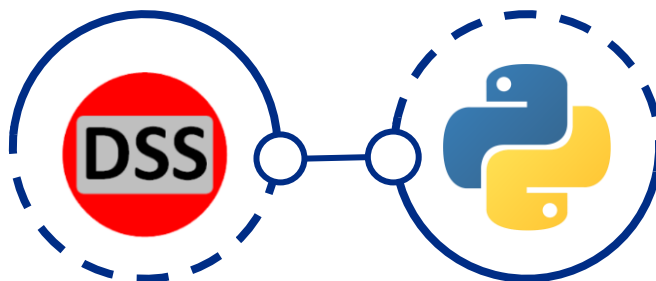




## Quantificação das perdas de energia em condições harmônicas e fator de potência variável



M.Sc. Eduardo Tavares Silvério  
M.Sc. Lucas Rodrigues de Almeida

Prof. M.Sc. Paulo Ricardo Radatz de Freitas

# Motivação

---

## Regulação sobre perdas de energia em sistemas de distribuição

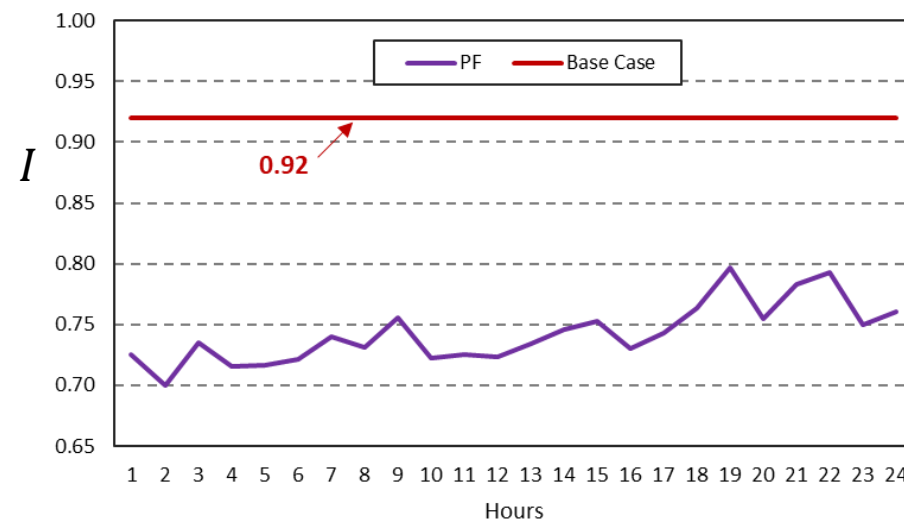
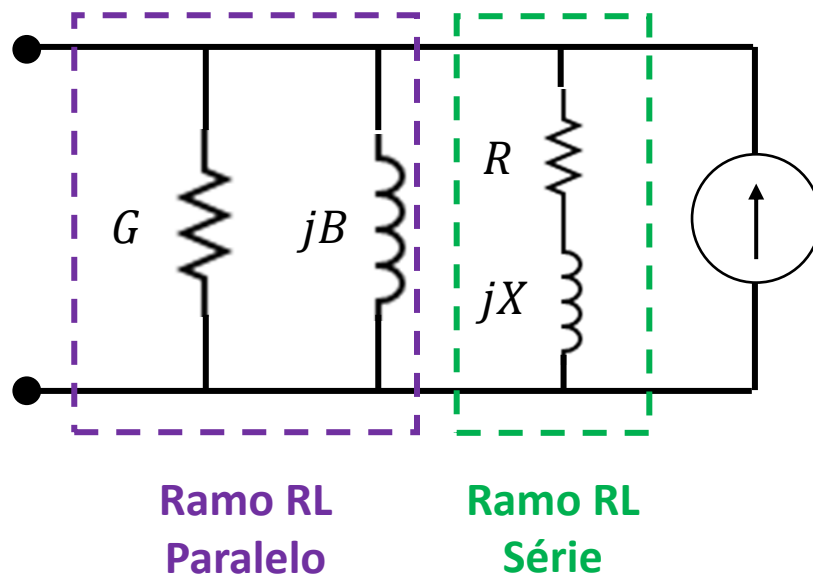
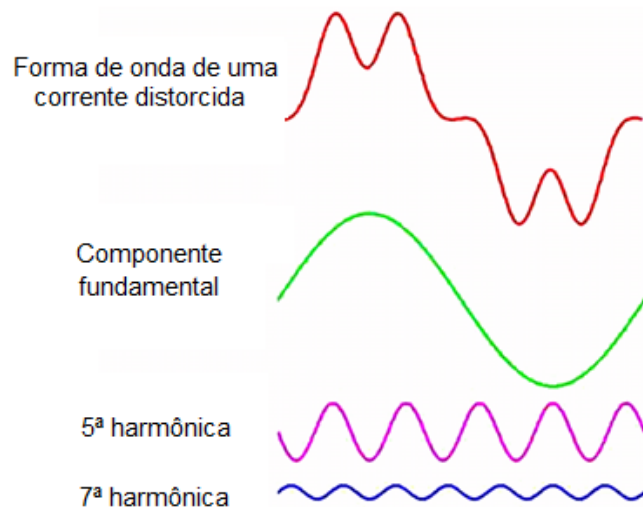


- Frequência fundamental (60 Hz)
- Fator de potência = 0,92
- Cargas modeladas como modelo ZIP
- Linhas modeladas considerando as impedâncias de sequência

# Motivação

## Objetivo Principal

Quantificar as perdas de energia considerando condições reais



Cargas não-lineares (emissividade harmônica) – espectros variando ao longo do dia para cada carga

%SeriesRL = 50 – Default – OpenDSS  
Modelo de carga para a solução harmônica

Fator de potência variando ao longo do dia (Pmult e Qmult)

# Motivação

## Objetivo Principal



Dados de entrada provenientes de um Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (Análise e quantificação das perdas harmônicas em sistemas de distribuição)

- Medições de QEE
- Mais de 800 consumidores considerados



Medições de QEE  
(IEC 61000-4-30 – Classe A)

Medições harmônicas e inter-harmônicas (IEC 61000-4-7)

