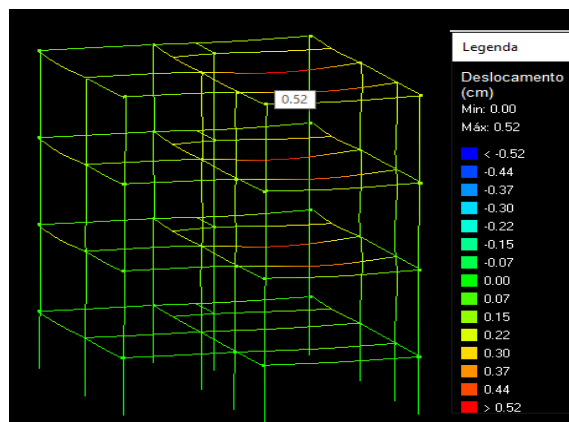
3.1.2. Análise dos deslocamentos na estrutura

As Figuras 2 e 3 respectivamente demonstram o deslocamento da estrutura para os dois casos, onde percebe-se um aumento quando houve interação. O valor de deslocamento destacado refere-se ao valor máximo frente a todos os valores de deslocamento gerados no pórtico unifilar.

Ao observar e comparar os resultados notou-se uma variação de 0,52cm no modelo indeslocável e 0,87cm na consideração da ISE, na viga V5 no terceiro pavimento, gerando um aumento de 40,22%. Esse deslocamento ocorre devido ao recalque sofrido pelo solo, pois quando há a consideração da interação solo-estrutura, admite-se o deslocamento do maciço de terra em que a estrutura está assentada, pois na ISE os recalques são previstos, sendo justificado o fato ao que Velloso e Lopes (2011)²⁹ afirmam sobre que os solos são deslocáveis, ou seja, sempre sofrem recalques. Outra possível justificativa para o

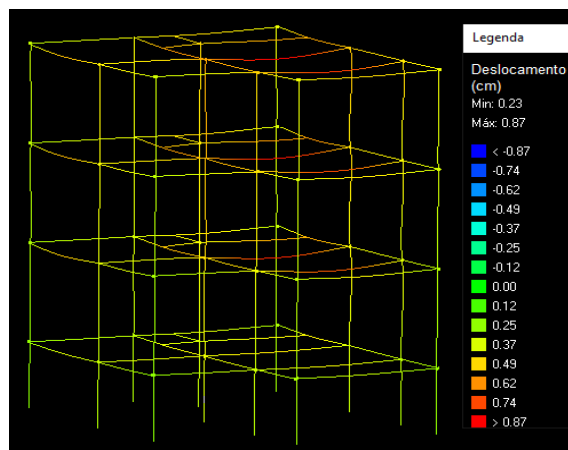
aumento do deslocamento é a diminuição das dimensões das fundações, o que acaba diminuindo assim a rigidez da estrutura.

Figura 2. Análise dos deslocamentos sem ISE



Fonte: Autores,2019.

Figura 3. Análise dos deslocamentos com ISE



Fonte: Autores,2019.

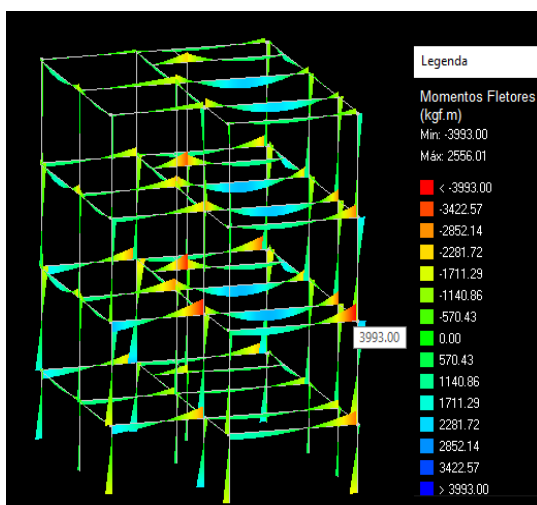
A redistribuição dos esforços, gerado pelo deslocamento ocorre por que, quando há a substituição de uma infraestrutura rígida por uma flexível e o maciço de solo subjacente, os deslocamentos tendem a serem maiores por conta dos recalques¹⁴, sendo estes deslocamentos são responsáveis pela redistribuição dos esforços¹⁸ e Jordão (2003)¹⁶ cita que estas redistribuições, podem acabar gerando danos nos elementos estruturais devido o acréscimo de cargas não previstas. Diante disto o uso da ISE busca a realização e um dimensionamento que preveja a deformabilidade da estrutura sem gerar danos irreversíveis.

