TAS Journal, vol. 6, n. 2, p. 78-91
ISSN 2595-1521
JUNE 2022
natan.vanelli92@gmail.com

Automatização na geração de malha de um transdutor de ondas gravitacionais cilíndrico de safira

Vanelli, Natan*, Toufen L, Dennis*

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo*

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver uma automatização para um processo de geração de malha de uma geometria cilíndrica feita de safira. O uso de programas comerciais que tem como principal tecnologia o Método dos Elementos Finitos (Ansys, Comsol Multiphysics, Abaqus) em desenvolvimento de transdutores de ondas gravitacionais engloba a maioria das teses e artigos realizados. A grande importância da utilização destas tecnologias é devido à dificuldade de obter materiais com altos fatores de qualidade elétrica, mecânica e experimentos realizados com protótipos. Visto isso, a ideia do autor deste artigo é de criar um processo de automatização para a geração de malha utilizando um *software Open Source* chamado Salome-Meca**.** O Salome é uma solução que fornece uma plataforma genérica para pré e pós-processamento de simulação numérica**.**

Palavras-chaves. *Métodos dos Elementos Finitos, Malha, Salome-Meca, Ondas Gravitacionais.*

1. Introdução

A simulação computacional é indispensável no desenvolvimento de um novo produto ou tecnologia. Simular uma situação ou um comportamento está contido em praticamente todas as mais novas tecnologias do mundo moderno, desde analisar situações da implementação da nova geração de redes móveis e de telefonia celular como o 5G, até novas implementações do conceito da Indústria 4.0 (Faria, 2021). Em paralelo com a simulação, está a aplicação de métodos numéricos matemáticos que tem como principal objetivo aprimorar técnicas de otimização que permitem analisar e estudar melhores configurações e limitações de um determinado projeto de engenharia (DE MAGALHÃES; MAGALHÃES, 2017). Devido ao fato de automatizar processos de desenvolvimento de novos produtos, torna-se necessário o estudo junto com a publicação de artigos que abrangem esse tema.

Previstas por Albert Einsten em sua teoria da relatividade geral, as ondas gravitacionais fornecem informações de eventos ocorridos no universo por meio de deformações no espaço tempo, e detectá-las tornou-se um dos maiores desafios para os cientistas em todo o mundo. Idealizado e projetado no Brasil, o detector Mario Schenberg é uma massa esférica composta por 94% de Cu e 6% de Al. O detector trabalha com seis transdutores eletromecânicos acoplados em sua superfície, que tem como principal função converter sinais mecânicos em elétricos (Andrade, 2004; Bortoli,

TAS Journal, vol. 6, n. 2, p. 78-91
ISSN 2595-1521
JUNE 2022
natan.vanelli92@gmail.com

2020; Bortoli, 2010; da Silva Bortoli, 2016; da Silva Bortoli, 2019; Frajuca, 2002; Frajuca, 2004; Frajuca, 2005; Frajuca, 2006; Frajuca, 2008; Frajuca, 2018; Prado, 2021; Ramalho, 2021; Ribeiro, 2004).

2. Salome-Meca

Para a realização deste trabalho foi escolhida a plataforma Salome-Meca, que fornece simultaneamente ferramentas CAD e CAE com recursos de modelagem e tratamento de superfícies que permitem eliminar pontos, linhas e outras impurezas geométricas, a fim de obter uma malha de alta qualidade (HÉBERT, 2016). A Fig.1 mostra um fluxograma básico explicando as etapas necessárias para um simples processamento do software Salome-Meca. A solução funciona inicialmente em modelar uma determinada geometria a ser estudada, feito este processo, cria-se a malha na região da estrutura. Para este artigo serão abordados somente a automatização das etapas de pré-processamento conforme está indicado na cor verde da Fig.1.