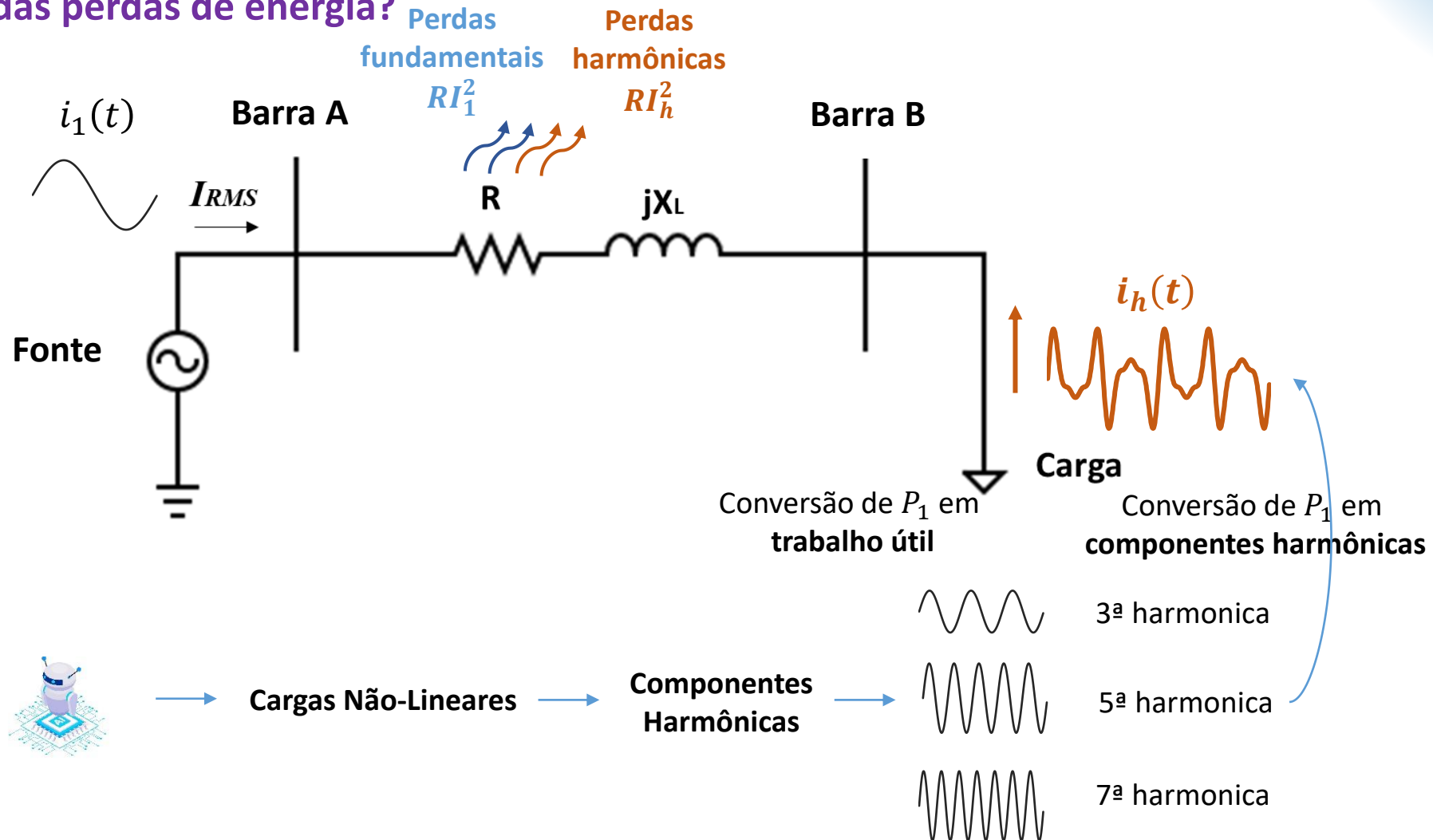


As medições são tratadas estatisticamente a fim de gerar curvas representativas para os espectros e fatores de potência



# Fundamentação Teórica

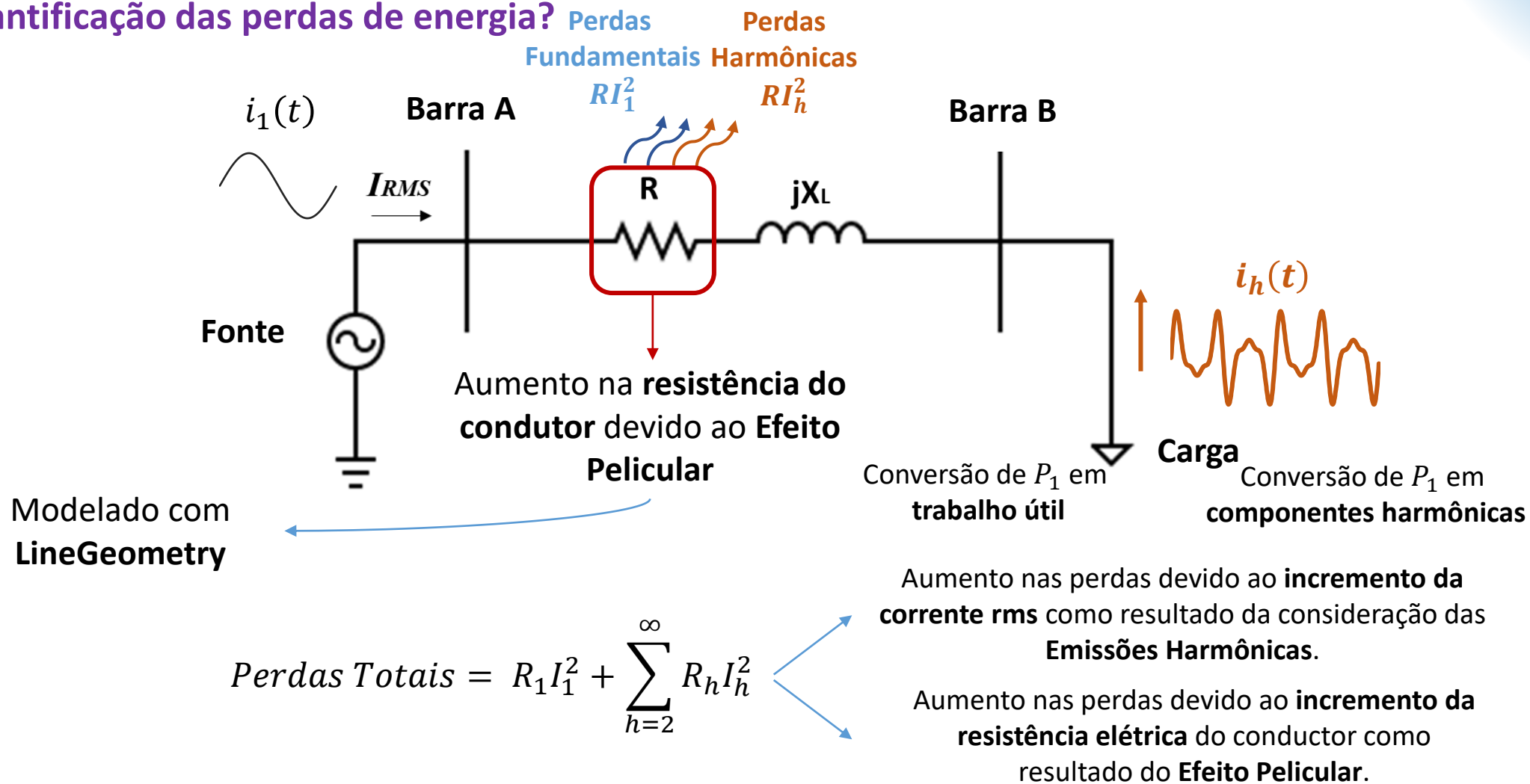
Quais os resultados esperados considerando a emissividade harmônica das cargas na quantificação das perdas de energia?