3.1.3. Análise dos momentos fletores na estrutura

As Figuras 4 e 5 mostram respectivamente o comportamento estrutural devido aos momentos fletores com apoios indeslocáveis e com a consideração da interação solo-estrutura. Os esforços sofridos na estrutura variaram tendo como valores de mínimo para estrutura indeslocável e deslocável respectivamente -3.993 kgf.m e -4.062,63 na vinculação V2 e V3 no pilar P9 apresentando uma diferença de 1,71% e os valores de máximos ocorrendo na viga V5 variando de 2.556,01 kgf.m e 2.623,42 kgf.m, com uma diferença de 2,56%.

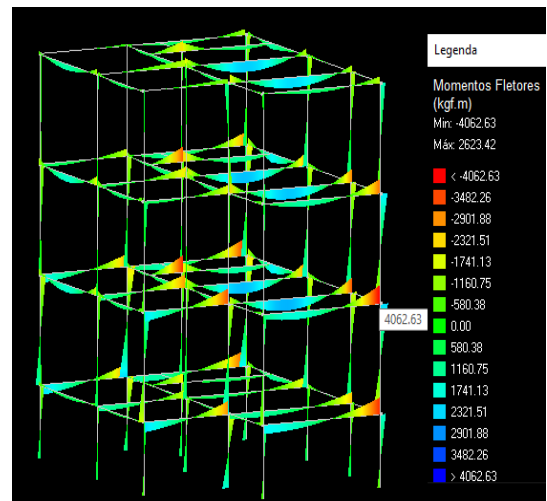
O acréscimo de momento sofrido pela estrutura explica-se pelo aumento dos deslocamentos que a estrutura sofreu devido seu dimensionamento através da interação solo-estrutura. O que justifica o aumento dos momentos em toda a estrutura, sendo que os deslocamentos e esforços internos se tornam mais reais²⁹.

Figura 4. Análise dos momentos fletores sem ISE



Fonte: Autores,2019.

Figura 5. Análise dos momentos fletores com ISE



Fonte: Autores,2019.

3.1.4. Análise da área da base dos elementos de fundações

A Tabela 2 mostra claramente as dimensões da base das sapatas e suas respectivas áreas antes e depois da interação. A partir desses resultados nota-se que todas as sapatas tiveram suas dimensões reduzidas, quando toda a estrutura foi submetida à interação solo-estrutura, ocasionando assim uma otimização dos elementos. Nota-se ainda que as sapatas S1 e S3 tiveram uma redução de suas dimensões, apesar de seu carregamento ter aumentado quando houve a consideração da ISE. Tais resultados levam a perceber que o aumento de carga nesses elementos de fundações, não foram tão significativos a ponto de gerar um aumento nas dimensões da base das sapatas.

Tabela 2: Dimensões das Sapatas e suas diferenças

SAPATAS	SEM ISE		COM ISE		DIFERENÇA (%)	
	DIMENSÕES (cm)		DIMENSÕES (cm)			
	A	B	A	B		
S1	95	110	90	105	9450	-9,57
S2	100	115	95	110	10450	-9,13
S3	100	115	95	110	10450	-9,13
S4	105	120	100	115	11500	-8,73
S5	130	145	125	140	17500	-7,16

S6	95	110	10450	80	95	7600	-27,27
S7	120	135	16200	115	130	14950	-7,72
S8	90	105	9450	75	90	6750	-28,57
S9	95	110	10450	85	100	8500	-18,66
S10	110	125	13750	105	120	12600	-8,36
S11	110	125	13750	105	120	12600	-8,36
S12	100	115	11500	95	110	10450	-9,13

Fonte: Autores,2019.

Os dados apresentados na Tabela 3 mostram que o uso da ISE influenciou nas dimensões das sapatas, resultando em peças com menores dimensões. Através da área pôde-se obter uma diferença em porcentagem de maneira a se ter uma melhor visualização dos resultados podendo-se ressaltar que as diferenças variaram de 7,16% na sapata S5 a 28,57% na sapata S8.

