

**RAISSA RACHEL SALUSTRIANO DA SILVA-MATOS
LÍDIA FERREIRA MORAES
FABÍOLA LUZIA DE SOUSA SILVA
(ORGANIZADORAS)**

DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA CIENTÍFICA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NA AGRONOMIA

3

**RAISSA RACHEL SALUSTRIANO DA SILVA-MATOS
LÍDIA FERREIRA MORAES
FABÍOLA LUZIA DE SOUSA SILVA
(ORGANIZADORAS)**

DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA CIENTÍFICA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NA AGRONOMIA

3

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras

Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade do Estado de Mato Grosso

Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria



Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^o Dr^a Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Edevaldo de Castro Monteiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Prof^o Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^o Dr^a Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^o Dr^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^o Dr^a Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas



Desenvolvimento da pesquisa científica, tecnologia e inovação na agronomia 3

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos
Lídia Ferreira Moraes
Fabiola Luzia de Sousa Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D451 Desenvolvimento da pesquisa científica, tecnologia e inovação na agronomia 3 / Organizadoras Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos, Lídia Ferreira Moraes, Fabiola Luzia de Sousa Silva. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0377-7

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.777222306>

1. Agronomia. 2. Tecnologia. 3. Inovação. I. Silva-Matos, Raissa Rachel Salustriano da (Organizadora). II. Moraes, Lídia Ferreira (Organizadora). III. Silva, Fabiola Luzia de Sousa (Organizadora). IV. Título.

CDD 630

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

O agronegócio brasileiro vem se expandindo cada vez mais, isso se deve ao constante crescimento populacional, com isso tem-se uma demanda maior por alimentos e insumos necessários para os processos produtivos, as importações e exportações também tem a sua influência para tal acontecimento, já que o Brasil se destaca entre os países que mais produzem.

Entretanto, mesmo com toda informação já existente ainda se faz necessário o desenvolvimento de novos estudos, a fim de capacitar e minimizar alguns entraves existentes no sistema de produção, considerando o cenário atual a demanda por informações de boa qualidade é indispensável.

Com isso, o uso de tecnologias, técnicas e pesquisas necessitam estar atreladas na produção agrícola para desde modo obter sucesso e alta produtividade. Com base nisso a obra “Desenvolvimento da pesquisa científica, tecnologia e inovação na agronomia 3” vem com o intuito de trazer aos seus leitores informações essenciais para o sistema agrícola.

Apresentando trabalhos desenvolvidos e resultados concretos, com o objetivo de informatização e capacitação acerca deste setor, oferecendo a possibilidade do leitor de agregar conhecimentos sobre pesquisas desenvolvidas para a agricultura. Pesquisas que buscam contribuir para o aprimoramento dos pequenos, médios e grandes produtores. Desejamos a todos, uma excelente leitura!

Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos

Lídia Ferreira Moraes

Fabiola Luzia de Sousa Silva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA Y MOLECULAR DE LA VARIEDAD DE TRIGO HARINERO BORLAUG 100

José Luis Félix-Fuentes
Guillermo Fuentes-Dávila
Ivon Alejandra Rosas-Jauregui
Juan Manuel Cortes-Jiménez
Alma Angelica Ortiz-Avalos
José Eliseo Ortiz-Enríquez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7772223061>

CAPÍTULO 2..... 11

ARMAZENAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SEMENTES DE *Sloanea obtusifolia* K. Schum

Taina Lyra da Silva
Khétrin Silva Maciel
Kamilla Antunes Alves
Carlos Eduardo Moraes
Luísa Oliveira Pereira
Maria Fernanda Dourado Martins
Rafael Henrique de Freitas Noronha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7772223062>

CAPÍTULO 3..... 19

GERMINAÇÃO DE SEMENTES, INDUÇÃO E ANÁLISE MORFO-HISTOLÓGICA DE CALOS DE *Myrciraria glomerata* (O. Berg) Amshoff

Silvia Correa Santos
Fernanda Pinto
Rodrigo Kelson Silva Rezende
Cláudia Roberta Damiani

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7772223063>

CAPÍTULO 4..... 38

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA FIBRA DO ALGODOEIRO IRRIGADO SOB ESTRESSE HÍDRICO

João Henrique Zonta
Ziany Neiva Brandão
Josiane Isabela Silva Rodrigues
Heder Braun
Valdinei Sofiatti

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7772223064>

CAPÍTULO 5..... 52

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE FRUTOS DE MAXIXE DO REINO

Mariana Costa Rampazzo
Fabrício Vieira Dutra

Rita de Cássia Santos Nunes
Gabriela Leite Silva
Adriana Dias Cardoso

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7772223065>

CAPÍTULO 6..... 58

FITOTOXICIDADE DE RESÍDUOS VEGETAIS NO SOLO E SEU USO EM SEMENTES DE ARROZ

Luiz Augusto Salles das Neves
Kelen Haygert Lencina
Raquel Stefanello

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7772223066>

CAPÍTULO 7..... 77

IMPACTOS DE PLANTAS DE COBERTURA NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

João Pedro Novais Queiroz Guimarães
Rayanne Soeiro da Silva
Gabriel Brom Vilela
Thaise Dantas
Tassila Aparecida do Nascimento de Araújo
Rafaella de Paula Pacheco Noronha
João Batista Medeiros Silva
Maria Ingrid de Souza
Carlos Augusto Reis Carmona Júnior
Jamilly Verônica Santos dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7772223067>

CAPÍTULO 8..... 88

ANÁLISE DE IMAGEM APLICADA AO MONITORAMENTO DA FERRUGEM DA SOJA

Aguinaldo Soares de Oliveira
Alexandra de Oliveira França Hayama

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7772223068>

CAPÍTULO 9..... 98

DIAGNÓSTICO SOBRE A OCORRÊNCIA DO TEMA CÂNCER NOS CURRÍCULOS DAS UNIVERSIDADES PARANAENSES E UMA PROPOSTA DE CURSO *ONLINE* PARA A FORMAÇÃO INICIAL DE LICENCIANDOS EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Camila Machado Ferreira Siqueira
Elaine Maria dos Santos
Rosilene Rebeca

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7772223069>

CAPÍTULO 10..... 105

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA DETERMINAR AS PRESSÕES EM SILOS MULTICELULAR COM DESCARGA CONCENTRICA E EXCÊNTRICA

Hellen Pinto Ferreira Deckers
Francisco Carlos Gomes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.77722230610>

CAPÍTULO 11..... 125

RECUPERAÇÃO DE MATÉRIA SECA E MATÉRIA MINERAL DE SILAGEM DE CANA - DE - AÇÚCAR TRATADA COM INOCULANTE E DIFERENTES NÍVEIS DE ADITIVOS QUÍMICOS

João Ribeiro da Costa Neto
Adriely Pereira Amaral
Andreia Santos Cezário
Wallacy Barbacena Rosa dos Santos
Jeferson Corrêa Ribeiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.77722230611>

CAPÍTULO 12..... 129

PROSPECÇÃO DE GENÓTIPOS DE AGAVE PARA OBTENÇÃO DE SUCO PARA BIOINSETICIDA

Tarcisio Marcos de Souza Gondim
Joabson Borges de Araújo
Ziany Neiva Brandão
Everaldo Paulo de Medeiros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.77722230612>

CAPÍTULO 13..... 138

PERDAS QUANTITATIVAS NO ARRANQUIO MECANIZADO DE AMENDOIM NO PONTAL DO TRIÂNGULO MINEIRO

José Augusto Neto da Silva Lima
Rodrigo Silva Alves
Victor Augusto da Costa Escarela
Elivânia Maria Sousa Nascimento
Carlos Alessandro Chioderoli

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.77722230613>

CAPÍTULO 14..... 143

MULTISPECTRAL REFLECTANCE AND GEOSTATISTIC METHODS TO ESTIMATE LEAF NITROGEN CONTENT AND COTTON YIELD

Ziany Neiva Brandão
Célia Regina Grego
Lúcio André de Castro Jorge
Rodolfo Correa Manjolin

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.77722230614>

CAPÍTULO 15..... 155

ESCARIFICAÇÃO E OSMOCONDICIONAMENTO DE SEMENTES DE *Passiflora alata* Curtis

Paula Aparecida Muniz de Lima
Simone de Oliveira Lopes
Rodrigo Sobreira Alexandre

Allan Rocha de Freitas
Gilma Rosa do Nascimento
Ingridh Medeiros Simões
Joana Silva Costa
Josiane Rodrigues de Almeida Coutinho
José Carlos Lopes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.77722230615>

CAPÍTULO 16..... 168

Colletotrichum tropicale ASSOCIADO À ANTRACNOSE DO MARACUJAZEIRO NO BRASIL

Jackeline Laurentino da Silva
Jaqueline Figueredo de Oliveira Costa
Maria Jussara dos Santos da Silva
Taciana Ferreira dos Santos
Tiago Silva Lima
Gaus Silvestre Andrade Lima
Iraíldes Pereira Assunção

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.77722230616>

CAPÍTULO 17..... 177

MODELAGEM HIDROLÓGICA E GESTÃO HÍDRICA O CASO - CÓRREGO BANDEIRA, NERÓPOLIS - GOIÁS

Mariane Rodrigues da Vitória
Klaus de Oliveira Abdala

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.77722230617>

CAPÍTULO 18..... 192

ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER DE ÁCIDOS HÚMICOS EXTRAÍDOS DE SOLOS SOB DIFERENTES COMPOSIÇÕES VEGETAIS NO SUL DO BRASIL

Luisa Natalia Parra Sierra
Henrique Cesar Almeida
Denice de Oliveira Almeida

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.77722230618>

CAPÍTULO 19..... 198

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM TERMOGRAFIA EM UMA AGROINDÚSTRIA

