



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/07.12.19.43-PUD

**PROGRAMA EM LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO
PYTHON PARA AJUSTE DO PARÂMETRO S11
ATRAVÉS DO MODELO DE LINHA DE TRANSMISSÃO**

Miguel Angelo do Amaral Junior
Pedro José de Castro
Joaquim José Barro de Castro
Maurício Ribeiro Baldan

Norma Técnica

URL do documento original:

<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3P9BDPS>

INPE
São José dos Campos
2017

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

E-mail: pubtc@inpe.br

COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):

Presidente:

Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)

Membros:

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (CTE)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SID) **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/07.12.19.43-PUD

**PROGRAMA EM LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO
PYTHON PARA AJUSTE DO PARÂMETRO S11
ATRAVÉS DO MODELO DE LINHA DE TRANSMISSÃO**

Miguel Angelo do Amaral Junior
Pedro José de Castro
Joaquim José Barro de Castro
Maurício Ribeiro Baldan

Norma Técnica

URL do documento original:

<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3P9BDPS>

INPE
São José dos Campos
2017



Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo a produção de um programa capaz de estimar a atenuação da radiação eletromagnética na faixa de frequência de 8,2-12,4GHz através do modelo de linha de transmissão com placa metálica atrás da amostra. O método consiste em utilizar a permissividade e permeabilidade real e imaginária extraídas pelos parâmetros S_{11} e S_{21} das amostras para calcular a impedância da linha de transmissão. Para obter a permissividade real e imaginária foi utilizado um analisador de redes vetorial da Agilente, modelo N5232A, e por fim os valores foram aplicados ao modelo de linha de transmissão com curto.

Palavras-chave: Permissividade. Analisador de redes vetorial. Modelo de Lorentz.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 Circuito equivalente a uma linha de transmissão com tamanho diferencial de ΔZ	1
1.2 Linha de transmissão com tamanho L conectado a uma extremidade por um gerador e a outra por uma carga (Z_L)	4
1.3 Representação esquemática da medida da refletividade para uma amostra qualquer	7

LISTA DE TABELAS

Pág.

SUMÁRIO

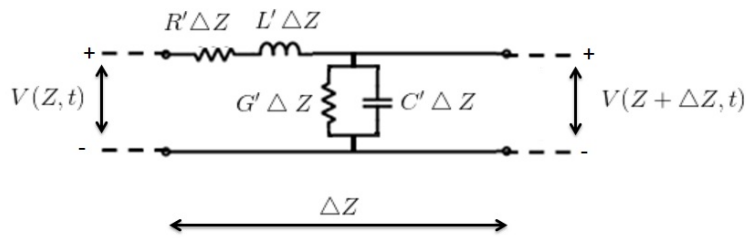
	<u>Pág.</u>
1 Estudos Preliminares da Impedância na Linha de Transmissão .	1
1.1 Equação da Linha de Transmissão	1
1.1.1 Propagação de Onda na Linha de Transmissão	2
1.1.2 Impedância da Linha de Transmissão	3
1.1.3 Coeficiente de Reflexão	4
1.1.4 Impedância da Onda para um Meio Sem Perdas	5
2 Programa	9
2.1 Script	9
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	13

1 Estudos Preliminares da Impedância na Linha de Transmissão

1.1 Equação da Linha de Transmissão

Uma linha de transmissão normalmente é conectada a uma fonte onde o final é uma carga. Antes de considerar um circuito completo, deve-se desenvolver a equação geral para descrever a voltagem e a corrente que passa pela linha de transmissão em função do tempo (t) e espaço (Z). Para isso, considere a Figura 1.1. Aplicando a Lei de Kirchoff para a voltagem, é possível obter a voltagem e a corrente em função do tempo e espaço, como mostrado na Equação 1.1.