Diante dos resultados obtidos mesmo com a redistribuição dos esforços nas sapatas devido a interação, estas tiveram uma redução da sua área, o que só justifica o que Velloso e Lopes (2011)²⁹ afirmaram sobre dimensionamentos mais reais em que apesar de utilizar-se de modelos hipotéticos estes se aproximam bastante do comportamento real da estrutura. A redução das dimensões da base da sapata, possivelmente está associada ao fato de que a ISE prevê os deslocamentos do maciço de terra, gerando um dimensionamento mais preciso, e isso traz benefícios como por exemplo redução de custos.

3.2. ESTUDO DE CASO 2

O segundo caso apresentado consistiu na utilização de um solo considerado como mediano com característica de um solo composto por argila pouco arenosa na cor vermelha com consistência mole, adquirido através de um estudo de sondagem SPT em Palma-TO realizado por Castro et al (2016)⁷, cujo o SPT correspondeu a 8 golpes nos

últimos 30 cm, resultando assim em uma tensão admissível de 1,6 kgf/cm².

Para este segundo caso foram necessárias 7 interações para que se atingisse uma convergência dos valores referentes às dimensões dos elementos de fundações. Os valores analisados foram dispostos separadamente de maneira a se ter um melhor entendimento das diferenças entre os valores com e sem a consideração da interação solo-estrutura, em que estes estão dispostos de acordo com a última interação.

3.2.1. Análise das cargas nas fundações

A Tabela 3 mostra os valores das cargas nas fundações, tanto pelo método convencional (indeslocável) como por ISE. Os resultados apresentados estão dispostos de maneira a apresentar a diferença em porcentagem dos valores para maior clareza.

Em relação aos resultados pôde-se constatar que houve um aumento de carga em apenas duas sapatas sendo elas a S3 que caracteriza-se como uma sapata de canto e S11 de extremidade chegando a gerar um aumento de 0,73% na S11. Já nas demais sapatas houve uma redução das cargas, chegando a 5,80% na sapata S7, designada como uma sapata intermediária.

Assim, com os valores adquiridos, pode-se afirmar que devido a interação solo estrutura, chegou-se a uma melhor redistribuição das cargas de maneira a se obter um dimensionamento mais real e por consequência estrutura mais otimizada.

Tabela 3: Análise das cargas horizontais e verticais nas fundações

SAPATAS	CARGA (tf) sem ISE	CARGA (tf) com ISE	DIFERENÇA (%)
S1	18,75	18,72	-0,16
S2	23,32	22,31	-4,33
S3	20,62	20,7	0,39
S4	25,88	25,08	-3,09
S5	42,73	42,67	-0,14
S6	16,03	15,65	-2,37
S7	33,63	31,68	-5,8
S8	15,89	14,98	-5,73
S9	16,55	16,42	-0,79
S10	30,23	28,86	-4,53
S11	29,95	30,17	0,73
S12	22,84	22,03	-3,55

Fonte: Autores,2019.

Em relação aos resultados pôde-se constatar que houve um aumento de carga em apenas duas sapatas sendo elas a S3 que se caracteriza como uma sapata de canto e S11 de extremidade chegando a gerar um aumento de 0,73% na S11. Já nas demais sapatas houve uma redução das cargas, chegando a 5,80% na sapata S7, designada como uma sapata intermediária.

Assim, com os valores adquiridos, pode-se afirmar que devido a interação solo estrutura, chegou-se a uma melhor redistribuição das cargas de maneira a se obter um dimensionamento mais real e por consequência estrutura mais otimizada.

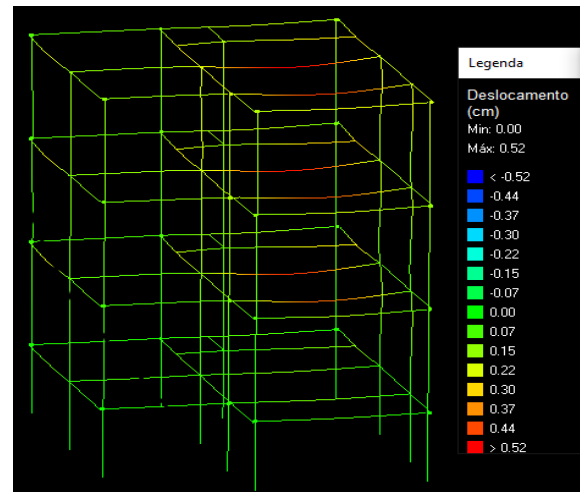
3.2.2. Análise dos deslocamentos na estrutura

As Figuras 6 e 7 mostram respectivamente o deslocamento ocorrido na estrutura para os dois casos em questão, onde pôde-se perceber um aumento quando a mesma é dimensionada através da interação solo-estrutura. Os valores obtidos relacionam-se a uma análise global da estrutura.