# Fundamentação Teórica



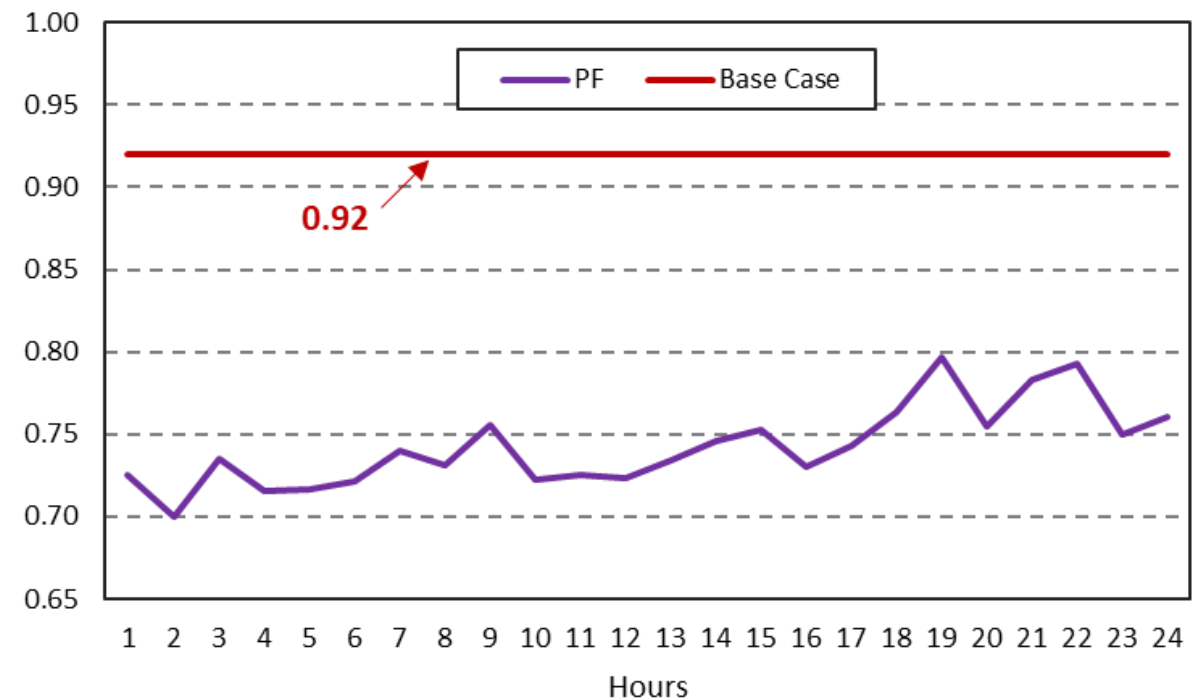
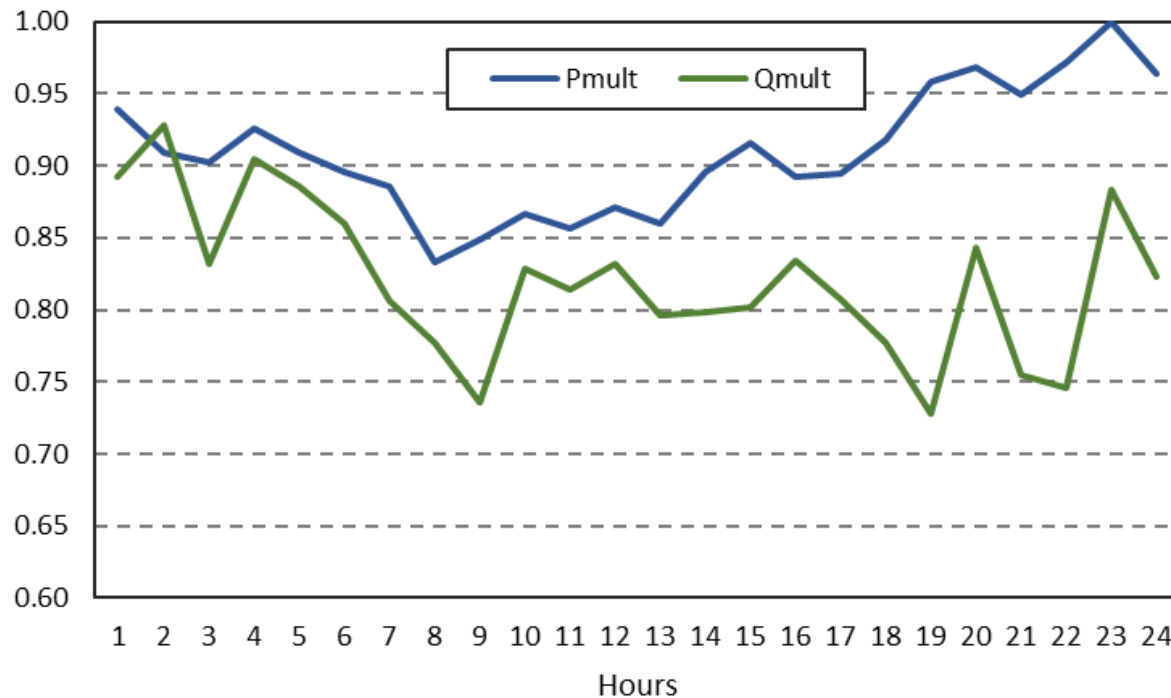
Quais os resultados esperados considerando a emissividade harmônica das cargas na quantificação das perdas de energia?



# Fundamentação Teórica



Quais os resultados esperados considerando um fator de potência variável na quantificação das perdas de energia?

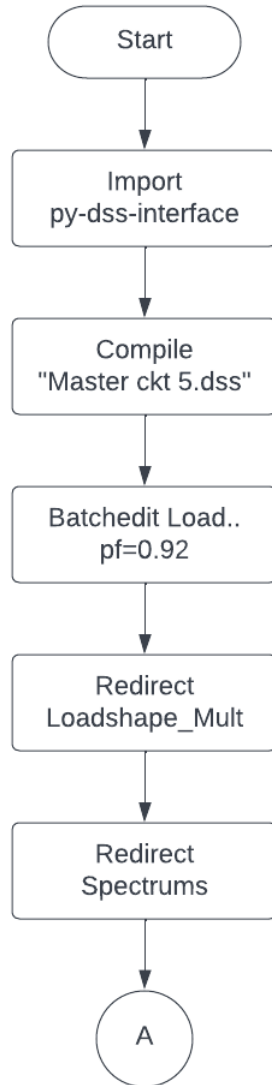


Fator de Potência menor que 0,92 – **umenta** a corrente (**umenta** as perdas)  $\uparrow$  *Perdas de Energia* =  $\uparrow RI_1^2$