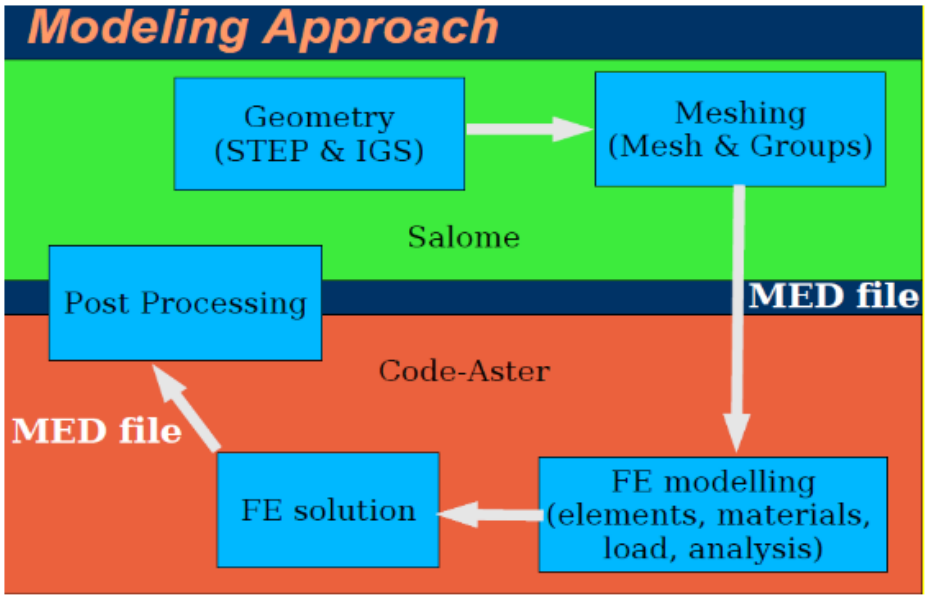

Figura 1. Funcionamento do Salome-Meca. Fonte: Braga et al. (2008).

A Fig.2 mostra a geometria do transdutor de ondas gravitacionais que serve de referência para a realização deste artigo **(**RAMALHO, 2016). A barra se constitui de Safira com diâmetro de 20 mm e comprimento de 200mm.

TAS Journal, vol. 6, n. 2, p. 78-91
ISSN 2595-1521
JUNE 2022
natan.vanelli92@gmail.com

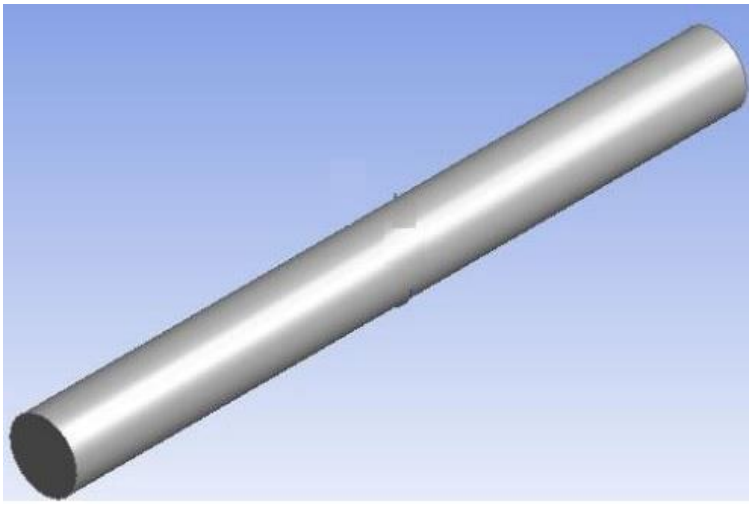

Figura 2. Geometria adotada de referência do transdutor de safira Fonte: (Ramalho, 2016).