Figura 1.1 - Circuito equivalente a uma linha de transmissão com tamanho diferencial de ΔZ



Fonte: (Autor)

$$V(z, t) = V_1(z, t) + V_2(z, t) + V(z + \Delta z, t) \rightarrow V(z, t) = Ri(z, t) + L \frac{\partial i(z, t)}{\partial t} + V(z + \Delta z, t) \quad (1.1)$$

Onde a resistência (R) e Indutância (L) são propriedades intrínsecas do material da linha de transmissão, podendo serem escritas em razão do espaço diferencial (ΔZ).

$$V(z, t) = R' \Delta z i(z, t) + L' \Delta z \frac{\partial i(z, t)}{\partial t} + V(z + \Delta z, t) \quad (1.2)$$

Isolando os potenciais da Equação 1.2 e fazendo $\Delta Z \rightarrow 0$, temos a equação diferencial a linha de transmissão.

$$-\frac{\partial V(z,t)}{\partial Z} = R'i(z,t) + L'\frac{\partial i(z,t)}{\partial t} \quad (1.3)$$

De forma análoga, aplicando a lei de Kirchoff para a corrente na condutância e capacitância, tem-se:

$$i(z,t) = i_1(z,t) + i_2(z,t) + i(z + \Delta z, t) \rightarrow -\frac{\partial i(z,t)}{\partial z} = G'V(z,t) + C'\frac{\partial V(z,t)}{\partial t} \quad (1.4)$$

No entanto, as Equações 1.3 e 1.4 estão na forma algébrica. Para facilitar os cálculos deve-se passar ambas para forma fasorial. Consequentemente as novas equações não estarão mais no domínio do tempo.

$$-\frac{\partial \tilde{V}(z)}{\partial Z} = (R' + j\omega L')\tilde{I}(z) \quad (1.5)$$

$$-\frac{\partial \tilde{I}(z)}{\partial Z} = (G' + j\omega C')\tilde{V}(z) \quad (1.6)$$

1.1.1 Propagação de Onda na Linha de Transmissão

As Equações 1.5 e 1.6 podem ser combinadas para dar origem a equação de onda, uma para $\tilde{V}(Z)$ e outra para $\tilde{I}(Z)$.

$$-\frac{\partial \tilde{V}(z)}{\partial z} = (R' + j\omega L')(G' + j\omega C')\tilde{V}(z) \rightarrow -\frac{\partial^2 \tilde{V}(z)}{\partial z^2} - \gamma^2 \tilde{V}(z) = 0 \quad (1.7)$$

$$-\frac{\partial \tilde{I}(z)}{\partial z} = (G' + j\omega C')(R' + j\omega L')\tilde{I}(z) \rightarrow -\frac{\partial^2 \tilde{I}(z)}{\partial z^2} - \gamma^2 \tilde{I}(Z) = 0 \quad (1.8)$$

Onde γ é chamada de constante de propagação e tem por unidade o inverso do comprimento $\frac{1}{m}$. Esta constante é equivalente a $\gamma = \sqrt{(R' + j\omega L')(G' + j\omega C')} = \alpha + j\beta$, e α é chamado de constante de atenuação e β de constante de fase.

Solucionando as Equações 1.7 e 1.8:

$$\tilde{V}(z) = V_o^+ e^{-\gamma z} + V_o^- e^{\gamma z} \quad (1.9)$$

$$\tilde{I}(z) = I_o^+ e^{-\gamma z} + I_o^- e^{\gamma z} \quad (1.10)$$

As expressões $V_o^+ e^{-\gamma z}$ e $I_o^+ e^{-\gamma z}$ correspondem as ondas incidentes, e $V_o^- e^{\gamma z}$ e $I_o^- e^{\gamma z}$ as ondas refletidas.

1.1.2 Impedância da Linha de Transmissão

É possível obter a impedância da linha de transmissão através das Equações de ondas mostradas no subtópico anterior. Substituindo a Equação 1.9 na equação fasorial do potencial (Equação 1.5) é possível obter uma expressão fasorial da corrente.

$$\tilde{I}(z) = \frac{\gamma[V_o^+ e^{-\gamma z} - V_o^- e^{\gamma z}]}{R' + j\omega L'} \quad (1.11)$$

Agora substituindo a Equação 1.10 na 1.11 e comparando os termos V_o^+ com I_o^+ e V_o^- com I_o^- , obtemos:

$$I_o^+ e^{-\gamma z} + I_o^- e^{\gamma z} = \frac{\gamma[V_o^+ e^{-\gamma z} - V_o^- e^{\gamma z}]}{R' + j\omega L'} \rightarrow \frac{V_o^+}{I_o^+} = \frac{-V_o^-}{I_o^-} = \frac{R' + j\omega L'}{\gamma} \quad (1.12)$$