# Metodologia (Ckt 5)



21 Loadshapes Daily (7 tipos de consumidores x 3 fases)



1	New Loadshape.RES-Type1_A	npts=24	interval=1	Mult=(...)
2	New Loadshape.RES-Type1_B	npts=24	interval=1	Mult=(...)
3	New Loadshape.RES-Type1_C	npts=24	interval=1	Mult=(...)
4	New Loadshape.RES-Type2_A	npts=24	interval=1	Mult=(...)
5	New Loadshape.RES-Type2_B	npts=24	interval=1	Mult=(...)
6	New Loadshape.RES-Type2_C	npts=24	interval=1	Mult=(...)
7	New Loadshape.RES-Type3_A	npts=24	interval=1	Mult=(...)
8	New Loadshape.RES-Type3_B	npts=24	interval=1	Mult=(...)
9	New Loadshape.RES-Type3_C	npts=24	interval=1	Mult=(...)
10	New Loadshape.COM-Type1_A	npts=24	interval=1	Mult=(...)
11	New Loadshape.COM-Type1_B	npts=24	interval=1	Mult=(...)
12	New Loadshape.COM-Type1_C	npts=24	interval=1	Mult=(...)
13	New Loadshape.COM-Type2_A	npts=24	interval=1	Mult=(...)
14	New Loadshape.COM-Type2_B	npts=24	interval=1	Mult=(...)
15	New Loadshape.COM-Type2_C	npts=24	interval=1	Mult=(...)
16	New Loadshape.COM-Type3_A	npts=24	interval=1	Mult=(...)
17	New Loadshape.COM-Type3_B	npts=24	interval=1	Mult=(...)
18	New Loadshape.COM-Type3_C	npts=24	interval=1	Mult=(...)
19	New Loadshape.COM-Type4_A	npts=24	interval=1	Mult=(...)
20	New Loadshape.COM-Type4_B	npts=24	interval=1	Mult=(...)
21	New Loadshape.COM-Type4_C	npts=24	interval=1	Mult=(...)

RES – Type 1:  $\text{kW} \leq 5$  (fases A, B ou C)

RES – Type 2:  $5 < \text{kW} \leq 10$  (fases A, B ou C)

RES – Type 3:  $\text{kW} > 10$  (fases A, B ou C)

COM – Type 1:  $\text{kW} \leq 5$  (fases A, B ou C)

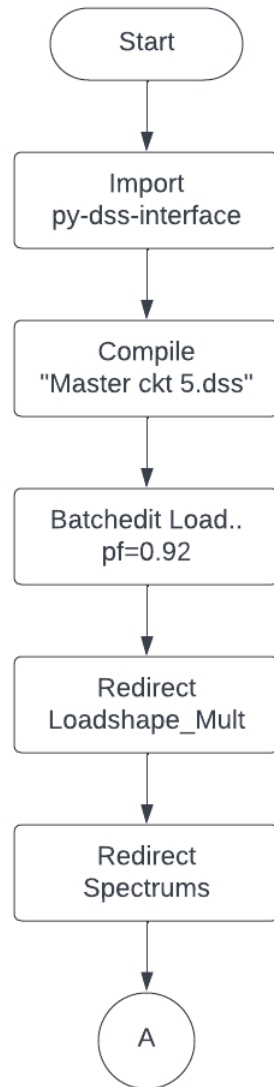
COM – Type 2:  $5 < \text{kW} \leq 10$  (fases A, B ou C)

COM – Type 3:  $10 < \text{kW} \leq 15$  (fases A, B ou C)

COM – Type 4:  $\text{kW} > 15$  (fases A, B ou C)



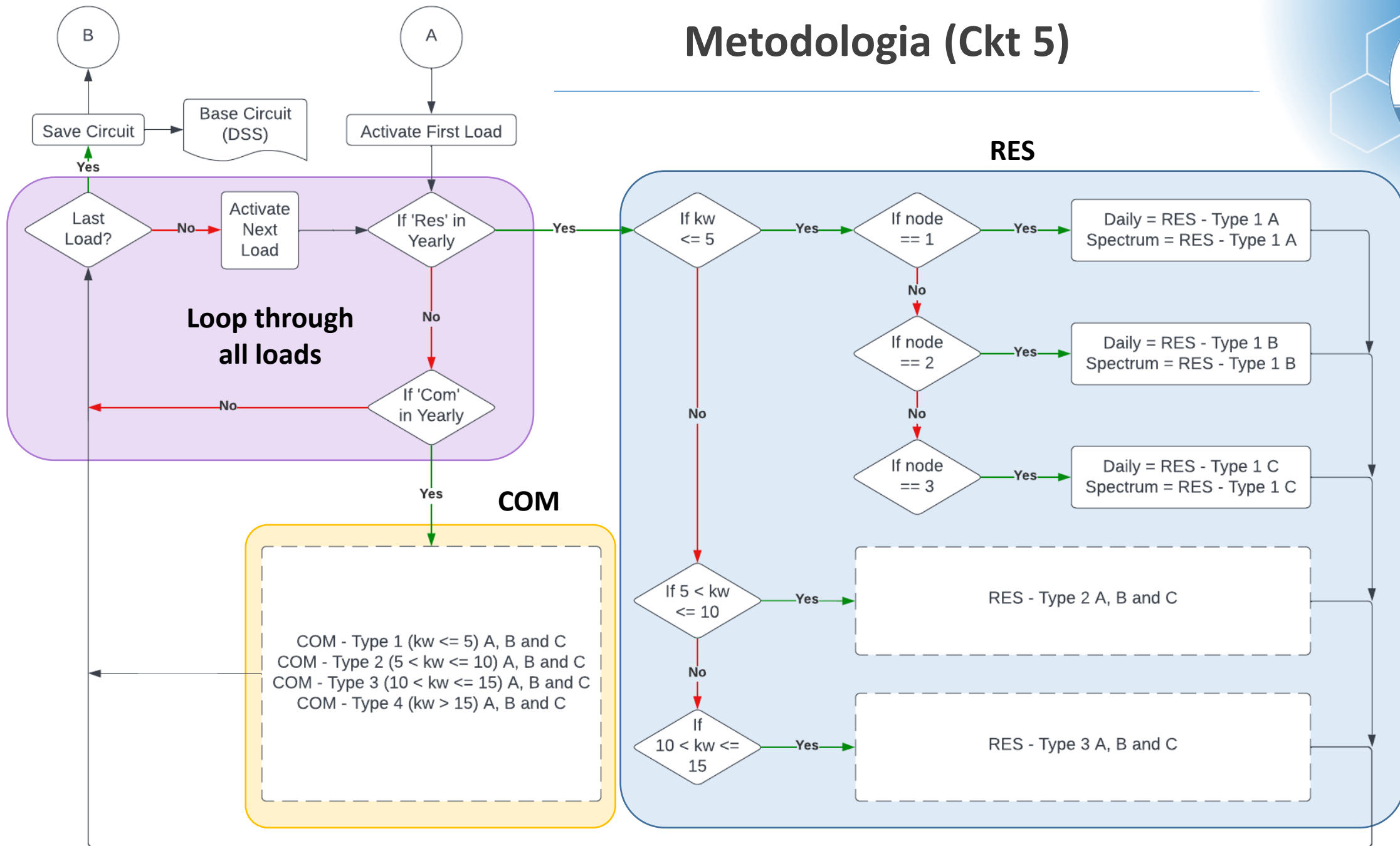
# Metodologia (Ckt 5)