3. Metodologia

Através da plataforma Salome-Meca o modelo CAD da geometria do transdutor foi gerado no ambiente "Geometry", foram atribuídas duas dimensões, a primeira foi o diâmetro e a segunda comprimento. Essas informações são de suma importância para o processo, pois irão servir para a criação de variáveis do sistema. As Fig.3 e 4 mostram as etapas do processo de desenvolvimento da peça:

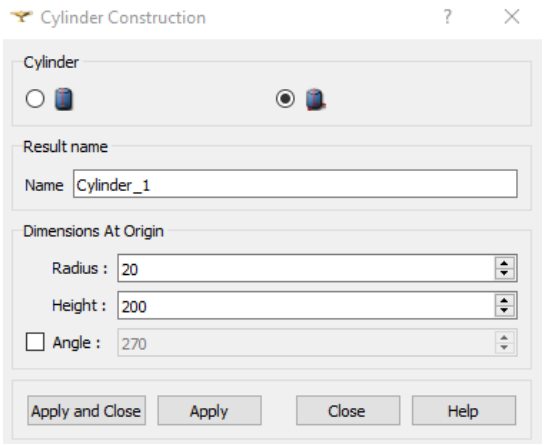

Figura 3. Parâmetros atribuídos na geometria. Fonte: (Autoral, 2021).

TAS Journal, vol. 6, n. 2, p. 78-91
ISSN 2595-1521
JUNE 2022
natan.vanelli92@gmail.com

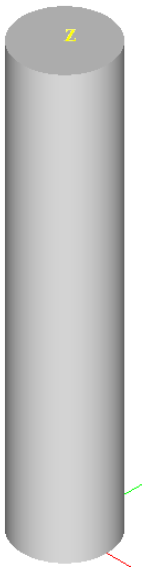

Figura 4. Modelo 3D do transdutor. Fonte: (Autoral, 2021).

Após a modelagem geométrica do transdutor, o programa tem como função a geração de um código na linguagem Python que contém todas as informações das operações realizadas no processo de criação da peça, o Anexo 1 mostra o código criado.
Como proposta inicial foi realizado um teste com o objetivo geral de conhecer a metodologia de automação da plataforma, o módulo de trabalho onde essa tarefa pode ser realizada é o "Yacs". O módulo Yacs permite editar e executar esquemas de cálculo que define uma cadeia ou um acoplamento de códigos de computador.
Um novo schema foi criado em forma de diagrama no ambiente Yacs, abaixo foram inseridas duas células, na primeira foram armazenados dados iniciais de entrada que serviram como variáveis do sistema. As variáveis atribuídas foram definidas e nomeadas como "a" e "b", "a" foi representada como sendo o diâmetro do transdutor e a "b" o comprimento. A segunda célula foi atribuída como um script na linguagem Python, sendo um padrão do Salome-Meca, foram criados dois links entra as células, sendo eles as variáveis "a" e "b". A figura Fig.5 explica este processo:

TAS Journal, vol. 6, n. 2, p. 78-91
ISSN 2595-1521
JUNE 2022
natan.vanelli92@gmail.com

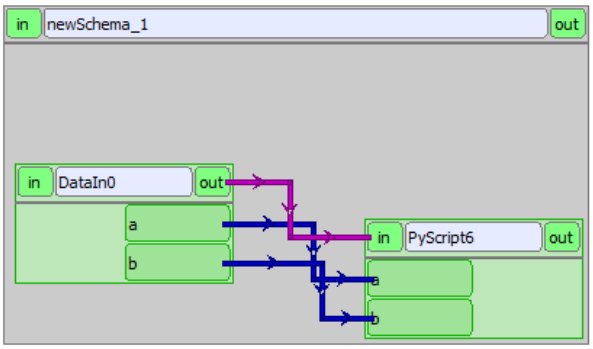

Figura 5. Diagrama do esquema de cálculo. Fonte: (Autoral, 2021).