Enerdan Fernando Dal Ponte
Rosemar Cristiane Dal Ponte
Carlos Eduardo Camargo Nogueira
Jair Antônio Cruz Siqueira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.77722230619>

CAPÍTULO 20..... 205

REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA ESTIMATIVA DA CARGA TÉRMICA RADIANTE

NO INTERIOR DE GALPÕES

Pedro Hurtado de Mendoza Borges

Zaira Morais dos Santos Hurtado de Mendoza

Pedro Hurtado de Mendoza Morais

Charles Esteffan Cavalcante

Ronei Lopes dos Santos

Felipe Schmidt Ruver

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.77722230620>

SOBRE AS ORGANIZADORAS 216

ÍNDICE REMISSIVO 217

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA DETERMINAR AS PRESSÕES EM SILOS MULTICELULAR COM DESCARGA CONCENTRICA E EXCÊNTRICA

Data de aceite: 01/06/2022

Data de submissão: 24/05/2022

Hellen Pinto Ferreira Deckers

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, ICA/UFVJM
Unaí – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/0066067112109904>

Francisco Carlos Gomes

Universidade Federal de Lavras, – DEA/UFLA
Lavras – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/9656483363249006>

RESUMO: Desenvolveu-se um programa computacional para determinar as pressões, horizontal e de atrito, em silos esbeltos prismáticos, de seção quadrada, com tremonha excêntrica e fluxo de massa, tomando como base as normas internacionais: AS 3774 (1996), DIN 1055-6 (2005) e BS EN 1991-4 (2006) e as teorias propostas por SAFARIAN (1969) e WALKER (1966). O desenvolvimento do aplicativo foi viabilizado pela elaboração de um algoritmo computacional em ambiente de programação “Borland Delphi”. O programa foi realizado para cinco projetos de silos com tremonha de formato tronco-piramidal, considerando as seguintes excentricidades: 25%, 30%, 35% e 43% e um modelo concêntrico para comparação. O programa computacional SILOEXCENTRIC permitiu, de forma fácil e rápida, ser aplicável para silos esbeltos prismáticos com geometria das tremonhas concêntrica e excêntrica. Os

resultados demonstraram a eficiência do programa computacional para os objetivos propostos. Assim, no SILOEXCENTRIC são gerados resultados de pressões que são armazenadas em arquivos no formato “Bloco de Notas” que podem ser acessados posteriormente. Além dos arquivos, são apresentadas várias informações na forma de gráfico, facilitando a avaliação das pressões horizontais e de atrito, que se mostraram adequados às normas internacionais, considerados os Estados Limites.

PALAVRAS-CHAVE: Estruturas de armazenamento, descarga excêntrica, pressões horizontais e de atrito.

DEVELOPMENT OF SOFTWARE TO DETERMINE PRESSURES IN MULTICELULARSILOS WITH CONCENTRIC AND ECCENTRIC DISCHARGE

ABSTRACT: A computer program for determining the pressures, horizontal and friction, in prismatic slender silos, with square section, eccentric hopper and mass flow, international codes taken as basis were: AS 3774 (1996), DIN 1055-6 (2005) and BS EN 1991-4 (2006) and the theories proposed by Safarian (1969) and Walker (1966). The development application was made possible by the development of a computational algorithm in programming “Borland Delphi”. The program was carried out for five silos projects with truncated pyramid form hopper considering the following eccentricities: 25%, 30%, 35% and 43%, as well as a concentric model for comparison. The computer program allowed SILOEXCENTRIC easily and quickly be

applied to slender prismatic geometry of silos with concentric and eccentric hoppers. The results demonstrated the efficiency of the computer program for the proposed objectives. So SILOEXCENTRIC results in pressures that are stored in files in “Notepad” format that may be accessed are generated. Besides files, various data are presented in graphical form, facilitating the assessment of horizontal pressures and friction, which proved adequate to international standards, considering the limit states.

KEYWORDS: Eccentric discharge, prismatic slender silos, horizontal pressure and friction.

1 | INTRODUÇÃO

Um dos setores que tem crescido nos últimos anos é a produção de alimentos industrializados, tanto para consumo humano quanto para o animal, como as rações. Com o desenvolvimento dos projetos, as plantas verticais necessitam de estruturas multicelulares, para armazenamento de matéria-prima, adequadas à produção, considerando as propriedades físicas do produto.

Segundo Brown e Nielsen (1998), o desenho e o comportamento dos silos retangulares e quadrados são muito diferentes dos silos cilíndricos. Grandezas como pressões e deslocamentos, sua interação e importância no comportamento dos silos prismáticos, ainda pouco compreendidas. Segundo Calil Júnior et al. (1997), os silos em forma de parede prismática são mais econômicos devido à rigidez das placas. No estudo pioneiro de Ravenet (1992), foram executadas duas conformações de parede: trapezoidal e ziguezague, que ainda hoje são utilizadas nas indústrias.

A descarga excêntrica permite a otimização do uso de transportadores e facilita o acesso de caminhões e trens na descarga dos produtos. A desvantagem é que, nesta situação, surgem pressões não uniformes, ao longo do perímetro do silo, considerado a maior causa de colapsos (Molenda et al., 2001). Apesar dessas vantagens, os silos prismáticos verticais ainda são pouco utilizados, em parte, pelo simples desconhecimento de seus benefícios. E, em parte, pela falta de conhecimento técnico necessário para seu projeto e construção (Lopes Neto et al., 2008).

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um programa computacional para determinar a pressão horizontal e o atrito, em silos prismáticos esbeltos, de seção quadrada, com tremonha excêntrica, com tremonha excêntrica e fluxo de massa, com base nas normas internacionais: AS 3774 (1996), DIN 1055-6 (2005) e BS EN 1991-4 (2006) e as teorias propostas por Safarian (1969) e Walker (1966).

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento do programa foi realizado para cinco silos prismáticos com tremonha de formato tronco-piramidal, considerando as seguintes excentricidades: 25%, 30%, 35% e 43% e um modelo concêntrico para comparação. A interface do software é simples para interação entre os dados fornecidos pelo usuário, tais como propriedades dos

produtos armazenados, propriedades geométricas do silo e da tremonha, e os resultados obtidos das pressões para fluxo de massa, sendo estruturado em três etapas:

Etapa 1: Determinação da geometria do silo:

Primeiramente, é importante os ensaios, para a caracterização do produto dos produtos a ser armazenado, sempre que possível, recomendado pela norma BS EN 1991-4 (2006), que usar os valores médios, tabelas pelas normas, para determinar a geometria do silo. Para a avaliação das pressões, em razão do produto armazenado, foram utilizados, como exemplo, os valores obtidos das propriedades físicas, obtidas por Lopes Neto e Nascimento (2013). Além das diferentes geometrias, como dados de entrada do programa computacional, para fluxo de massa, os produtos foram classificados como granular, pulverulento e pulverulento coesivo.

Para o cálculo dimensional dos cinco silos prismáticos foi adotado uma capacidade de 100 toneladas de produto. A capacidade da célula adotada trata do limite entre a classe de avaliação das ações para as normas DIN 1055-6 e BS EN 1991-4, podendo, assim, ser observado o comportamento das pressões nas Classes 1 ou 2 e 3.

Para o cálculo das pressões, foi adotada uma inclinação de tremonha determinada pela Equação 1 sugerida por Mclean (1986), para garantir o fluxo de massa nos cinco silos com tremonha.

$$\beta_{\text{crit}} = 0,5 \cdot \left[180 - \cos^{-1} \left(\frac{1 - \text{sen } \phi_e}{2 \cdot \text{sen } \phi_e} \right) - \left(\phi_w + \text{sen}^{-1} \frac{\text{sen } \phi_w}{\text{sen } \phi_e} \right) \right] \quad (1)$$

sendo: β_{crit} é o ângulo crítico da tremonha com a vertical ($^\circ$), ϕ_e é o efetivo ângulo de atrito interno ($^\circ$) e ϕ_w é o ângulo de atrito do produto com a parede ($^\circ$).

Os ângulos críticos calculados entre a parede da tremonha com a vertical (β_{crit}) para cada produto foram de: $\beta_{\text{crit}} (\text{milho}) = 34^\circ$, $\beta_{\text{crit}} (\text{milho triturado}) = 27^\circ$ e $\beta_{\text{crit}} (\text{farelo de soja}) = 25^\circ$. Como se trata de células quadradas utilizadas em silos multicelulares adotou-se a situação mais desfavorável de 25° . Essa escolha atende aos três produtos, dada a maior inclinação da parede da tremonha, o que possibilita garantir o fluxo de massa.

Para fins de análise, foram adotadas cinco geometrias: silo com tremonha concêntrica e silos com tremonha excêntrica. Para o silo com tremonha concêntrica, aplicaram-se as metodologias de cálculo propostas pelas normas analisadas (Figura 1). A segunda geometria corresponde a um silo com tremonha excêntrica, ou seja, são tremonhas com a relação e_0/a (excentricidade da boca de descarga/largura da parede do corpo do silo) de 25%, 30%, 35% e 43% de excentricidade (Figura 2). A escolha da geometria excêntrica permite o estudo de Safarian (1969), chamado de silo imaginário, adotada pela norma ACI 313 (1977).

A altura efetiva do silo (H) foi determinada considerando a norma AS 3774, onde está prescrita que para silos prismáticos a altura equivalente é resultante da soma da metade da altura do repouso (h_{rp}), a altura do corpo do silo (h_c) e a altura da tremonha (h_t).

Os cinco silos estudados foram classificados como esbeltos, de acordo com as três normas analisadas, conforme a relação H/a.