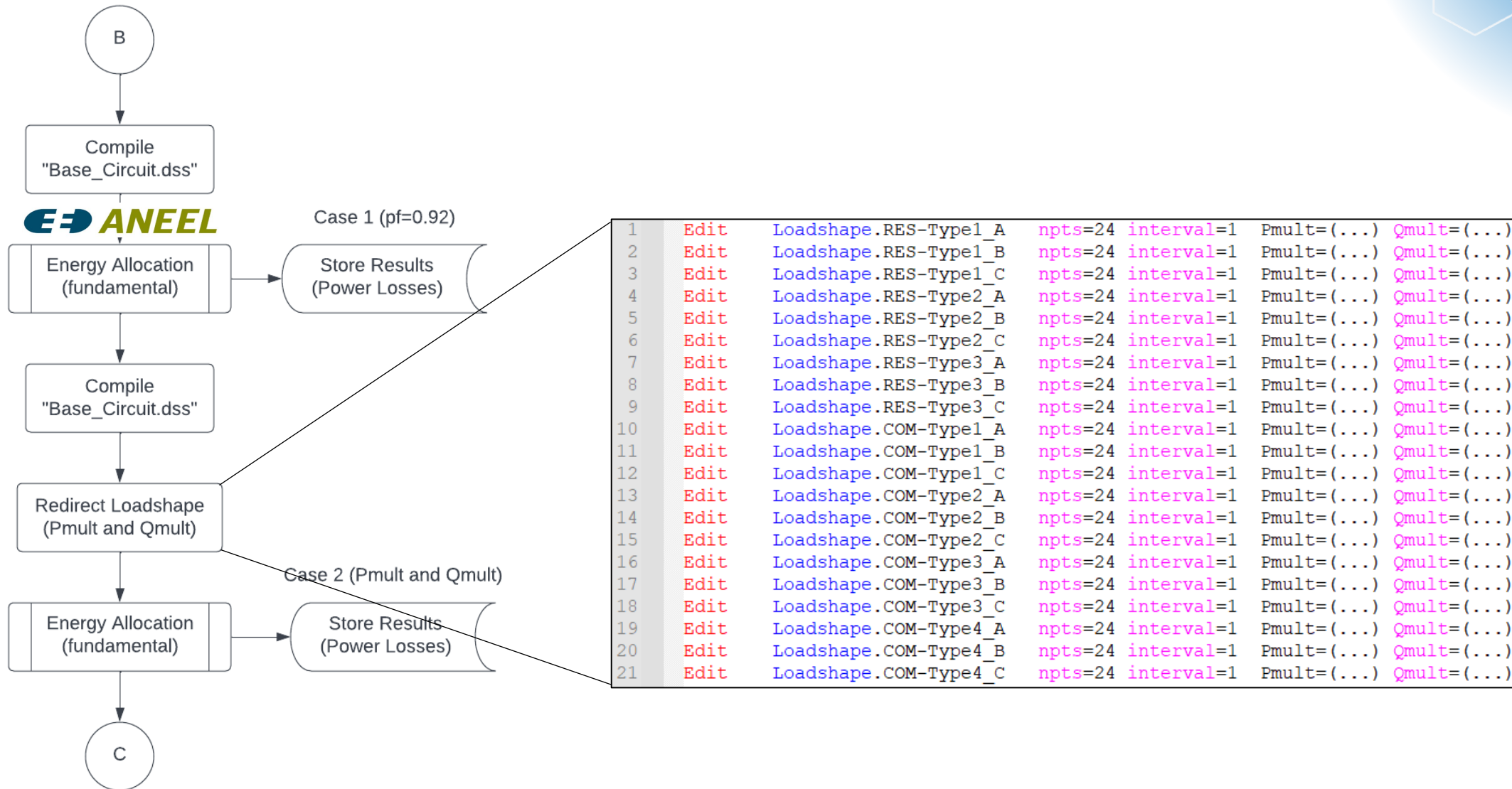
504 Espectros (21 tipos de Loadshapes x 24 horas)

1	New spectrum.RES-Type1	A_H0	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
2	New spectrum.RES-Type1	A_H1	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
3	New spectrum.RES-Type1	A_H2	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
4	New spectrum.RES-Type1	A_H3	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
5	New spectrum.RES-Type1	A_H4	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
6	New spectrum.RES-Type1	A_H5	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
7	New spectrum.RES-Type1	A_H6	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
8	New spectrum.RES-Type1	A_H7	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
9	New spectrum.RES-Type1	A_H8	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
10	New spectrum.RES-Type1	A_H9	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
11	New spectrum.RES-Type1	A_H10	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
12	New spectrum.RES-Type1	A_H11	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
13	New spectrum.RES-Type1	A_H12	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
14	New spectrum.RES-Type1	A_H13	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
15	New spectrum.RES-Type1	A_H14	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
16	New spectrum.RES-Type1	A_H15	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
17	New spectrum.RES-Type1	A_H16	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
18	New spectrum.RES-Type1	A_H17	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
19	New spectrum.RES-Type1	A_H18	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
20	New spectrum.RES-Type1	A_H19	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
21	New spectrum.RES-Type1	A_H20	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
22	New spectrum.RES-Type1	A_H21	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
23	New spectrum.RES-Type1	A_H22	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)
24	New spectrum.RES-Type1	A_H23	NumHarm=25	harmonic=(...)	%mag=(...)	angle=(...)