O código criado na Tab.1 foi utilizado para realizar a programação da célula que tem como função ser um script Python, devido ao link gerado entre as duas células, as variáveis de diâmetro e comprimento foram substituídas pelos dados de entrada “a” e “b”. Como o primeiro intuito desse artigo era realizar um teste inicial, os valores das variáveis de entrada foram alterados na célula de dados para 60mm e 50mm. Após o processo de automação ser criado, dentro do próprio ambiente Yacs, o schema foi rodado levando em consideração todas as configurações feitas, e não foram apresentados erros. Segue abaixo a Fig.6:

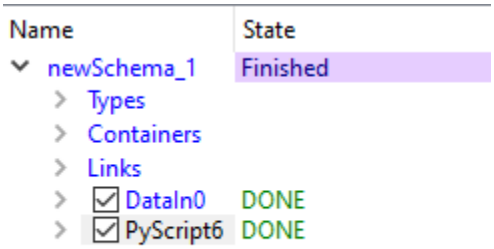

Figura 6. Simulação realizada sem a presença de erros. Fonte: (Autoral, 2021).

Após o término de todo o processo de automação do modelo do transdutor, e sem ocorrer nenhum erro do schema, houve a necessidade de validar o teste inicial. Para a realização desta validação foi preciso voltar para o ambiente de projeto, onde a peça de safira foi projetada. Uma nova geometria foi gerada apresentando novas dimensões de diâmetro e comprimento idênticas aos parâmetros atribuídos às variáveis “a” e “b”. A Fig.7 apresenta uma nova configuração da peça:

TAS Journal, vol. 6, n. 2, p. 78-91
ISSN 2595-1521
JUNE 2022
natan.vanelli92@gmail.com

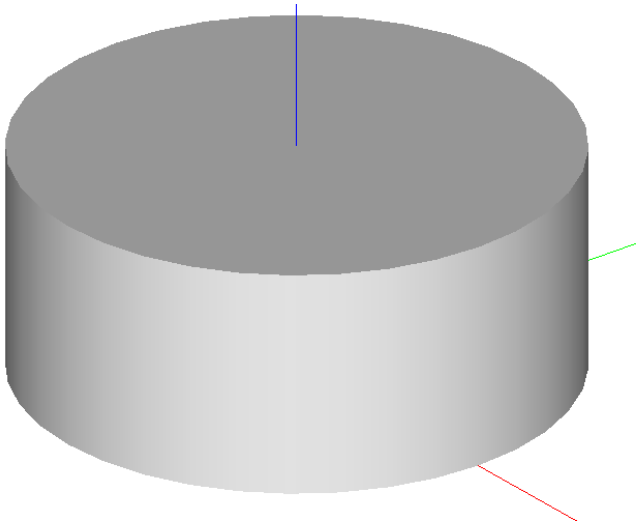

Figura 7. Transdutor com novas dimensões. Fonte: (Autoral, 2021).

Terminado esse processo envolvendo parâmetros da geometria, o próximo passo foi iniciar a automação da malha. Durante a modelagem da geometria, uma malha também foi criada e um código em Python foi salvo no mesmo arquivo do código da geometria. Para a realização deste processo foi necessário criar mais um script em Python, e uma nova variável chamada "c" foi criada para atribuir o tamanho dos elementos da malha. O Anexo 2 mostra o código criado.
O Salome-Meca necessita que ocorra um link representando as variáveis contidas no código da geometria no formato de "pyobj" que foram criados dentro dos scripts da geometria e da malha, a Fig.8 mostra essa informação:

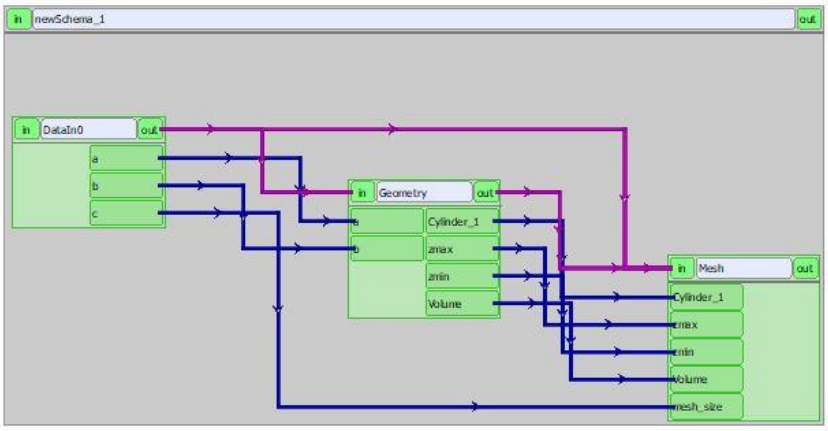

Figura 8. Diagrama da criação dos objetos. Fonte: (Autoral, 2021).