Sabendo que $\frac{V_o^+}{I_o^+} = \frac{-V_o^-}{I_o^-} = Z_o$ e que $\gamma = \sqrt{(R' + j\omega L')(G' + j\omega C')}$, podemos escrever a impedância da linha de transmissão como:

$$Z_o = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}} \quad (1.13)$$

Com a Equação 1.13 pode-se escrever a Equação 1.11 de uma forma mais simplificada:

$$\tilde{I}(z) = \frac{V_o^+}{Z_o} e^{-\gamma z} - \frac{V_o^-}{Z_o} e^{\gamma z} \quad (1.14)$$

1.1.3 Coeficiente de Reflexão

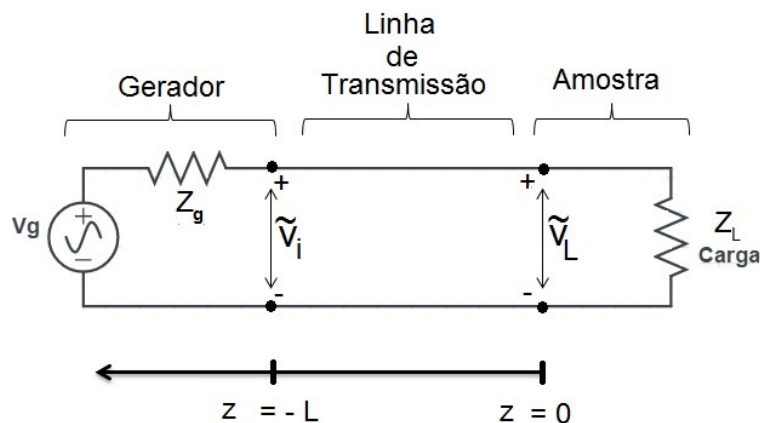
A linha de transmissão é caracterizada por dois parâmetros fundamentais, a constante de propagação γ e a impedância da linha Z_o , ambos são especificados pelas frequência angular ω e pelos parâmetros da linha R' , L' , G' e C' . Em muitas situações praticas a linha de transmissão apresenta baixa perda ohmica devido a alta condutividade, resultando assim em R' e G' valores muito pequenos. Estas condições nos permite fazer $R' = G' \simeq 0$. O que implica que $\alpha = 0$. Logo as equações de onda para o potencial e corrente podem ser escritas como:

$$\tilde{V}(z) = V_o^+ e^{-j\beta z} + V_o^- e^{j\beta z} \quad (1.15)$$

$$\tilde{I}(z) = \frac{V_o^+}{Z_o} e^{-j\beta z} - \frac{V_o^-}{Z_o} e^{j\beta z} \quad (1.16)$$

Para determinar V_o^+ e V_o^- é necessário considerar que a linha de transmissão seja um meio sem perda, incluindo um gerador e uma carga nas suas extremidades, como mostrado na Figura 1.2.

Figura 1.2 - Linha de transmissão com tamanho L conectada a uma extremidade por um gerador e a outra por uma carga (Z_L)



Fonte: (Autor)

A impedância do circuito pode ser definida como:

$$Z_L = \frac{\widetilde{V}_L}{\widetilde{I}_L} \quad (1.17)$$

Para $z=0$, as Equações 1.15 e 1.16 ficam:

$$\widetilde{V}_L = \widetilde{V}(z=0) = V_o^+ + V_o^- \quad (1.18)$$

$$\widetilde{I}_L = \widetilde{I}(z=0) = \frac{V_o^+}{Z_o} + \frac{V_o^-}{Z_o} \quad (1.19)$$

Substituindo as Equações 1.18 e 1.19 na Equação 1.17, nos obtemos a impedância da carga:

$$Z_L = \left(\frac{V_o^+ + V_o^-}{V_o^+ - V_o^-} \right) Z_o \quad (1.20)$$

O coeficiente de reflexão (Γ) pode ser obtido através da Equação 1.20. Para isso basta isolar a fração $\frac{V_o^-}{V_o^+}$.

$$\frac{V_o^-}{V_o^+} = \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o} = \Gamma \quad (1.21)$$

Logo, o coeficiente de reflexão (Γ) é definido como a razão da voltagem refletida (V_o^-) pela voltagem incidente (V_o^+).