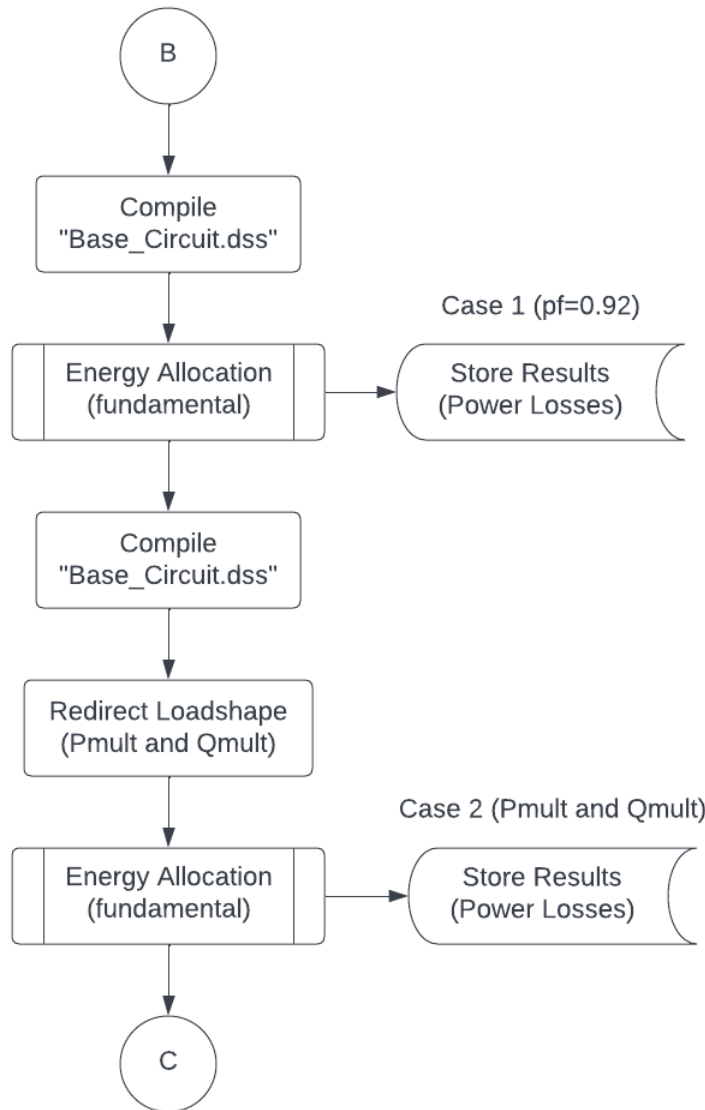
# Metodologia (Ckt 5)



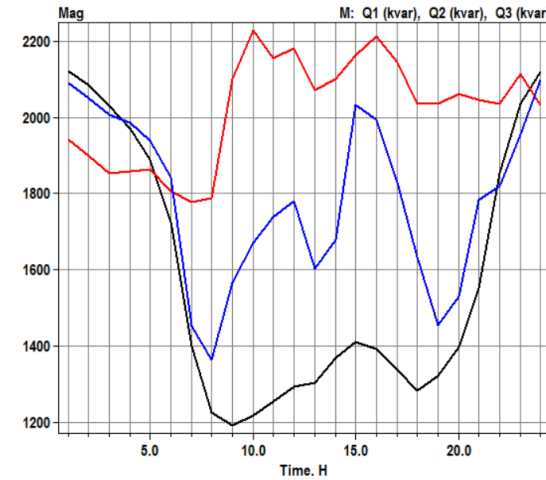
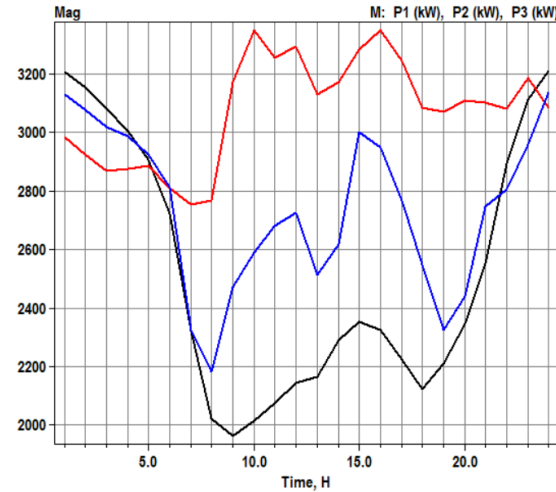
# Metodologia (Fluxo de Potência Fundamental)



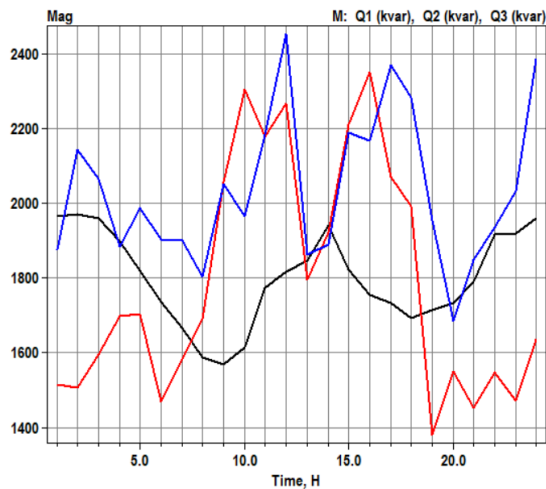
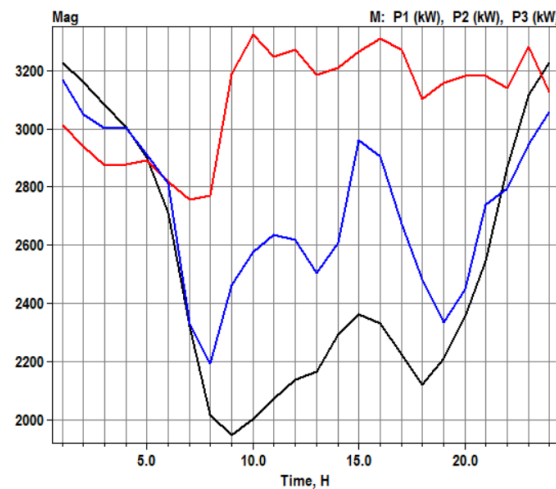
# Metodologia (Fluxo de Potência Fundamental)