TAS Journal, vol. 6, n. 2, p. 78-91
ISSN 2595-1521
JUNE 2022
natan.vanelli92@gmail.com

Este processo permite que haja um link entre a geometria e a malha, permitindo que quando as variáveis dimensionais “a”, “b” e “c” forem alteradas, automaticamente uma nova malha será atualizada acompanhando as modificações realizadas na geometria e no tamanho dos elementos.
Para a validação desta nova etapa de automação do nosso projeto, novamente foi rodado o script e não apresentou erros, a malha foi atualizada conforme a configuração da nova geometria. A Fig.9 demostra este corrido;

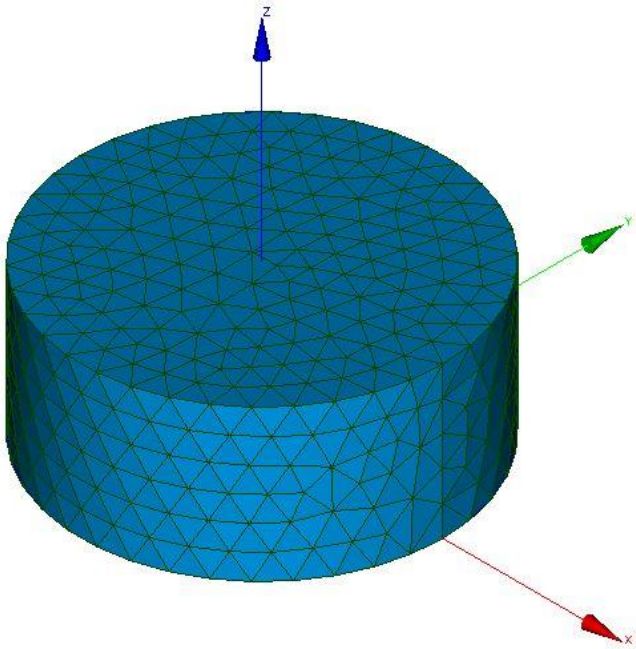

Figura 9. Malha atualizada conforme à alteração realizada na geometria. (Autoral, 2021).

4. Conclusão

Com o final de todo este processo de automatização da geometria do transdutor de ondas gravitacionais, conclui-se que a ferramenta de linguagem de programação Python quando usada por um usuário que tem bons conhecimentos da tecnologia, apresenta um potencial muito grande em redução de tempo de trabalho, não somente para a aplicação no método dos elementos finitos, mas sim em qualquer área do conhecimento tecnológico.
A necessidade de expandir o conhecimento com artigos acadêmicos em ao menos uma linguagem de programação muito usada e gratuita é muito grande, devido ao fato de contribuir muito para um projeto de pesquisa e em artigos científicos.

Referências.

(1) Andrade, L. A., C. A. Costa, O. D. Aguiar, C. Frajuca, M. M. Mosso, A. Podcameni, H. J. P. P. Da Silva, and N. S. Magalhães. 2004. Ultra-Low Phase Noise 10 GHz Oscillator to Pump the Parametric Transducers of the Mario Schenberg Gravitational Wave Detector. Classical and Quantum Gravity 21 (5): S1215-S1219. doi:10.1088/0264-9381/21/5/122.

(2) Bortoli, F. S., C. Frajuca, N. S. Magalhaes, and E. N. Duarte. 2010. A Physical Criterion for Validating the Method used to Design Mechanical Impedance Matchers for Mario Schenberg's Transducers. doi:10.1088/1742-6596/228/1/012011.