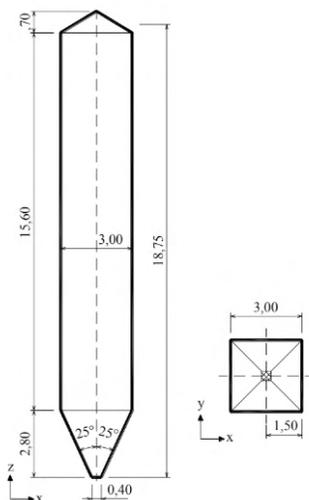


Figura 1: Schematic drawing and dimensions, in meters, of the silo with a concentric hopper.

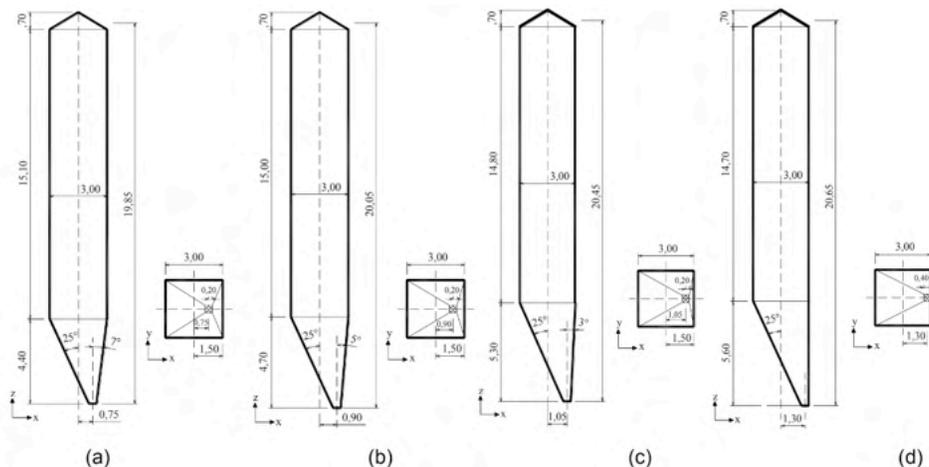


Figura 2: Desenho esquemático e dimensões, em metros, dos silos com tremonha excêntrica: (a) 25% de excentricidade, (b) 30% de excentricidade, (c) 35% de excentricidade e (d) 43% de excentricidade.

Etapa 2: Cálculo das pressões:

Foram calculadas as pressões horizontais e de atrito em silos esbeltos prismáticos, seção quadrada, com descarga excêntrica e concêntrica conforme a formulação das principais normas (BS EN 1991-4, DIN 1055-6 e AS 3774) e teorias de Safarian (1969) e Walker (1966) possibilitando compará-las, para pressões estáticas e dinâmicas, no corpo do silo e na tremonha.

Etapa 3: Desenvolvimento do programa computacional:

O programa desenvolvido, denominado SILOEXCENTRIC, para sistematizar os procedimentos em silos esbeltos, de seção quadrada, com tremonha excêntrica (25%, 30% 35% e 43%) e concêntrica, para cálculo das pressões de carregamento e descarregamento, concêntrico e excêntrico para o corpo do silo e tremonha, conforme o fluxograma ilustrado na Figura 3.

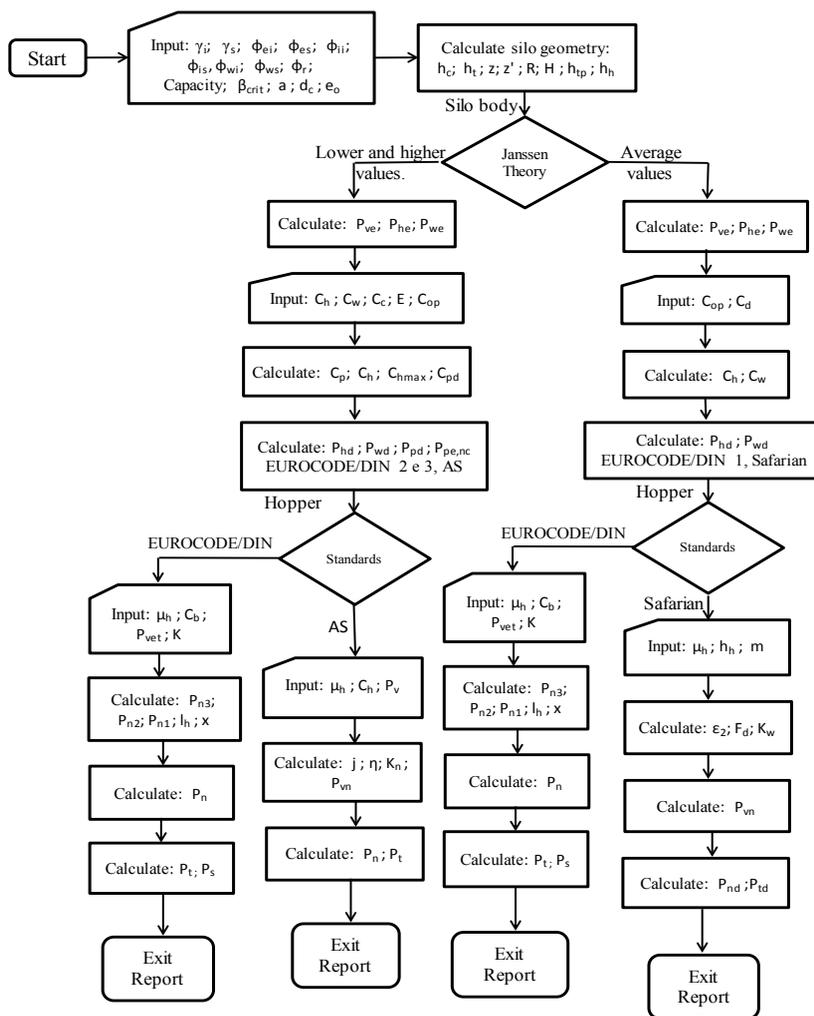


Figura 3: Fluxograma simplificado do programa computacional.

Nota: γ_i = peso específico do produto armazenado inferior, γ_s = peso específico do produto armazenado superior, ϕ_{ii} = ângulo de atrito interno inferior, ϕ_{is} = ângulo de atrito interno superior, ϕ_{ei} = efetivo ângulo de atrito interno inferior, ϕ_{es} = efetivo ângulo de atrito interno superior, ϕ_{wi} = ângulo de atrito com a parede inferior, ϕ_{ws} = ângulo de atrito com a parede superior, a = largura da parede da célula do silo, H = altura efetiva do silo (da boca de saída à superfície equivalente), h_t = altura da tremonha, h_n = altura da tremonha (do seu eixo até a transição), h_{tp} = altura do repouso do produto armazenado, e_o = excentricidade da boca de descarga, b_f = largura da boca de saída, β_{crit} = ângulo crítico da

tremonha com a vertical, β = ângulo da tremonha com a vertical, h_c = altura do corpo do silo, P_{ve} = pressão vertical estática, P_{he} = pressão horizontal estática, P_{we} = pressão de atrito vertical estática, μ = coeficiente de atrito do produto com a parede, γ = peso específico do produto armazenado, K = relação entre pressão horizontal e vertical, P_{pe} = pressão adicional estática, C_{pe} = coeficiente de pressão adicional estática, E = relação entre a excentricidade do canal de fluxo (e) e o diâmetro inscrito (d_c), C_{op} = coeficiente do produto armazenado, $P_{pe,nc}$ = pressão adicional estática para silos não circulares, P_{hd} = pressão horizontal dinâmica, P_{wd} = pressão de atrito vertical dinâmica, C_h = coeficiente de sobrepressão para pressões horizontais, C_w = coeficiente de sobrepressão para pressão de atrito, C_c = coeficiente de geometria do produto, P_{pd} = pressão adicional dinâmica, C_{pd} = coeficiente de pressão adicional dinâmica, $P_{pd,nc}$ = pressão adicional dinâmica para silos não circulares, P_{n1} = pressão na tremonha em virtude da pressão vertical causada pelo armazenamento do produto na região da transição, P_{n2} = pressão na tremonha em virtude da pressão vertical causada pelo armazenamento do produto na saída da tremonha, P_{n3} = pressão na tremonha em razão do peso do produto na mesma, C_b = coeficiente de sobrepressão para tremonha, C_h = coeficiente de sobrepressão para pressões horizontais, P_i = pressão de atrito vertical, por unidade de perímetro da tremonha, P_s = pressão aplicada na transição em silos com fluxo de massa.

O software foi desenvolvido no ambiente Delphi XE 32Bits, denominado de SILOEXCENTRIC. Para a determinação das pressões devido ao produto armazenado, tomaram-se como base as formulações das normas estudadas e teorias de Safarian (1969) e de Walker (1966).

A estrutura do programa baseia-se em uma primeira tela com os dados de entrada das propriedades físicas dos produtos armazenados (Figura 4). Existe uma planilha na parte inferior da tela, sendo módulo de cadastro de dados, para inserir as propriedades físicas de vários produtos com sua característica. Como exemplo, podem ser observadas as propriedades físicas dos produtos: milho, milho triturado e farelo de soja, por se tratar de produtos com propriedades diferenciadas. Sendo o milho classificado como produto granular, o milho triturado como produto pulverulento coesivo, enquanto o farelo de soja é um produto pulverulento.