Potências Ativas e Reativas do Alimentador

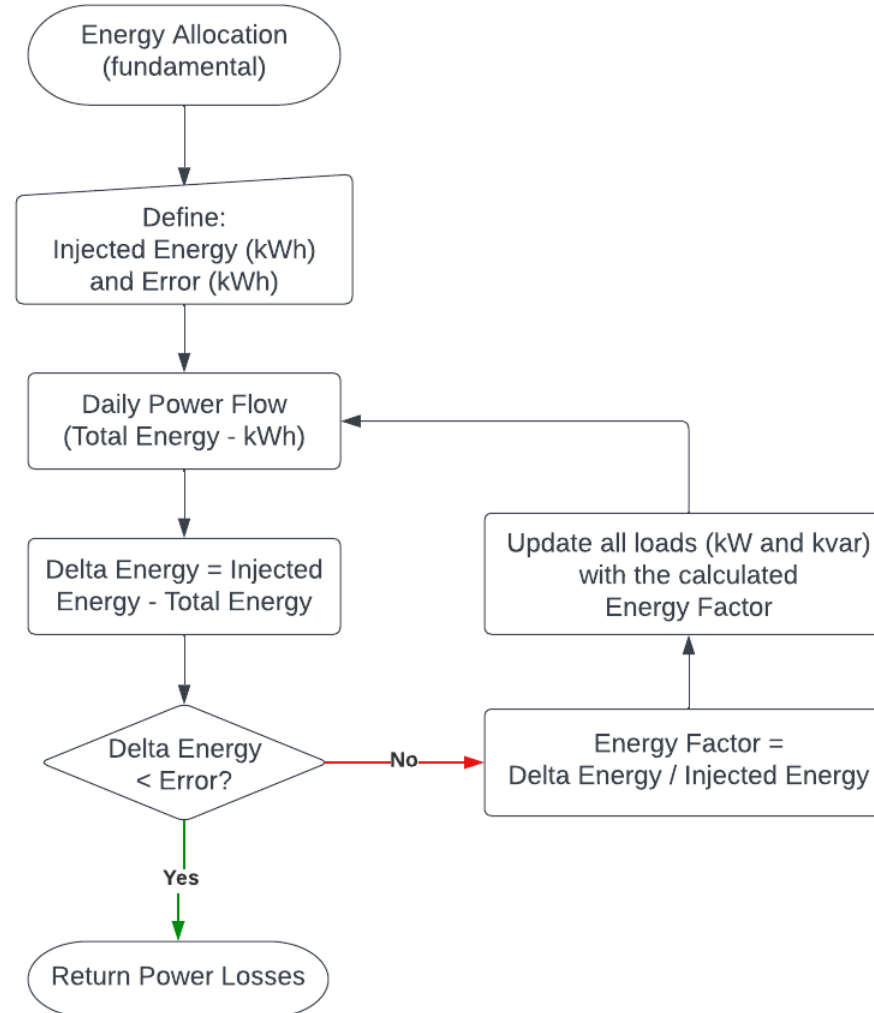
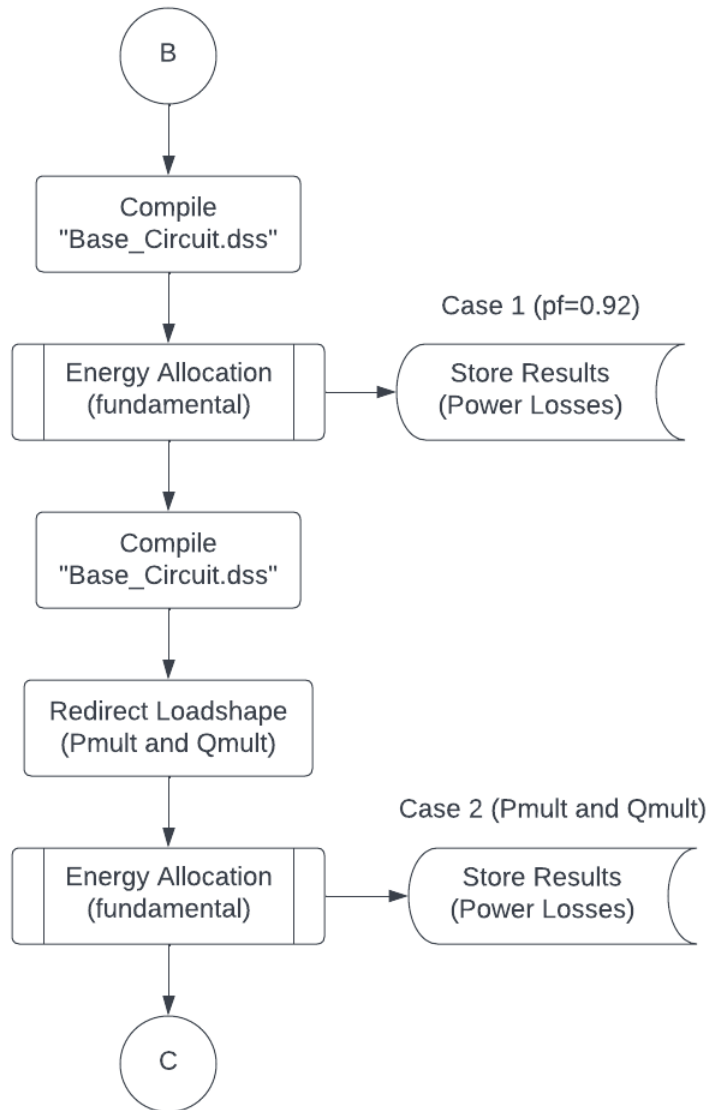


PF = 0.92

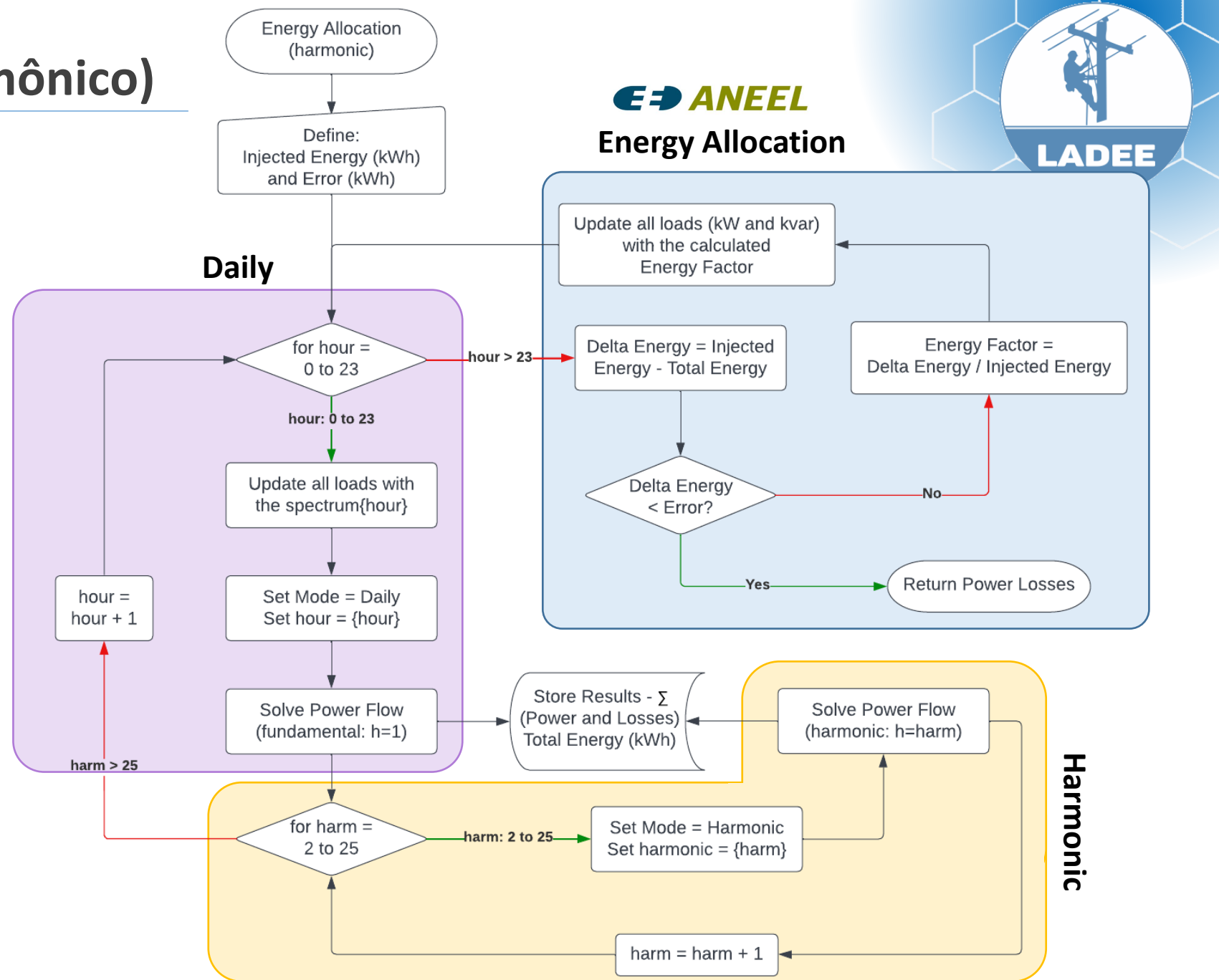
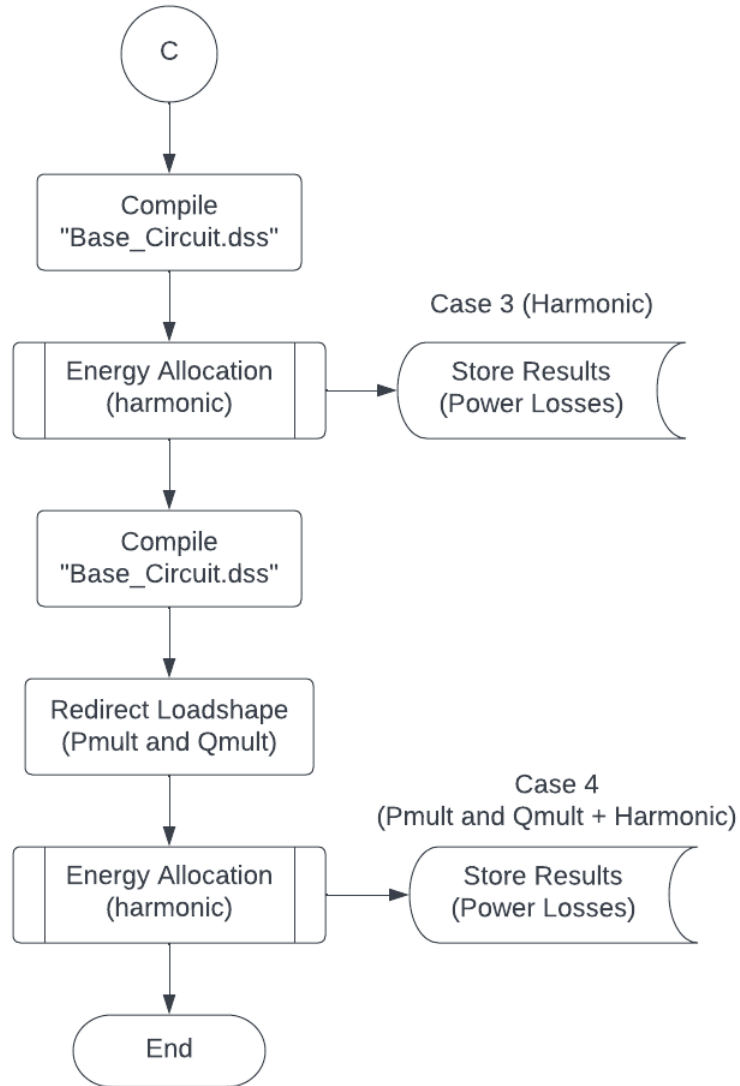