Lembrando ainda que $\frac{V_o^+}{I_o^+} = -\frac{V_o^-}{I_o^-} = Z_o$ (Equação 1.12), a Equação 1.21 pode ser escrita também como:

$$\frac{I_o^-}{I_o^+} = -\Gamma \quad (1.22)$$

1.1.4 Impedância da Onda para um Meio Sem Perdas

As ondas estacionárias indicam que numa linha incompatíveis a tensão e magnitude da corrente oscilam com a posição ao longo da linha. Assim a impedância da onda,

que é a razão da voltagem pela corrente, também deve variar ao longo da posição z . A impedância da onda pode ser definida com:

$$Z(d) = \frac{\tilde{V}(d)}{\tilde{I}(d)} \quad (1.23)$$

Deste modo, utilizando as Equações 1.15 e 1.16 para $z=-d$ na equação da impedância da onda, temos:

$$Z(d) = \frac{\tilde{V}(d)}{\tilde{I}(d)} \rightarrow Z(d) = Z_o \left(\frac{e^{\beta d} + \Gamma e^{-j\beta d}}{e^{j\beta d} - \Gamma e^{-j\beta d}} \right) \rightarrow Z(d) = Z_o \left(\frac{1 + \Gamma e^{-2j\beta d}}{1 - \Gamma e^{-2j\beta d}} \right) \quad (1.24)$$

Substituindo o termo $\Gamma_d = \Gamma e^{-2j\beta d}$ na Equação 1.24:

$$Z(d) = Z_o \left(\frac{1 + \Gamma_d}{1 - \Gamma_d} \right) \quad (1.25)$$

Onde o termo Γ_d é o coeficiente de reflexão com fase de $2\beta d$ e $Z(d)$ é a impedância para qualquer ponto da linha de transmissão.

Contudo, o grande interesse em problemas de linha de transmissão é a impedância de entrada Z_{in} (*do inglês, Input Impedance*). O Z_{in} equivale a impedância total do sistema (considere $z = l$). Utilizando $z=l$, $\Gamma = \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o}$ e aplicando algumas modificações trigonométricas, chegamos na equação mais conhecida do Z_{in} .

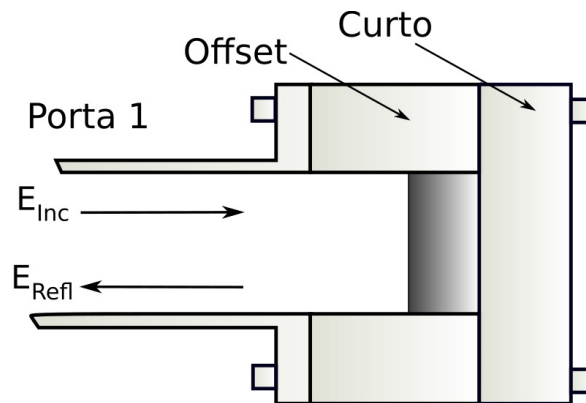
$$Z_{in} = Z(l) = Z_o \left(\frac{Z_L + Z_o j \operatorname{tg}(\beta l)}{Z_o + Z_L j \operatorname{tg}(\beta l)} \right) \quad (1.26)$$

Alguns autores (SINGH et al., 2000; KIM et al., 1991) utilizam a Equação 1.26 de outra forma, aplicam a condição de curto circuito (Figuras ?? e ?? (a)). Essa condição é uma configuração no processo de obtenção da medida dos parâmetros-S, funciona da seguinte maneira, utiliza-se uma placa metálica atrás da carga, deste modo, a impedância da carga tende a zero ($Z_L = 0$). Portanto, para chegar a expressão 1.27 é necessário utilizar as condições $Z_L = 0$ e $\beta = \frac{2\pi\sqrt{\mu_r\epsilon_r}}{\lambda}$.

$$Z_{in} = jZ_0 \operatorname{tg} \left(\frac{2\pi l \sqrt{\mu_r \epsilon_r}}{\lambda} \right) \rightarrow Z_{in} = j \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \operatorname{tg} \left(\frac{2\pi l \sqrt{\mu_r \epsilon_r}}{\lambda} \right) \quad (1.27)$$

A Equação 1.27 equivale a uma aproximação teórica para a medida da refletividade mostrada na Figura 1.3.