As Figuras apresentadas mostram que houve um deslocamento na estrutura, marcando um pico máximo na viga V6

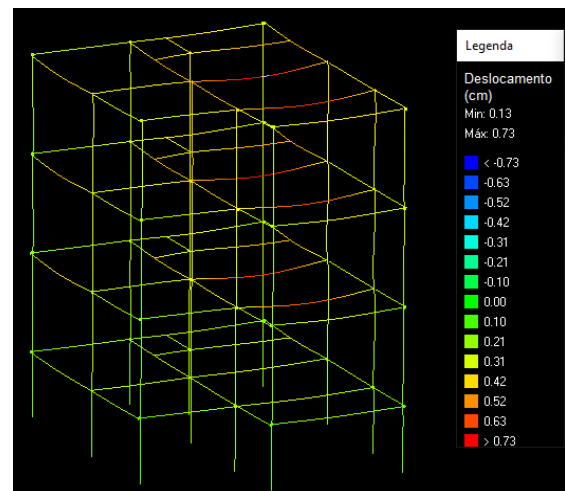
localizada no terceiro pavimento variando de 0,52cm no modelo indeslocável e 0,73cm na consideração da interação ente o solo e a estrutura, ocasionando assim uma diferença de 28,76%. Essa diferença se dá por conta do recalque sofrido pela estrutura devido ao deslocamento do maciço de terra.

Figura 6. Análise dos deslocamentos sem ISE



Fonte: Autores,2019.

Figura 7. Análise dos deslocamentos com ISE



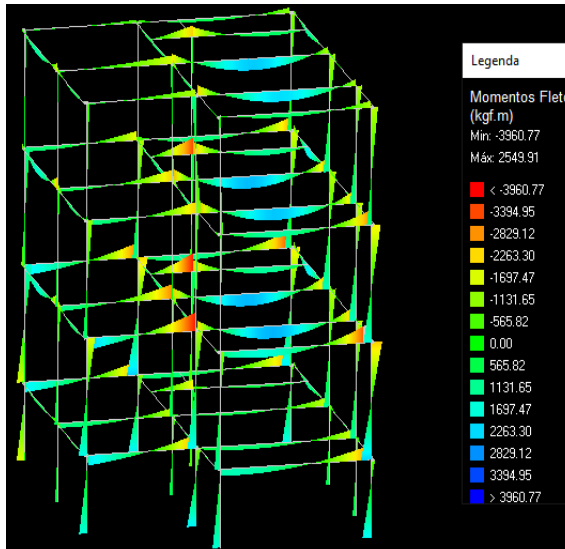
Fonte: Autores,2019.

3.2.3. Análise dos momentos fletores na estrutura

As Figuras 8 e 9 mostram respectivamente os valores referentes aos momentos fletores na estrutura tanto no método convencional como

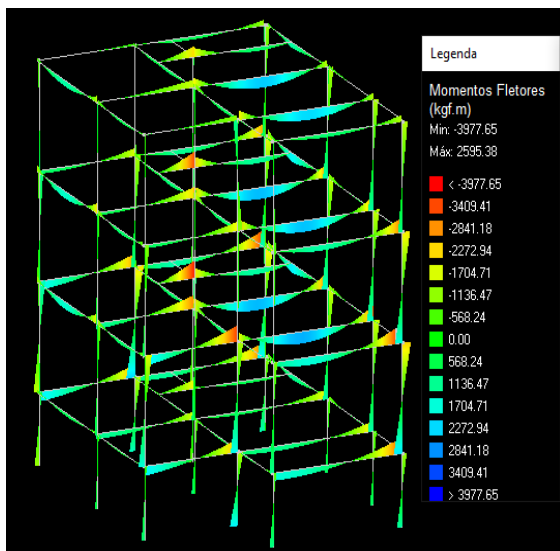
pela interação solo-estrutura, em que estes se dão pela quantidade de deslocamento sofrido pela estrutura.

Figura 8. Análise dos momentos sem ISE



Fonte: Autores,2019.

Figura 9. Análise dos momentos com ISE



Fonte: Autores,2019.