Pmult and Qmult

# Metodologia (Fluxo de Potência Fundamental)



# Metodologia (Fluxo de Potência Harmônico)



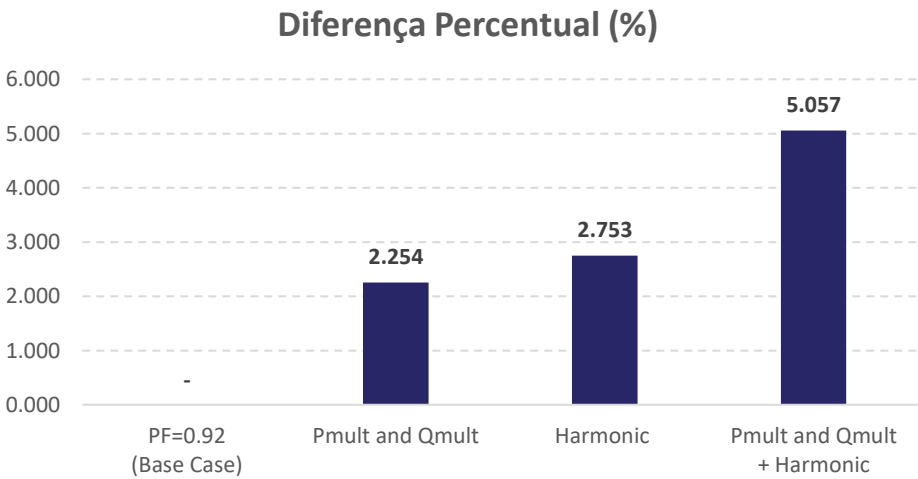
# Resultados



📌 Aumento das perdas devido à consideração do fator de potência real ( $\neq 0.92$ )

📌 Aumento das perdas devido à consideração das distorções harmônicas

CASO	Energia Ativa Total (kWh)	Perda Ativa Total (kWh)	Perda Percentual (%)	Diferença Percentual (%)	Notas
1	200,000	8598,139	4.299	-	PF = 0.92 (Caso Base)
2	200,000	8791,945	4.396	+ 2.254	Pmult and Qmult
3	200,000	8834,825	4.417	+ 2.753	Harmônicas
4	200,000	9032,953	4.516	+ 5.057	Pmult and Qmult + Harmônicas





# Conclusões

---

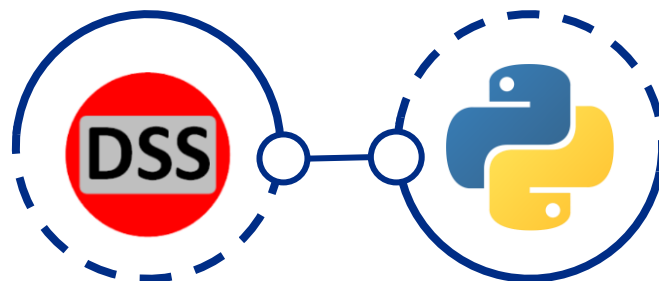


- **Discussões sobre melhorias na metodologia da ANEEL é pertinente.**
- **Modelagem das cargas de forma mais real (distorções harmônicas e fator de potência) impacta no cálculo de perdas.**
- **Os dados de entrada são relevantes, então medições de QEE são necessárias.**
- **Para este estudo, ambas análises, considerando a variação do fator de potência e as distorções harmônicas, implicaram em um incremento de perdas.**





## Quantificação das perdas de energia em condições harmônicas e fator de potência variável



M.Sc. Eduardo Tavares Silvério  
([eduardot.silverio@hotmail.com](mailto:eduardot.silverio@hotmail.com))

M.Sc. Lucas Rodrigues de Almeida  
([ralmeida.lucas@gmail.com](mailto:ralmeida.lucas@gmail.com))