



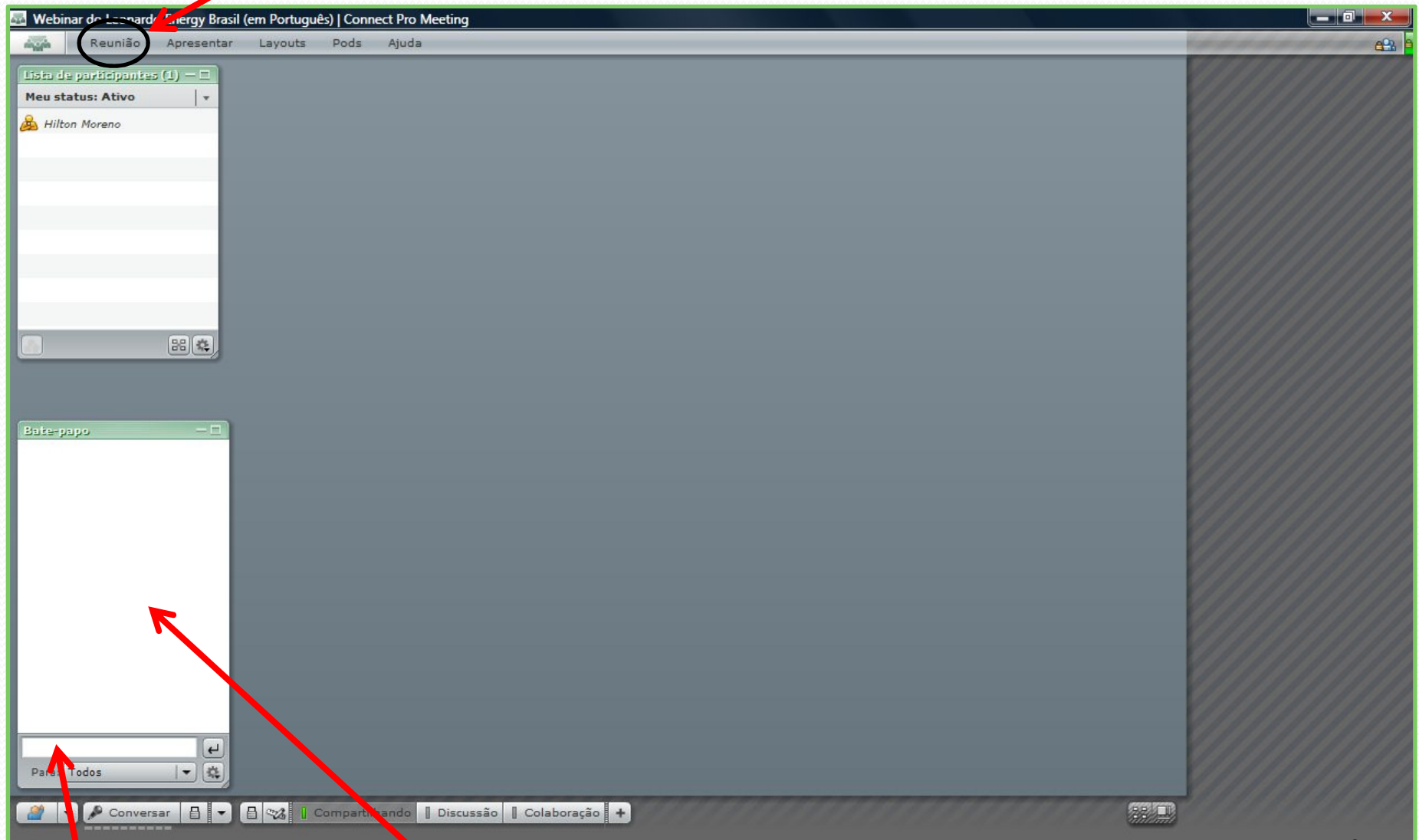
## **BEM-VINDOS AO WEBINAR**

### ***“Estado da Arte de Transformadores Eficientes nas Redes de Distribuição de Energia Elétrica”***

**Apresentador: Engº Diego Coriolano**  
**Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Itajubá**  
**[www.unifei.edu.br](http://www.unifei.edu.br)**



**1. Teste de som: Reunião → Gerenciar minhas configurações → Assistente de configuração de áudio → Sigam as instruções.**



**3. Digitem aqui**

**2. Espaço para apresentação pessoal, eventuais perguntas e/ou comentários - respostas no final da apresentação.**



## **PRINCIPAIS REGRAS DESTE WEBINAR:**

- As perguntas e/ou comentários deverão ser feitas unicamente por escrito, utilizando-se o campo apropriado;
- Perguntas e/ou comentários podem ser enviadas durante o desenvolvimento da apresentação, mas serão respondidas somente após o final da mesma;
- Pode acontecer que, dependendo do número de perguntas e do tempo disponível, algumas perguntas fiquem sem resposta durante o webinar;
- Se houver interrupção inesperada do webinar, certifique-se que sua conexão com a internet esteja funcionando normalmente e tente se conectar novamente;
- Não é emitido certificado de participação no webinar.