Cadastro de Produtos

Pesquisa: Procurar Fechar

Código	Nome	Característica
1	Milho	Produtos Granulares

01) Peso Especifico yi (kN/m³) 7,40 ys (kN/m³) 7,41 ym (kN/m³) 7,41	02) Âng.Atr. Interno Pii (°) 21,10 Pis (°) 22,90 Pim (°) 22,00	03) Efe. Âng.Atr. Interno Pei (°) 23,90 Pes (°) 25,00 Pem (°) 24,45	04) Âng.Atr.Parede Pwi (°) 13,20 Pws (°) 15,80 Pwm (°) 14,50	05) Ângulo Repouso Pr (°) 30,00
---	--	---	--	---------------------------------------

Código	Nome	Característica	yi (kN/m³)	ys (kN/m³)	ym (kN/m³)	Pii (°)	Pis (°)	Pim (°)	Pei (°)	Pes (°)
1	Milho	Produtos Granulares	7,40	7,41	7,41	21,10	22,90	22,00	23,90	25
2	Milho Triturado	Produtos Pulverulentos	7,44	7,64	7,54	25,30	33,30	29,30	34,30	38
3	Farelo de Soja	Produtos Pulverulentos	6,56	6,64	6,60	32,80	35,10	33,95	34,10	35

Figura 4: Tela de cadastro das propriedades físicas dos produtos armazenados, por exemplo: produto milho.

Na Figura 5, está apresentada a tela pertinente aos dados de entrada da capacidade da célula e as características geométricas do silo para cada tremonha excêntrica ou concêntrica. A Figura 6 tem-se os dados de entrada dos coeficientes para o corpo do silo e a tremonha, para o cálculo das pressões dinâmicas, de acordo com as normas estudadas e a teoria de Safarian (1969).

Geometria do Silo

Pesquisa: Procurar Fechar

Excentricidade: EX35%

Produto: Milho

Cap. Armazenamento

Capacidade Celula (kV)

Volume Total (m³)

Relação H/a

Geometria da Tremonha

Ângulo Inclinação (°)

Largura (m)

Largura Boca (m)

Altura Apice (m)

Altura (m)

Volume (m³)

Geometria Repouso

Ângulo Repouso (°)

Altura (m)

Volume (m³)

Geometria Corpo Silo

Volume (m³)

Altura Util Corpo (m)

Resumo das Alturas

Altura Tremonha (m)

Altura Repouso (m)

Altura Util Corpo (m)

Altura Corpo (m)

Altura Total (m)

Excentricidade

Boca de Descarga (m)

eo/a (m)

Hipotenusa (m)

Código	Excentricidade	Produto	Cap.Total Celula (kV)	Volume Total	Ângulo Inclinação (°)	Largura (m)	Largura Boca (m)	Altura Apice (m)	Altura (m)
1	4	1	1.000,0	151,5	25,0	3,0	0,4	0,9	5,6
2	5	2	1.000,0	151,5	25,0	3,0	0,4	0,9	5,6
3	5	3	1.000,0	151,5	25,0	3,0	0,4	0,9	5,6
7	2	1	1.000,0	151,5	25,0	3,0	0,4	0,7	4,4
8	2	2	1.000,0	151,5	25,0	3,0	0,4	0,7	4,4
9	2	3	1.000,0	151,5	25,0	3,0	0,4	0,7	4,4

Figura 5: Tela da capacidade e as características geométricas do silo, por exemplo: excentricidade de 35% e produto milho.

Cadastro de Coeficientes

Pesquisa: Procurar Fechar

Produto: 1 Milho

EUROCODE 1	EUROCODE 2 e 3	DIN 1	DIN 2 e 3	AS	Safarian/Walker
---CORPO DO SILO---					
Cop	Ch	Cop	Ch	Cc	1/3 H
<input type="text" value="0,90"/>	<input type="text" value="1,15"/>	<input type="text" value="0,90"/>	<input type="text" value="1,15"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,76"/>
	Cw		Cw	Cw	2/3 H
	<input type="text" value="1,10"/>		<input type="text" value="1,10"/>	<input type="text" value="1,40"/>	<input type="text" value="1,93"/>
-----TREMONHA-----	-----TREMONHA-----	-----TREMONHA-----	-----TREMONHA-----	-----TREMONHA-----	-----TREMONHA-----
Cb	Cb	Cb	Cb	Ch	m
<input type="text" value="1,30"/>	<input type="text" value="1,30"/>	<input type="text" value="1,30"/>	<input type="text" value="1,30"/>	<input type="text" value="2,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>
Mh	Mh	Mh	Mh		
<input type="text" value="0,36"/>	<input type="text" value="0,36"/>	<input type="text" value="0,36"/>	<input type="text" value="0,36"/>		

Produto	Cop	Cb	Mh	Ch	Cw	Cb	Mh	Cop	Cb	Mh	Ch
1	0,90	1,30	0,36	1,15	1,10	1,30	0,36	0,90	1,30	0,36	1,15
2	0,70	1,60	0,36	1,15	1,10	1,30	0,36	0,90	1,30	0,36	1,15
3	0,50	1,30	0,33	1,15	1,10	1,30	0,33	0,50	1,30	0,33	1,15

Cadastro de Coeficientes

Pesquisa: Procurar Fechar

Produto: 2 Milho Triturado

EUROCODE 1	EUROCODE 2 e 3	DIN 1	DIN 2 e 3	AS	Safarian/Walker
---CORPO DO SILO---					
Cop	Ch	Cop	Ch	Cc	1/3 H
<input type="text" value="0,70"/>	<input type="text" value="1,15"/>	<input type="text" value="0,90"/>	<input type="text" value="1,15"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,76"/>
	Cw		Cw	Cw	2/3 H
	<input type="text" value="1,10"/>		<input type="text" value="1,10"/>	<input type="text" value="1,40"/>	<input type="text" value="1,93"/>
-----TREMONHA-----	-----TREMONHA-----	-----TREMONHA-----	-----TREMONHA-----	-----TREMONHA-----	-----TREMONHA-----
Cb	Cb	Cb	Cb	Ch	m
<input type="text" value="1,60"/>	<input type="text" value="1,30"/>	<input type="text" value="1,30"/>	<input type="text" value="1,60"/>	<input type="text" value="2,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>
Mh	Mh	Mh	Mh		
<input type="text" value="0,36"/>	<input type="text" value="0,36"/>	<input type="text" value="0,36"/>	<input type="text" value="0,28"/>		

Produto	Cop	Cb	Mh	Ch	Cw	Cb	Mh	Cop	Cb	Mh	Ch
1	0,90	1,30	0,36	1,15	1,10	1,30	0,36	0,90	1,30	0,36	1,15
2	0,70	1,60	0,36	1,15	1,10	1,30	0,36	0,90	1,30	0,36	1,15
3	0,50	1,30	0,33	1,15	1,10	1,30	0,33	0,50	1,30	0,33	1,15

Figura 6: Tela de cadastro dos coeficientes para o corpo do silo e tremonha, por exemplo: produto milho e milho triturado.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O programa desenvolvido, denominado SILOEXCENTRIC, apresenta na tela intitulada de “Cálculos das Pressões”, os parâmetros de cálculo, sendo o tipo de produto armazenado e a excentricidades, para tremonha concêntrica e excêntricas, conforme Figura 7, para os diferentes procedimentos de cálculos, com seus códigos de 1 a 6. A estimativa

do padrão de fluxo foi realizada pelo equacionamento proposto por Mclean (1986).

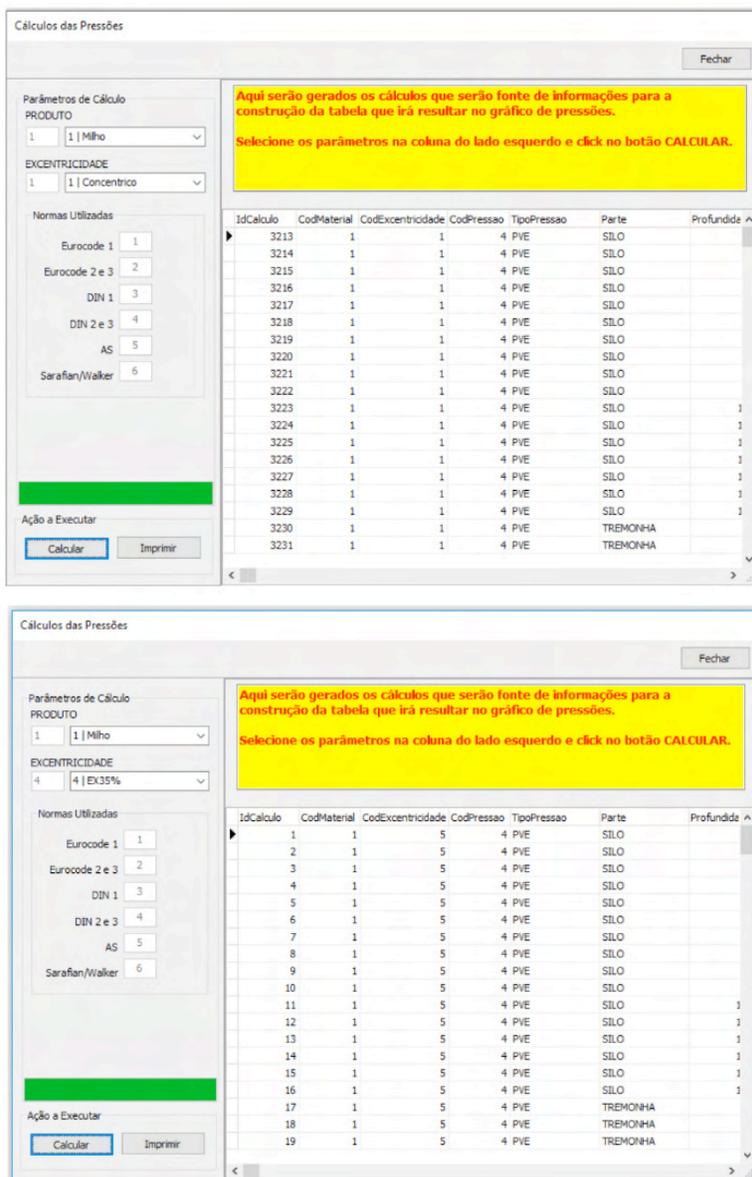


Figura 7: Tela de cálculo da pressão, selecionando a opção do produto armazenado e o tipo de tremonha, por exemplo: produto milho e excentricidade: concêntrico e 35%.