(3) Bortoli, F. S., C. Frajuca, N. S. Magalhaes, S. T. de Souza, and W. C. da Silva Junior. 2020. On the Dilution Refrigerator Thermal Connection for the SCHENBERG Gravitational Wave Detector. Brazilian Journal of Physics 50 (5): 541-547. doi:10.1007/s13538-020-00778-3.

(4) BORTOLI, F. S.; FRAJUCA, C.; MAGALHAES, N. S. A method to design mechanical transducers for resonant-mass gravitational wave detectors. Astronomische Nachrichten, v. 342, n. 1–2, p. 123–127, 2021.

(5) BRAGA, Guilherme Rezende et al. Introdução. In: BRAGA, Guilherme Rezende et al. Salome-Meca: Code_Aster integrado a plataforma Salome. São Carlos - Sp: Universidade Federal São Carlos Centro, 2008. p. 2.

(6) da Silva Bortoli, F., C. Frajuca, N. S. Magalhaes, O. D. Aguiar, and S. T. de Souza. 2019. "On the Cabling Seismic Isolation for the Microwave Transducers of the Schenberg Detector. Brazilian Journal of Physics 49 (1): 133-139. doi:10.1007/s13538-018-0615-3.

(7) da Silva Bortoli, F., C. Frajuca, S. T. de Sousa, A. de Waard, N. S. Magalhaes, and O. D. de Aguiar. 2016. On the Massive Antenna Suspension System in the Brazilian Gravitational Wave Detector SCHENBERG. Brazilian Journal of Physics 46 (3): 308-315. doi:10.1007/s13538-016-0413-8.

(8) DE MAGALHÃES, H. S. S.; MAGALHÃES, R. R. Use of simplified geometrical models of a cornea for optimization purposes. Revista Brasileira de Oftalmologia, v. 76, n. 6, p. 275–279, 2017.

(9) Frajuca, C. and F. Da Silva Bortoli. 2006. Planning to Improve the Mechanical Quality Factor in the Transducer Impedance Matchers for Mario Schenberg Detector. doi:10.1088/1742-6596/32/1/047.

(10) Frajuca, C., F. D. S. Bortoli, and N. S. Magalhães. 2005. Resonant Transducers for Spherical Gravitational Wave Detectors. Brazilian Journal of Physics 35 (4 B): 1201-1203. doi:10.1590/S0103-97332005000700050.

(11) Frajuca, C., K. L. Ribeiro, L. A. Andrade, O. D. Aguiar, N. S. Magalhães, and R. De Melo Marinho Jr. 2004. A Noise Model for the Brazilian Gravitational Wave Detector 'Mario Schenberg'. Classical and Quantum Gravity 21 (5): S1107-S1111. doi:10.1088/0264-9381/21/5/107.

(12) Frajuca, C., K. L. Ribeiro, L. A. Andrade, W. F. Velloso Jr., J. L. Melo, O. D. Aguiar, and N. S. Magalhaes. 2002. "Transducers for the Brazilian Gravitational Wave Detector 'Mario Schenberg'." Classical and Quantum Gravity 19 (7): 1961-1965. doi:10.1088/0264-9381/19/7/399.

(13) Frajuca, C., M. A. Souza, D. Coppedé, P. R. M. Nogueira, F. S. Bortoli, G. A. Santos, and F. Y. Nakamoto. 2018. Optimization of a Composite Quadrupole Mass at High-Speed Rotation. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering 40 (6). doi:10.1007/s40430-018-1239-9.

(14) Frajuca, C., N. S. Magalhães, F. S. Bortoli, and A. M. Horiguti. 2008. Study of Six Mechanical Impedance Matchers on a Spherical Gravitational Wave Detector. Journal of Physics: Conference Series 122. doi:10.1088/1742-6596/122/1/012029.