Figura 1.3 - Representação esquemática da medida da refletividade para uma amostra qualquer



Fonte: (Autor)

2 Programa

Neste trabalho foi desenvolvido um programa sem interface gráfica para realizar os ajustes dos dados experimentais do coeficiente de reflexão das amostras. A linguagem de programação utilizada para criar o programa foi o Python versão 2.7. Também foi necessário utilizar bibliotecas complementares como: numpy versão 1.3.0, scipy versão 0.10 e matplotlib.pyplot versão 1.2.0.

2.1 Script

A seguir é mostrado o script em python do programa desenvolvido.

```

from __future__ import division
import os
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

diretorio_principal = os.getcwd()

os.chdir('dados')

#----- ENCONTRAR ARQUIVO TXT NO DIRETORIO-----

lista = os.listdir('.')
txts = []

for i in range(0,len(lista)):
    if (lista[i].find('.txt') == -1 and lista[i].find('.csv') ==
-1 ):#find quando n tem ele retorna -1
        continue
    else:
        txts.append(lista[i])
#-----

for arquivo in range(0,len(txts)):

    arq_entrada=open(txts[arquivo],'r')
    arq_dados=arq_entrada.readlines()
    arq_entrada.close()

    #vetores -----
    f_v=[]
    e1_v=[]
    e2_v=[]
    u1_v=[]
    u2_v=[]

    z_v=[]

    reflection_v =[]

    porcentagem_v =[]
    #-----

    arq = open('./teorico_'+txts[arquivo],'w')

```

```

arq.write("Freq(Hz) RL(%)\\n")

for i in range(8,len(arq_dados)):
    dados = arq_dados[i].split(',')

    f_v.append(dados[0])
    e1_v.append(dados[1])
    e2_v.append(dados[2])
    u1_v.append(dados[3])
    u2_v.append(dados[4])

    f = float(dados[0])
    e1= float(dados[1])
    e2= float(dados[2])
    u1= float(dados[3])
    u2= float(dados[4])

    c = 3e8
    e=e1+e2*1j
    u=u1+u2*1j
    d = 0.0015#metros

    onda = c/f

#-----Ate aqui e DB
negativo-----
    z =
    ((u/e)**(1.0/2.0))*np.tanh(1j*(2*np.pi*d/onda)*((u*e)**(1.0/2.0)))
    z_v.append(z)

    reflection = -20*np.log10(abs((z-1)/(z+1))) #dB

    reflection_v.append(reflection)

#-----

#-----Aqui eu passo para
RL(%)-----

    percent = (10.0**((reflection/10.0))*100.0) %%

    porcentagem_v.append(percent)

#-----

#escrever = "%s %s\\n"%(f,reflection)
escrever = "%s %s\\n"%(f,percent)

    arq.write(escrever)

arq.close()

```

```
plt.title(str(txts[arquivo][:len(txts[arquivo])-4]))
#plt.plot(f_v,reflection_v,'-b')
plt.plot(f_v,porcentagem_v,'-b')

plt.xlim(8.2e9,12.4e9)

plt.show()
```


REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KIM, S.; JO, S.; GUEON, K.; CHOI, K.; KIM, J.; CHURN, K. Complex permeability and permittivity and microwave absorption of ferrite-rubber composite at x-band frequencies. **IEEE Transactions on Magnetics**, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), v. 27, n. 6, p. 5462–5464, 1991. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/20.278872>>. 6

SINGH, P.; BABBAR, V. K.; RAZDAN, A.; PURI, R. K.; GOEL, T. C. Complex permittivity, permeability, and x-band microwave absorption of CaCoTi ferrite composites. **J. Appl. Phys.**, AIP Publishing, v. 87, n. 9, p. 4362, 2000. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1063/1.373079>>. 6

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

Teses e Dissertações (TDI)

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

Manuais Técnicos (MAN)

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

Notas Técnico-Científicas (NTC)

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programas de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Publicações Seriadas

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Contam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

Programas de Computador (PDC)

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. Aceitam-se tanto programas fonte quanto os executáveis.

Pré-publicações (PRE)

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.