A saída de resultados é realizada por meio de bloco de notas, com a apresentação dos resultados das pressões: pressão vertical estática, pressão horizontal estática, pressão horizontal dinâmica e pressão de atrito dinâmica (Figura 8). Além do traçado dos gráficos

em função da altura do corpo do silo e da tremonha, na tela “Visualização dos Gráficos” tendo como parâmetros o produto, a excentricidade e a pressão.

EXCENTRICIDADE: Concêntrico

PROFUNDIDADE	PRESSAO	PARTE	EURO 1	EURO 2/3	DIN 1	DIN 2/3	AS	sw
0,00	PVE	SIL0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	PVE	SIL0	6,64	6,73	6,57	6,68	6,92	6,90
2,00	PVE	SIL0	11,96	12,27	11,73	12,07	12,94	12,89
3,00	PVE	SIL0	16,22	16,84	15,78	16,44	18,18	18,09
4,00	PVE	SIL0	19,64	20,59	18,96	19,97	22,74	22,59
5,00	PVE	SIL0	22,37	23,68	21,45	22,82	26,71	26,50
6,00	PVE	SIL0	24,56	26,22	23,40	25,13	30,17	29,89
7,00	PVE	SIL0	26,31	28,31	24,93	26,99	33,18	32,84
8,00	PVE	SIL0	27,72	30,04	26,14	28,50	35,80	35,39
9,00	PVE	SIL0	28,84	31,45	27,08	29,72	38,08	37,60
10,00	PVE	SIL0	29,75	32,62	27,82	30,71	40,06	39,52
11,00	PVE	SIL0	30,47	33,58	28,40	31,51	41,79	41,19
12,00	PVE	SIL0	31,05	34,37	28,86	32,15	43,29	42,63
13,00	PVE	SIL0	31,51	35,02	29,21	32,67	44,60	43,89
14,00	PVE	SIL0	31,88	35,56	29,49	33,09	45,73	44,98
15,00	PVE	SIL0	32,18	36,00	29,71	33,43	46,73	45,92
15,60	PVE	SIL0	32,33	36,22	29,82	33,61	47,26	46,43
0,00	PVE	TREMONHA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,56	PVE	TREMONHA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,12	PVE	TREMONHA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,68	PVE	TREMONHA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,24	PVE	TREMONHA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,80	PVE	TREMONHA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	PHE	SIL0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	PHE	SIL0	4,25	4,28	4,60	4,63	3,12	2,83
2,00	PHE	SIL0	7,65	7,80	8,21	8,37	5,84	5,29
3,00	PHE	SIL0	10,38	10,69	11,05	11,39	8,21	7,42
4,00	PHE	SIL0	12,57	13,08	13,27	13,83	10,27	9,26

EXCENTRICIDADE: EX35%

PROFUNDIDADE	PRESSAO	PARTE	EURO 1	EURO 2/3	DIN 1	DIN 2/3	AS	sw
0,00	PVE	SIL0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	PVE	SIL0	6,64	6,73	6,57	6,68	6,92	6,90
2,00	PVE	SIL0	11,96	12,27	11,73	12,07	12,94	12,89
3,00	PVE	SIL0	16,22	16,84	15,78	16,44	18,18	18,09
4,00	PVE	SIL0	19,64	20,59	18,96	19,97	22,74	22,59
5,00	PVE	SIL0	22,37	23,68	21,45	22,82	26,71	26,50
6,00	PVE	SIL0	24,56	26,22	23,40	25,13	30,17	29,89
7,00	PVE	SIL0	26,31	28,31	24,93	26,99	33,18	32,84
8,00	PVE	SIL0	27,72	30,04	26,14	28,50	35,80	35,39
9,00	PVE	SIL0	28,84	31,45	27,08	29,72	38,08	37,60
10,00	PVE	SIL0	29,75	32,62	27,82	30,71	40,06	39,52
11,00	PVE	SIL0	30,47	33,58	28,40	31,51	41,79	41,19
12,00	PVE	SIL0	31,05	34,37	28,86	32,15	43,29	42,63
13,00	PVE	SIL0	31,51	35,02	29,21	32,67	44,60	43,89
14,00	PVE	SIL0	31,88	35,56	29,49	33,09	45,73	44,98
14,80	PVE	SIL0	32,12	35,91	29,67	33,37	46,54	45,74
0,00	PVE	TREMONHA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,66	PVE	TREMONHA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,32	PVE	TREMONHA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,98	PVE	TREMONHA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,64	PVE	TREMONHA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,30	PVE	TREMONHA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,96	PVE	TREMONHA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,62	PVE	TREMONHA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,30	PVE	TREMONHA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	PHE	SIL0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	PHE	SIL0	4,25	4,28	4,60	4,63	3,12	2,83
2,00	PHE	SIL0	7,65	7,80	8,21	8,37	5,84	5,29

Figura 8: Tela de relatório dos cálculos de pressão para normas e teoria de Safarian e Walker, por exemplo: produto milho e excentricidade: concêntrico e 35%.

a) Pressão horizontal estática no silo

Com as pressões horizontais estáticas calculadas no fundo do corpo do silo com saída excêntrica, observam-se valores médios iguais a 21,11 kN.m⁻² para o milho, 13,33

kN.m⁻² para o milho triturado e 11,00 kN.m⁻² para o farelo de soja. Esses valores foram em média 1% inferiores aos valores observados nos silos com saída concêntrica cujos valores médios são iguais a 21,39 kN.m⁻² para o milho, 13,53 kN.m⁻² para o milho triturado e 11,13 kN.m⁻² para o farelo de soja, pelas normas e teoria de Safarian (1969).

Para as pressões horizontais estáticas calculadas na transição das tremonhas excêntricas observam-se valores médios iguais a 45,32 kN.m⁻² para o milho, 39,36 kN.m⁻² para o milho triturado e 31,56 kN.m⁻² para o farelo de soja. Esses valores foram em média 12% superiores à tremonha concêntrica com valores médios iguais a 40,02 kN.m⁻² para o milho, 34,57 kN.m⁻² para o milho triturado e 27,71 kN.m⁻² para o farelo de soja, pelas normas EUROCODE e DIN.

A teoria de Safarian é a que apresentou menores valores de pressões, em média, para todos os produtos, seguido das normas AS 3774 e EUROCODE/DIN da Classe 1, que é menor à pressão média da EUROCODE/DIN da Classe 2 e 3, localizada no fundo do corpo do silo.

Madrone e Calil Júnior (2009), no cálculo para silos cilíndricos com tremonha concêntrica, obtiveram pressão horizontal estática para a soja superior à pressão horizontal estática com o farelo de soja, tanto no corpo quanto na tremonha do silo. Na transição, as pressões dadas pelas normas (EUROCODE, DIN e AS) são em média iguais a 28 kN.m⁻² para o farelo de milho e 32 kN.m⁻² para a soja.

Com o emprego da teoria de Walker (1966), as tremonhas excêntricas apresentaram, em média, valores de pressões horizontais estáticas iguais a 71,08 kN.m⁻² para o milho, 58,27 kN.m⁻² para o milho triturado e 50,14 kN.m⁻² para o farelo de soja. Esses valores foram em média 5% menores em relação à tremonha concêntrica que apresentou valores médios iguais a 74,57 kN.m⁻² para o milho, 61,14 kN.m⁻² para o milho triturado e 52,60 kN.m⁻² para o farelo de soja. Entre as diferentes excentricidades para um mesmo produto não se constatou diferença na pressão horizontal estática.

No cálculo das pressões horizontais estáticas na tremonha, foram observados valores superiores, quando adotada a teoria de Walker (1966), por adotar a profundidade com base na superfície equivalente do silo. Conforme constatado por Gaylord Junior e Gaylord (1984), a teoria de Walker (1966) superestima as pressões iniciais na tremonha. Palma (2008) obteve, utilizando a teoria de Walker (1966), valores superiores em torno de 50% à teoria de Jenike, para as pressões horizontais em silos cilíndricos, em aço, com tremonha cônica para os produtos painço e soja.

Nas Figuras 9 a 13, são apresentadas as curvas de pressões horizontais estáticas conforme as normas e teorias para os três produtos analisados.

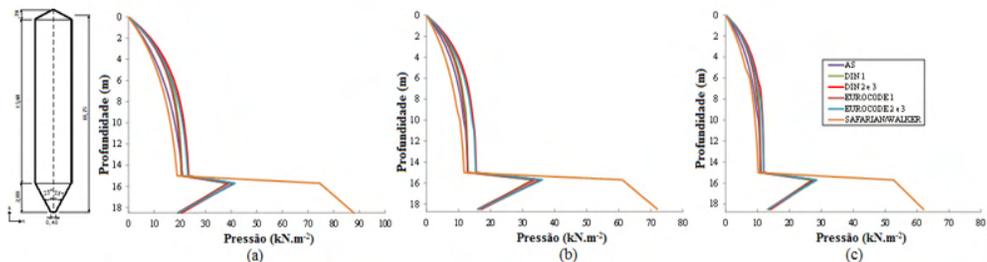


Figura 9: Pressão horizontal estática (ou carregamento) no silo com tremonha concêntrica para: (a) milho, (b) milho triturado e (c) farelo de soja.