(15) HÉBERT, A. DRAGON5 and DONJON5, the contribution of École Polytechnique de Montréal to the SALOME platform. Annals of Nuclear Energy, v. 87, p. 12–20, 2016.

(16) INSTITUTO ESSS. Disponível em: https://pt.esssvirtual.com/ng/student/courses/?page=1. Acesso em: 01 nov. 2021.

(17) Prado, A. R. C., F. S. Bortoli, N. S. Magalhaes, R. N. Duarte, C. Frajuca, and R. C. Souza. 2021. Modelling a Mechanical Antenna for a Calibrator for Interferometric Gravitational Wave Detector using Finite Elements Method. doi:10.1088/1742-6596/2090/1/012157.

(18) RAMALHO, W. C. S. TRANSDUTOR DE SAFIRA PARA MEDIÇÃO DA VELOCIDADE DA INTERAÇÃO GRAVITACIONAL. 2016. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo, 2016.

(19) Ramalho, W. C. S., F. S. Bortoli, N. S. Magalhaes, R. N. Duarte, C. Frajuca, and R. C. Souza. 2021. Modelling a Suspension for an Experiment to Measure the Speed of Gravity in Short Distances. doi:10.1088/1742-6596/2090/1/012160.

TAS Journal, vol. 6, n. 2, p. 78-91
ISSN 2595-1521
JUNE 2022
natan.vanelli92@gmail.com

(20) Ribeiro, K. L., D. O. Aguiar, S. R. Furtado, C. Frajuca, P. J. Castro, J. J. Barroso, and M. Remy. 2004. Tests with Superconducting Re-Entrant Cavities for Transducer Applications in Gravitational Wave Detectors. Classical and Quantum Gravity 21 (5): S1225-S1229. doi:10.1088/0264-9381/21/5/124.

TAS Journal, vol. 6, n. 2, p. 78-91
ISSN 2595-1521
JUNE 2022
natan.vanelli92@gmail.com

ANEXO 1 – CÓDIGO EM PYTHON PARA A GERAÇÃO DA GEOMETRIA

```
import sys
import salome

salome.salome_init()
import salome_notebook
notebook = salome_notebook.NoteBook()
sys.path.insert(0, r'C:/Users/natan/Desktop/YACS-Transdutor')

###
### GEOM component
###

import GEOM
from salome.geom import geomBuilder
import math
import SALOMEDS


geompy = geomBuilder.New()

O = geompy.MakeVertex(0, 0, 0)
OX = geompy.MakeVectorDXDYDZ(1, 0, 0)
OY = geompy.MakeVectorDXDYDZ(0, 1, 0)
OZ = geompy.MakeVectorDXDYDZ(0, 0, 1)
Cylinder_1 = geompy.MakeCylinderRH(20, 200)
Volume = geompy.CreateGroup(Cylinder_1, geompy.ShapeType["SOLID"])
geompy.UnionIDs(Volume, [1])
zmax = geompy.CreateGroup(Cylinder_1, geompy.ShapeType["FACE"])
geompy.UnionIDs(zmax, [10])
zmin = geompy.CreateGroup(Cylinder_1, geompy.ShapeType["FACE"])
geompy.UnionIDs(zmin, [12])
geompy.addToStudy( O, 'O' )
geompy.addToStudy( OX, 'OX' )
geompy.addToStudy( OY, 'OY' )
geompy.addToStudy( OZ, 'OZ' )
geompy.addToStudy( Cylinder_1, 'Cylinder_1' )
geompy.addToStudyInFather( Cylinder_1, Volume, 'Volume' )
geompy.addToStudyInFather( Cylinder_1, zmax, 'zmax' )
geompy.addToStudyInFather( Cylinder_1, zmin, 'zmin' )
###
```

TAS Journal, vol. 6, n. 2, p. 78-91
ISSN 2595-1521
JUNE 2022
natan.vanelli92@gmail.com