## **PALESTRANTE: Engº Diego Coriolano**

Diego L. Coriolano nasceu em 1984 em Aracaju (SE).  
Recebeu o diploma de Engenheiro Eletricista pela  
Universidade Federal de Sergipe em 2007. Atualmente  
é aluno de Mestrado na Universidade Federal de  
Itajubá (MG).

## **MEDIADOR: Engº Eduardo Gradiz**

Consultor do Procobre – Instituto Brasileiro do Cobre



**Universidade Federal de Itajubá**  
**Instituto de Sistemas Elétricos e de Energia**  
**Laboratório de Alta Tensão**



---

# *Estado da Arte de Transformadores Eficientes nas Redes de Distribuição de Energia Elétrica*

---

***Eng° Diego Lopes Coriolano***

Sob orientação do **Prof. Dr. Manuel Luis Barreira Martinez**, coordenador do Laboratório de Alta Tensão e do Grupo de Estudos sobre Transformadores Eficientes da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).



# Sumário

---

- Introdução;
  - A Importância da Análise de Carga;
  - O que é Fator de Energia Consumida – FE;
  - Banco de Dados;
- Análise da Carga;
  - Faturamento Mensal;
  - Medições dos Transformadores em Campo;
- Comparação entre Metodologias;
- Comentários Finais.



# Introdução

---

- A importância da Análise de carga:
  - Este estudo estatístico é a etapa mais importante para os projetos de transformadores eficientes objetivando reduzir os custos operacionais e aumentar o uso eficiente de energia. Com isso, é discutido o estudo das cargas com a finalidade de avaliar a possibilidade da substituição dos transformadores padrões por unidades eficientes.



# Fator de Energia Consumida - FE

- Indica o tempo total durante um dia (24 horas), que o transformador operando a plena carga necessitaria para apresentar as perdas série de um ciclo normal de carga média.