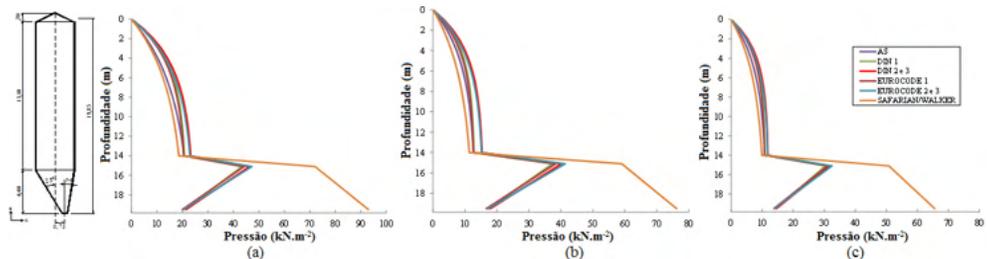


Figura 10: Pressão horizontal estática (ou carregamento) no silo com tremonha excêntrica ($e_0/a = 25\%$) para: (a) milho, (b) milho triturado e (c) farelo de soja.

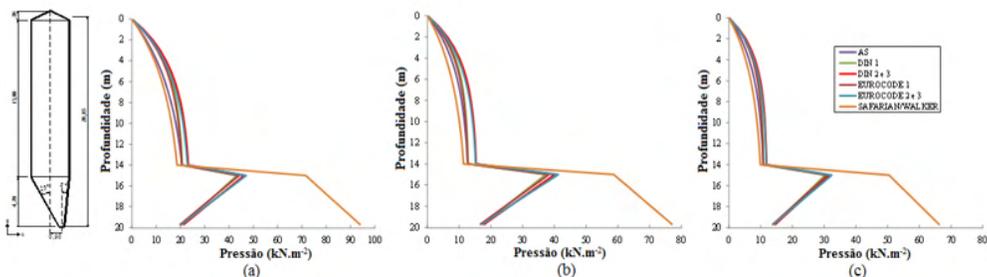


Figura 11: Pressão horizontal estática (ou carregamento) no silo com tremonha excêntrica ($e_0/a = 30\%$) para: (a) milho, (b) milho triturado e (c) farelo de soja.

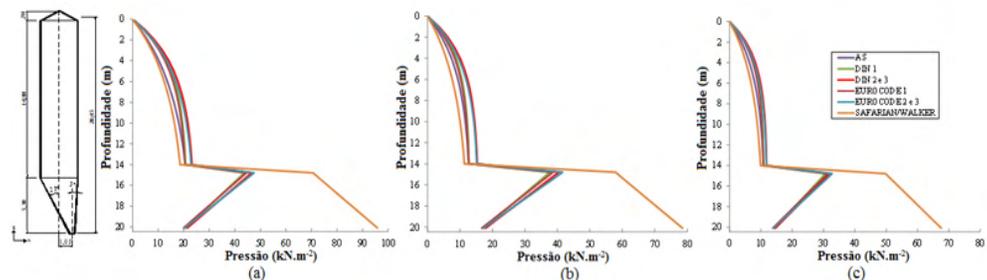


Figura 12: Pressão horizontal estática (ou carregamento) no silo com tremonha excêntrica ($e_0/a = 35\%$) para: (a) milho, (b) milho triturado e (c) farelo de soja.

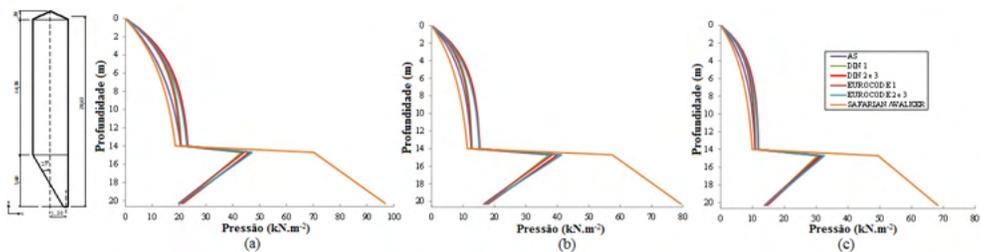


Figura 13: Pressão horizontal estática (ou carregamento) no silo com tremonha excêntrica ($e_0/a = 43\%$) para: (a) milho, (b) milho triturado e (c) farelo de soja.

b) Pressão horizontal dinâmica no silo

Nas pressões horizontais dinâmicas, calculadas no fundo do corpo do silo com saída excêntrica, observam-se valores médios iguais a $45,20 \text{ kN.m}^{-2}$ para o milho, $26,50 \text{ kN.m}^{-2}$ para o milho triturado e $20,93 \text{ kN.m}^{-2}$ para o farelo de soja. Comparando-se com as mesmas pressões de saída concêntrica, observam-se valores médios são iguais a $39,70 \text{ kN.m}^{-2}$ para o milho, $23,24 \text{ kN.m}^{-2}$ para o milho triturado e $18,34 \text{ kN.m}^{-2}$ para o farelo de soja, pelas normas e teoria de Safarian o que representa a diferença de 12% entre os valores.

Para as pressões horizontais dinâmicas, calculadas na transição das tremonhas excêntricas e concêntrica, observam-se valores médios iguais a $77,81 \text{ kN.m}^{-2}$ para o milho. Constatou-se que, para as tremonhas excêntricas, os valores médios são iguais a $58,53 \text{ kN.m}^{-2}$ para o milho triturado e $46,88 \text{ kN.m}^{-2}$ para o farelo de soja. Esses valores foram em média 5% superiores à tremonha concêntrica com valores médios são iguais a $55,45 \text{ kN.m}^{-2}$ para o milho triturado e $44,46 \text{ kN.m}^{-2}$ para o farelo de soja, pelas normas e teoria de Walker.

As normas EUROCODE e DIN (Classe 2 e 3) são as que apresentam em média menores pressões horizontais dinâmicas no fundo do corpo do silo para ambos os produtos. Isso ocorre em função do menor valor do coeficiente de sobrepressão ser 1,15. Madrona e Calil Júnior (2009) apresentou o mesmo resultado para silos cilíndricos com tremonha excêntrica. Enquanto para as normas EUROCODE e DIN (Classe 1) apresentam os valores que variam entre 1,98 até 2,73 para o coeficiente de sobrepressão, calculado em função do tipo de produto e da excentricidade. Palma (2008) calculou as pressões em silo cilíndrico concêntrico tendo obtido os valores de 1,47 para o produto soja e de 1,35 para o produto painço para as normas EUROCODE e DIN. O coeficiente de sobrepressão calculado por Madrona e Calil Júnior (2009), para o armazenamento de soja, em silos cilíndricos com tremonha excêntrica (25% de excentricidade) da Classe 1, foi inferior a 1, sendo adotados 1,15, mas em compensação, a norma AS 3774 para soja e milho triturado apresentou as maiores pressões usando um coeficiente de sobrepressão igual a 1,9.

Lopes Neto et al. (2008) encontrou os valores de coeficientes de sobrepressão de 1,5 (DIN), 1,55 (EUROCODE) e 1,72 (AS) e, também, valores de K iguais a 0,53 (DIN), 0,49 (EUROCODE) e 0,35 (AS) ao utilizar silo prismático de seção retangular, com paredes em

conformação ziguezague com 70° de inclinação com a horizontal, usando a soja peletizada. Esses valores de coeficientes de sobrepressão são inferiores aos calculados e para valores de K houve semelhança aos valores obtidos para milho triturado e farelo de soja.

Analisando-se os coeficientes de sobrepressão, observa-se, que para silo concêntrico, o coeficiente de sobrepressão é menor para todos os produtos em comparação com silo excêntrico. A fórmula empírica para determinação do coeficiente de sobrepressão leva em conta a excentricidade e quanto maior a excentricidade maior será o coeficiente.

A teoria de Safarian emprega coeficientes de sobrepressão e considera que, para fluxo de massa, deve ser acrescido de 10 a 25% o valor do coeficiente de sobrepressão.

Nas Figuras 14 a 18 são apresentadas as curvas de pressões horizontais dinâmicas conforme as normas e teorias para os três produtos analisados.

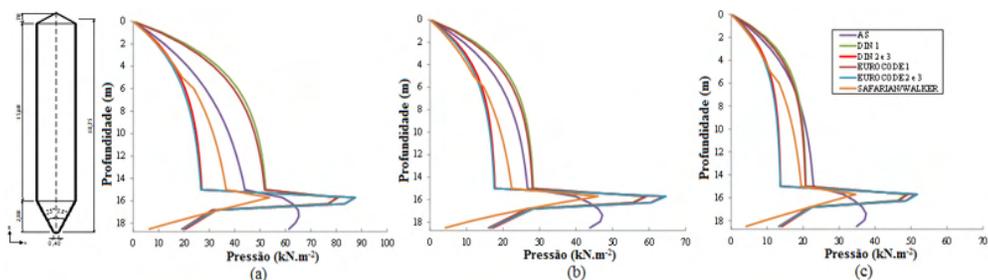


Figura 14: Pressão horizontal dinâmica (ou descarregamento) no silo com tremonha concêntrica para: (a) milho, (b) milho triturado e (c) farelo de soja.

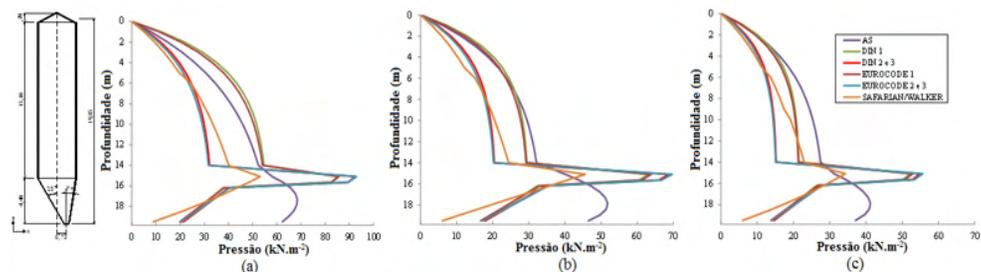


Figura 15: Pressão horizontal dinâmica (ou descarregamento) no silo com tremonha excêntrica ($e_0/a = 25\%$) para: (a) milho, (b) milho triturado e (c) farelo de soja.