Os momentos máximos se dão no primeiro pavimento no encontro V2 e V3 com o pilar P9, com momento máximo igual a 2.549,91 kgf.m e mínimo 3.960,77 kgf.m no modelo indeslocável e máximo de 2.595,38 kgf.m e mínimo de 3.977,65 kgf.m no modelo que leva em consideração a interação solo-estrutura. Os resultados

obtidos e apresentados geram uma diferença de 0,42% para o momento fletor máximo e 1,75% para momento fletor mínimo.

O acréscimo de momento na estrutura dimensionada pelo processo de interação solo-estrutura se dá por meio do acréscimo de deslocamento que a estrutura sofreu, gerando assim um acréscimo dos momentos nos elementos estruturais.

3.2.4. Análise da área da base dos elementos de fundações

A Tabela 4 elenca os valores relativos às dimensões e respectivas áreas da base da sapata, comparando-se os dois métodos utilizados de maneira a demonstrar as diferenças em porcentagem dos valores obtidos.

Tabela 4: Dimensões das Sapatas e suas diferenças

SAPATAS	SEM ISE		ÁREA (cm ²)	COM ISE		DIFERENÇA (%)	
	DIMENSÕES (cm)			DIMENSÕES (cm)			
	A	B	A	B	ÁREA (cm ²)		
S1	120	135	16200	115	130	14950	-7,72
S2	125	140	17500	120	135	16200	-7,43
S3	125	140	17500	120	135	16200	-7,43
S4	130	145	18850	125	140	17500	-7,16
S5	165	180	29700	165	180	29700	0
S6	115	130	14950	105	120	12600	-15,72
S7	150	165	24750	145	160	23200	-6,26
S8	115	130	14950	105	120	12600	-15,72
S9	115	130	14950	110	125	13750	-8,03
F S10	140	155	21700	135	150	20250	-6,68
O S11	140	155	21700	140	155	21700	0
n S12	125	140	17500	120	135	16200	-7,43

Fonte: Autores,2019.

Com estes resultados pode-se perceber que houve redução da área de algumas sapatas gerando-se uma diferença de 15,72% nas sapatas S6 e S8 e ainda houve duas sapatas S5 e S11, que mesmo após as interações, permaneceu com a mesma área nos dois métodos. A permanência

das dimensões destas sapatas está possivelmente associada, a alteração desprezível de suas cargas (cerca de 0,14%), o que diante do arranjo estrutural inviabilizou a redução de suas dimensões.

4. CONCLUSÃO

Nesta pesquisa abordou-se o uso da Interação Solo-Estrutura, para dimensionamento de uma edificação de pequeno porte de maneira a demonstrar a influência que seu uso traz para a realidade de uma construção. Após todas as verificações foi-se constatado que o uso da ISE, mostrou-se muito importante, pois pôde-se constatar que o uso da ISE influenciou nos resultados principalmente no que se refere aos deslocamentos e momentos na análise global da estrutura quando considerada no dimensionamento de estruturas. A partir dos resultados apresentados pôde-se concluir que a consideração do uso de apoios deslocáveis gerou um deslocamento considerável na estrutura, aumentando assim os momentos nos elementos estruturais na análise global da estrutura, porém estes aumentos não interferiram na redução das dimensões das sapatas o qual gera uma otimização nos elementos estruturais no que diz respeito a economia de material.

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que os objetivos foram atingidos, de maneira a induzir os profissionais a considerar o uso da ISE para o dimensionamento de estruturas mais próxima possível do seu comportamento real, cumprindo requisitos de segurança e durabilidade da edificação.

Este trabalho foi de suma importância para o aprofundamento do conhecimento,

permitindo assim o entendimento do conteúdo abordado e disseminação de informações importantes, permitindo aperfeiçoar competências de pesquisa e desenvolvimento no âmbito da área profissional. O tema abordado tem inúmeras oportunidades e vasto campo de pesquisa, sendo assim para pesquisas futuras, recomenda-se o estudo do tema através de comparativos de custos de aço e concreto para a produção dos elementos estruturais, comparação dos resultados adquiridos neste trabalho com o modelo que utiliza-se de elementos finitos para verificação de eficiência entre os métodos.

5. REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2019.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484: Solo-Sondagens de simples reconhecimento com SPT- Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.
4. ANTONIAZZI, J. P. Interação solo-estrutura de edifícios com fundações superficiais. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
5. AZEVEDO, Á. F. M. Método dos Elementos Finitos. Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto. 1ª ed. Portugal, 2003.
6. CAMPOS, J. C. D. Elementos de Fundações em Concreto. 1. ed. São Paulo: Oficina de

- Textos, 2015.
7. CASTRO, B. C. DE. et al. Perfis geotécnicos da cidade de Palmas - TO por meio de sondagens SPT e ensaios geofísicos. In: XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Anais... Belo Horizonte: 2016
 8. CINTRA, J.C.A; AOKI, N; ALBIERO, J. H. Fundações Diretas: Projeto Geotécnico. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
 9. COLARES, G. M. Programa para análise da interação solo-estrutura no projeto de edifícios. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
 10. FALCONI, F. et al. Fundações teoria e prática. 3. Ed. São Paulo: Pini, 2016.
 11. GONÇALVES, J. Avaliação da influência dos recalques das fundações na variação de cargas dos pilares de um edifício. 2004. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
 12. GUSMÃO, A.D. Estudo da interação solo-estrutura e sua influência em recalques de edificações. 1990. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990.
 13. GUSMÃO FILHO, J.A. Contribuição à prática de fundações: a experiência de Recife. 1995 Tese (Professor Titular)- Escola de Engenharia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1995.
 14. HOLANDA JÚNIOR, O. G. DE. Interação solo - estrutura para edifícios de concreto armado sobre fundações diretas. 1998. Dissertação (Mestre em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade São Paulo, São Carlos, 1998.
 15. IWAMOTO, R. K. Alguns Aspectos Dos Efeitos Da Interação Solo - Estrutura Em Edifícios De Múltiplos Andares Com Fundação Profunda. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
 16. JORDÃO, D. R. Estabilidade Global de Edifícios sobre Fundações Profundas Considerando a Interação Estrutura-Solo. 2003. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
 17. LUPATINI, M. et al. Mapeamento Geotécnico Do Subsolo De Lucas Do Rio Verde - Mt Com Base Em Ensaios Dpl E Spt. REVISTA UNINGÁ REVIEW, [S.l.], v. 33, n. 2, p. 151 - 179, jul. 2018. ISSN 2178-2571. Disponível em: <<http://revista.uninga.br/index.php/uningareviews/article/view/2232>>. Acesso em: 02 set. 2019.
 18. MENDES, E. J. Análise de Edifícios Considerando a Interação Solo-Estrutura. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016
 19. MENDES, R. DOS S. Interação solo-estrutura e sua influência na análise estrutural de edifícios em concreto armado. Especialize, Goiânia, v. 01, p. 1-26, 2015.
 20. MORRISON, N. Interacción suelo-estructuras:

- semiespaço de winkler. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 1993.
21. PAVAN, R. C.; COSTELLA, M. F.; GUARNIERI, G. Interação solo-estrutura para sistemas estruturais reticulados sobre fundações rasas. RIEM - IBRACON Structures and Materials Journal, [S.l.], v. 7, n. 2, mar. 2014. ISSN 1983-4195. Available at: <<http://revistas.ibracon.org.br/index.php/riem/article/view/449>>. Date acesso: 06 de setembro de 2019.
22. RIBEIRO, D. B. Análise da Interação Solo-Estrutura Via Acoplamento MEC-MEF. 2005. Dissertação (Mestre em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
23. SANTOS, M. F. S. et al. Análise dos perfis de sondagem SPT em Caxias/MA. In: Congresso Técnico Científico de Engenharia e da Agronomia. Anais... Belém: 2017.
24. SCARLAT, A.S. Effect of soil deformability on rigidity: related aspects of multistory buildings analysis. ACI Struct.J., Detroit, v. 90, n. 2, p.156-162, 1993.
25. SENA, L. Estudo de caso sobre projeto de fundações por sapatas e por estacas. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
26. SILVA, E. L. DA. Análise dos modelos estruturais para determinação dos esforços resistentes em sapatas isoladas. 1998. Dissertação (Mestre em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.
27. SORIANO, H. L. Elementos Finitos: Formulação e Aplicação na Estatística e Dinâmica das Estruturas. 1. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009
28. SOUZA, R. A. DE; REIS, J. H. C. DOS. Interação solo-estrutura para edifícios sobre fundações rasas. Acta Scientiarum Technology, Maringá, v. 30, n. 2, p. 161-171, 2008.
29. VELLOSO, D.A.; LOPES, F.R. Fundações. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2011