ANEXO 2 – CÓDIGO EM PYTHON PARA A GERAÇÃO DA MALHA

```
###
### SMESH component
###

import  SMESH, SALOMEDS
from salome.smesh import smeshBuilder

smesh = smeshBuilder.New()
#smesh.SetEnablePublish( False ) # Set to False to avoid publish in study if not needed or in some particular situations:
                                 # multiples meshes built in parallel, complex and numerous mesh edition (performance)

Local_Length_1 = smesh.CreateHypothesis('LocalLength')
Local_Length_1.SetLength( 20 )
Local_Length_1.SetPrecision( 1e-07 )
Mesh_1 = smesh.Mesh(Cylinder_1)
MG_Hexa = smesh.CreateHypothesis('MG-Hexa', 'HexoticEngine')
NETGEN_1D_2D_3D = smesh.CreateHypothesis('NETGEN_2D3D', 'NETGENEngine')
Cartesian_3D = smesh.CreateHypothesis('Cartesian_3D')
status = Mesh_1.AddHypothesis(NETGEN_1D_2D_3D)
Volume_1 = Mesh_1.GroupOnGeom(Volume,'Volume',SMESH.VOLUME)
zmax_1 = Mesh_1.GroupOnGeom(zmax,'zmax',SMESH.FACE)
zmin_1 = Mesh_1.GroupOnGeom(zmin,'zmin',SMESH.FACE)
smesh.SetName(Mesh_1, 'Mesh_1')
try:
  Mesh_1.ExportMED(r'C:/Users/natan/Desktop/YACS-Transdutor/Mesh_1.med',auto_groups=0,minor=40,overwrite=1,meshPart=None,autoDimension=1)
  pass
except:
  print('ExportMED() failed. Invalid file name?')
[ Volume_1, zmax_1, zmin_1 ] = Mesh_1.GetGroups()
NETGEN_3D_Parameters_1 = smesh.CreateHypothesis('NETGEN_Parameters', 'NETGENEngine')
NETGEN_3D_Parameters_1.SetSecondOrder( 0 )
NETGEN_3D_Parameters_1.SetOptimize( 1 )
NETGEN_3D_Parameters_1.SetFineness( 2 )
NETGEN_3D_Parameters_1.SetChordalError( -1 )
NETGEN_3D_Parameters_1.SetChordalErrorEnabled( 0 )
```

TAS Journal, vol. 6, n. 2, p. 78-91
ISSN 2595-1521
JUNE 2022
natan.vanelli92@gmail.com

```
NETGEN_3D_Parameters_1.SetUseSurfaceCurvature( 1 )
NETGEN_3D_Parameters_1.SetFuseEdges( 1 )
NETGEN_3D_Parameters_1.SetQuadAllowed( 0 )
status = Mesh_1.AddHypothesis(NETGEN_3D_Parameters_1)
[ Volume_1, zmax_1, zmin_1 ] = Mesh_1.GetGroups()
NETGEN_3D_Parameters_1.SetMaxSize( 5 )
NETGEN_3D_Parameters_1.SetMinSize( 5 )
NETGEN_3D_Parameters_1.SetCheckChartBoundary( 248 )
isDone = Mesh_1.Compute()
[ Volume_1, zmax_1, zmin_1 ] = Mesh_1.GetGroups()


## Set names of Mesh objects
smesh.SetName(MG_Hexa, 'MG-Hexa')
smesh.SetName(Cartesian_3D, 'Cartesian_3D')
smesh.SetName(Local_Length_1, 'Local Length_1')
smesh.SetName(NETGEN_3D_Parameters_1, 'NETGEN 3D Parameters_1')
smesh.SetName(NETGEN_1D_2D_3D, 'NETGEN 1D-2D-3D')
smesh.SetName(zmax_1, 'zmax')
smesh.SetName(zmin_1, 'zmin')
smesh.SetName(Mesh_1.GetMesh(), 'Mesh_1')
smesh.SetName(Volume_1, 'Volume')
```