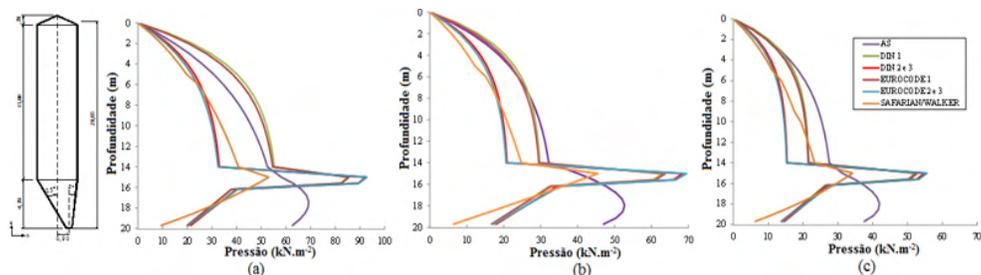


Figura 16: Pressão horizontal dinâmica (ou descarregamento) no silo com tremonha excêntrica ($e_0/a = 30\%$) para: (a) milho, (b) milho triturado e (c) farelo de soja.

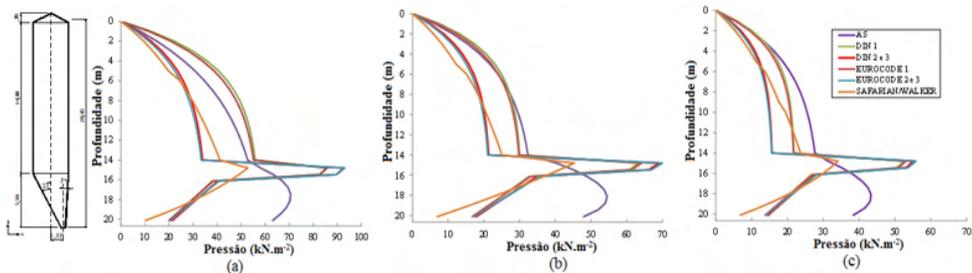


Figura 17: Pressão horizontal dinâmica (ou descarregamento) no silo com tremonha excêntrica ($e_0/a = 35\%$) para: (a) milho, (b) milho triturado e (c) farelo de soja.

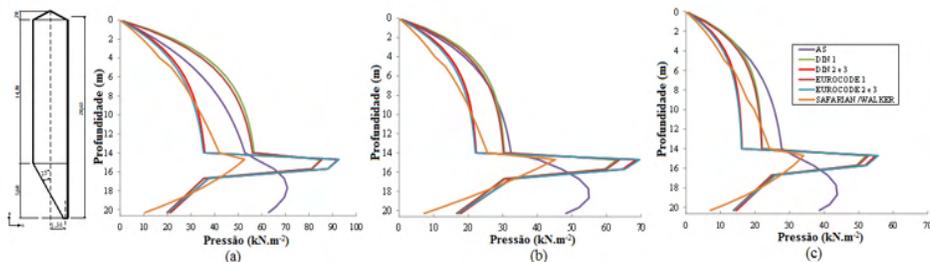


Figura 18: Pressão horizontal dinâmica (ou descarregamento) no silo com tremonha excêntrica ($e_0/a = 43\%$) para: (a) milho, (b) milho triturado e (c) farelo de soja.

c) Pressão de atrito vertical dinâmica no silo

Nas Figuras 19 a 23 são apresentadas as curvas de pressões de atrito dinâmicas conforme as normas e teorias de Safarian (1969) e Walker (1966) para os três produtos analisados.

Para os três produtos, o coeficiente de sobrepressão aplicado à pressão de atrito estática nos silos de Classe 1 (EUROCODE e DIN) varia de 1,40 até 1,64 e para Classe 2 e 3 este valor é constante de 1,10. Para o Safarian o coeficiente de sobrepressão é de 1,76 ($1/3 H$) e 1,93 ($2/3 H$). Enquanto a norma AS 3774 adota 1,4 (fluxo planar) e 1,2 (fluxo de funil). Na pesquisa realizada por Cheung (2007), em silo cilíndrico esbelto concêntrico, para diferentes produtos (soja, milho e ração de frango) e tipos de paredes, foram encontrados valores médios de 1,07 a 1,076 para parede lisa e de 1,098 a 1,134 para parede ondulada, sendo esses valores semelhantes aos calculados pela EUROCODE e DIN (Classe 2 e 3), mas inferior às demais.

Madrona e Calil Júnior (2009) ressalta que os coeficientes de sobrepressão para descarga das normas foi 1,54 (EUROCODE/DIN da Classe 1), 1,10 (EUROCODE/DIN da Classe 2 e 3) e 1,20 (AS) para silo cilíndrico com 25% de excentricidade para o produto farelo de milho e soja. Lopes Neto, Nascimento e Fank (2014) adotaram o mesmo valor para a norma AS 3774, 1,15 para a norma EUROCODE e 1,10 para a norma DIN para silo cilíndrico de fundo plano com descarga concêntrica e excêntrica.

Para as pressões de atrito dinâmicas, calculadas nas paredes próximas à transição do silo com saída excêntrica, observam-se valores médios são iguais a $8,40 \text{ kN.m}^{-1}$ para o milho, $8,46 \text{ kN.m}^{-1}$ para o milho triturado e $7,50 \text{ kN.m}^{-1}$ para o farelo de soja. Esses valores foram em média 9% superior aos valores observados nos silos com saída concêntrica com valores médios são iguais a $7,70 \text{ kN.m}^{-1}$ para o milho, $7,74 \text{ kN.m}^{-1}$ para o milho triturado e $6,79 \text{ kN.m}^{-1}$ para o farelo de soja, pelas normas e teoria de Safarian.

Com as pressões de atrito dinâmicas, calculadas no fundo do corpo do silo das tremonhas excêntricas, observam-se valores médios são iguais a $17,70 \text{ kN.m}^{-1}$ para o milho, $11,35 \text{ kN.m}^{-1}$ para o milho triturado e $10,53 \text{ kN.m}^{-1}$ para o farelo de soja. Esses valores foram em média 8% superiores à tremonha concêntrica com valores médios são iguais a $16,35 \text{ kN.m}^{-1}$ para o milho, $10,46 \text{ kN.m}^{-1}$ para o milho triturado e $9,71 \text{ kN.m}^{-1}$ para o farelo de soja, pelas normas e teoria de Walker.

Na determinação do coeficiente de sobrepressão para silos da Classe 1 (EUROCODE e DIN), a excentricidade da tremonha é considerada no cálculo. Observam-se no corpo do silo as pressões médias de atrito da teoria de Safarian apresentam valores superiores a uma determinada profundidade em relação às normas, tendo o maior valor de coeficientes de sobrepressão que foi de 1,93.

Madrona e Calil Júnior (2009), pesquisando silos cilíndricos com tremonha cônica com 25% de excentricidade, observou que o lado próximo à boca de saída tem pressões de atrito menores na tremonha do que o lado oposto. As pressões de atrito calculadas pelas normas são maiores do que as obtidas em simulação numérica usando o processo de elementos finitos. Este tipo de comportamento, também foi observado por Guaita, Couto e Ayuga (2003).

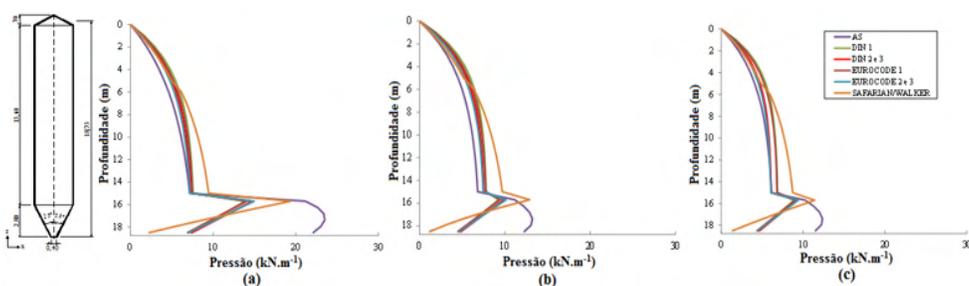


Figura 19: Pressão de atrito dinâmica (ou descarregamento) no silo com tremonha concêntrica para: (a) milho, (b) milho triturado e (c) farelo de soja.

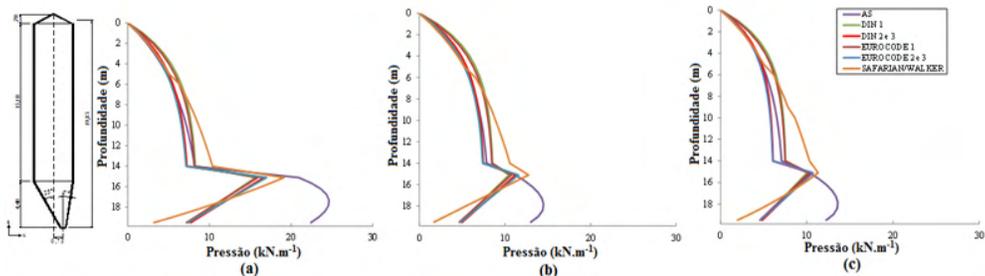


Figura 20: Pressão de atrito dinâmica (ou descarregamento) no silo com tremonha excêntrica ($e_0/a = 25\%$) para: (a) milho, (b) milho triturado e (c) farelo de soja.

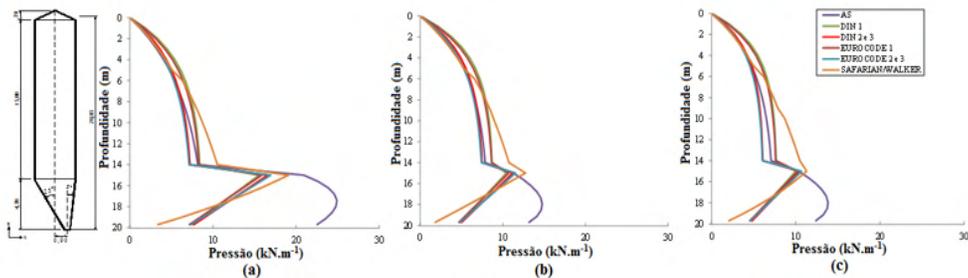


Figura 21: Pressão de atrito dinâmica (ou descarregamento) no silo com tremonha excêntrica ($e_0/a = 30\%$) para: (a) milho, (b) milho triturado e (c) farelo de soja.

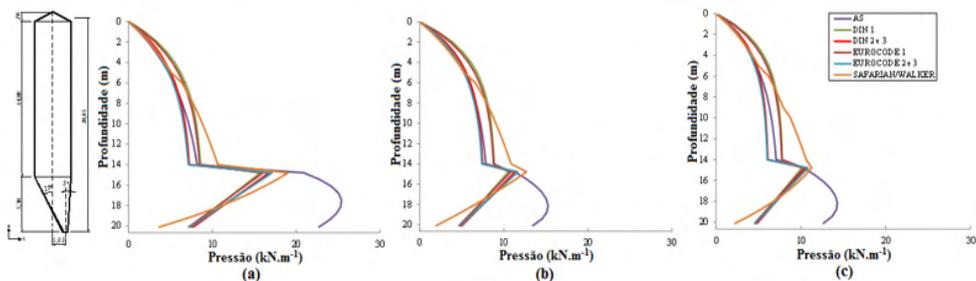


Figura 22: Pressão de atrito dinâmica (ou descarregamento) no silo com tremonha excêntrica ($e_0/a = 35\%$) para: (a) milho, (b) milho triturado e (c) farelo de soja.

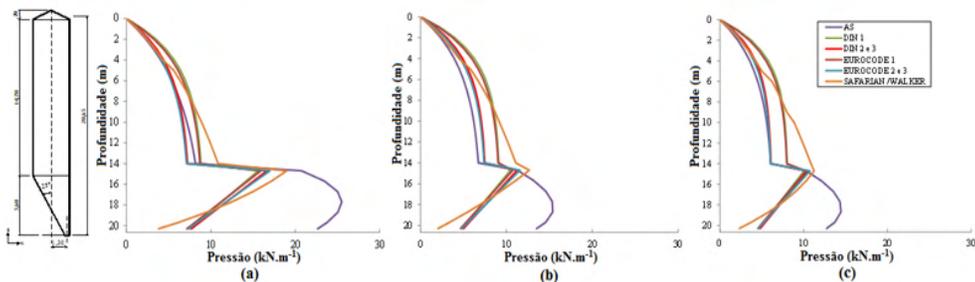


Figura 23: Pressão de atrito dinâmica (ou descarregamento) no silo com tremonha excêntrica ($e_0/a = 43\%$) para: (a) milho, (b) milho triturado e (c) farelo de soja.

4 | CONCLUSÕES

O programa computacional SILOEXCENTRIC permitiu, de forma fácil e rápida, ser aplicável para silos esbeltos prismáticos com geometria das tremonhas concêntrica e excêntrica. Os resultados de pressões verticais, horizontais, e de atrito se mostraram adequados às normas internacionais, considerados os Estados Limites, fornecendo relatório de cálculo e gráficos das pressões.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 313**: standard practice for the design and construction of concrete silos and stacking tubes for storing granular materials. Detroit, 1977. 38 p.

AUSTRALIAN STANDARD. **AS 3774**: loads on bulk containers. Sydney, 1996. 78 p.

BRITISH STANDARD EUROCODE. **BS EN 1991-4**: actions on silos and tanks: part 4: silos and tanks. Brussels, 2006. 107 p.

BROWN, C. J.; NIELSEN, J. **Silos**: fundamentals of theory, behaviour and design. London: E & FN Spon, 1998. 836 p.

CALIL JÚNIOR, C.; NASCIMENTO, J. W. B.; ARAÚJO, E. C. **Silos metálicos multicelulares**. São Carlos: USP, 1997. 175 p.

CHEUNG, A. B. **Modelo estocástico de pressões de produtos armazenados para a estimativa da confiabilidade estrutural de silos esbeltos**. 2007. 305 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

DEUTSCHE NORM. **DIN 1055-6**: basis of design and actions on structures, part 6: design loads for buildings and loads in silos bins. Berlin: Verlaz, 2005. 112 p.

GAYLORD JUNIOR, E. H.; GAYLORG, C. N. **Design of steel bins for storage of bulk solids**. New Jersey: Prentice-Hall, 1984. 359 p.

GUAITA, M.; COUTO, A.; AYUGA, F. Numerical simulation of wall pressure during discharge of granular material from cylindrical silos with eccentric Hoppers. **Biosystems Engineering**, London, v. 85, n. 1, p. 101-109, May 2003.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B. Características de fluxo e projeto de tremonhas cônicas em silos verticais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 3, p. 339-345, 2013.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B.; CALIL JUNIOR, C. Análise de silos metálicos prismáticos. **Ciência & Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1252-1258, jul./ago., 2008.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B.; FANK, M. Z. Forças verticais e de atrito em silos cilíndricos com fundo plano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 6, p. 652-657, 2014.

MADRONA, F. S. **Pressões em silos esbeltos com descarga excêntrica**. 2008. 177 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

MADRONA, F. S.; CALIL JÚNIOR, C. Análise das pressões em silos esbeltos com descarga excêntrica. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 11, n. 49, p. 37-56, 2009.

MCLEAN, A. G. Empirical 4 critical flow factor equations. **Bulk Solids Handling**, Nuremberg, v. 6, n. 4, p. 407-411, 1986.

MOLENDÁ, M.; HORÁBIK J.; THOMPSON S. A.; ROSS I. J. Bin loads induced by eccentric filling and discharge of grain. **Structures & Environment Division of ASAE**, Saint Joseph, v. 45, n. 3, p. 781-785, 2001.

PALMA, G.; CALIL JÚNIOR, C. Pressões e fluxo em silos esbeltos ($h/d \geq 1.5$). **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 10, n. 42, p. 129-150, 2008.

RAVENET, J. **Silos**. Barcelona: Técnicos Associados, 1992. 508 p.

SAFARIAN, S. S. Design pressures of granular materials in silos. **Journal of the American Concrete Institute**, New York, v. 66, n. 8, p. 647-655, 1969.

WALKER, D. M. An approximate theory for pressures and arching in hoppers. **Chemical Engineering Science**, New York, v. 21, p. 975-997, 1966.

ÍNDICE REMISSIVO

A

- Ácido acético 58, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 75
Ácido giberélico 19, 22, 23, 26, 32, 33, 35, 37, 156, 157, 160, 163, 166
Ácido propiônico 58, 66, 69, 70, 71
Ácidos húmicos 192, 193, 196
Ácidos orgânicos 53, 54, 56, 58, 59, 60, 61, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 74
Agave sisalana 129, 134, 137
Agricultura de precisão 144
Amostragem padrão 38
Análise de imagens 88, 90
Análises geoestatísticas 144
Aproveitamento do resíduo 129, 130, 137

B

- Bacia hidrográfica 177, 179, 180, 183, 185, 186, 187, 189, 190, 191

C

- Cabeludinha 19, 20
Calidad 1, 2, 8
Câncer 98, 99, 100, 101, 102, 103
Cartas de controle 138, 140, 141
Colheita mecanizada 138, 139, 142, 144
Conservação do solo 78, 79, 143
Cyclanthera pedata L. 52, 53

D

- Déficit hídrico 38, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 71, 75
Descarga excêntrica 105, 106, 108, 124

E

- Elaeocarpaceae 12, 17, 18
Energia 17, 90, 125, 198, 199, 200, 201, 203, 204
Estruturas de armazenamento 105

F

- Filogenia multi-locus 168

Formação de professores 98
FTIR 192, 193, 194, 195, 196

G

GA₃ 19, 20, 23, 25, 26, 35, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164

H

Híbrido 11648 129, 130, 131, 132, 134, 135, 136

I

Imagens térmicas 198

Índice de vegetação da diferença normalizada 144

InVEST 87, 177, 178, 179, 181, 183, 185, 188, 198

M

Maracujá doce 156, 157, 159

Marcadores 1, 3, 5, 7, 174, 201, 202, 203

Matéria orgânica do solo 83, 192, 193, 197

Método de amostragem aleatória 38, 48

Monitoramento 88, 89, 101, 177, 181, 188, 215

Motores elétricos 198, 199, 200, 204

O

Olerículas 52

P

Passifloraceae 36, 156, 165, 166, 168, 169

Patogenicidade 168, 170, 171, 172, 173

Prevenção 98, 99, 100, 101, 102, 103

Propriedades do solo 78, 79, 82

R

Recalcitrância 12, 15

Rizogênese 20, 28, 31

S

Sementes florestais 12

Soja 59, 65, 67, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 107, 110, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 139, 194, 196

Suco de sisal 129, 130, 132, 133, 135, 136

V

Variabilidade espacial de nutrientes 144

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA CIENTÍFICA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NA AGRONOMIA

3

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA CIENTÍFICA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NA AGRONOMIA

3