$$FE = \frac{24}{n_d} \cdot \sum_{i=1}^{n_d} \left( \frac{S_i}{S_n} \right)^2$$

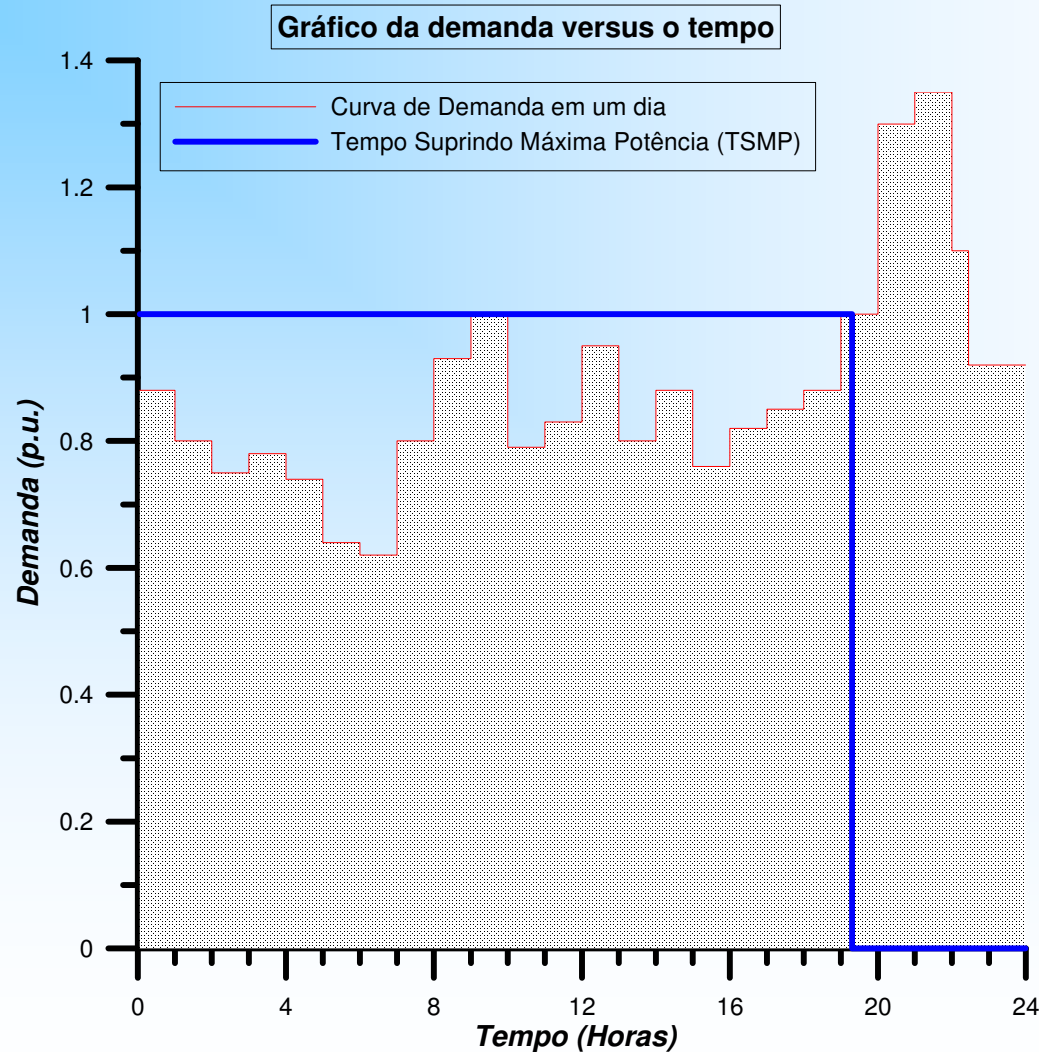
- Perdas em Carga do Transformador

$$C_{WL} = 0,365 \cdot C_{EE} \cdot FE \cdot W_L$$





# Fator de Energia Consumida - FE





# Banco de Dados

---

- Dados fornecidos pela AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S.A.:
  - Potência Transformador (kVA);
  - Quantidade de Clientes;
  - Demanda Mensal Máxima;
  - Consumo por Tipo de Cliente;
  - Fase do Transformador.



# Banco de Dados

---

- Divisão dos Consumidores:
  - Classes de Consumo
    - Residencial;
    - Comercial;
    - Industrial;
    - Rural;
    - Outros;
  - Potência de Transformador
    - Monofásico (5, 10, 15, 30 kVA);
    - Trifásico (30, 45, 75, 112,5 kVA);



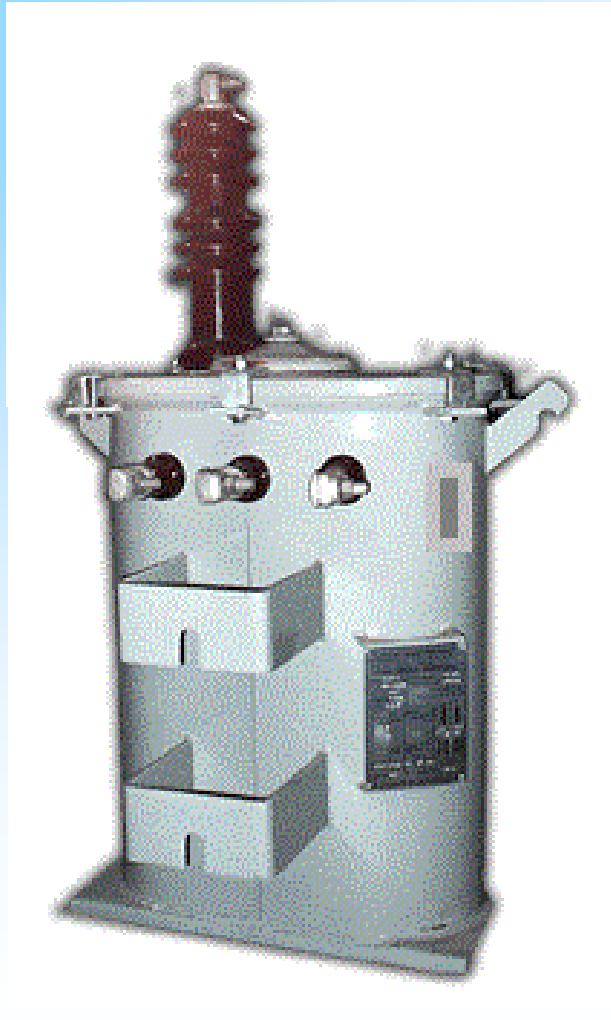
# Banco de Dados

---

- Dados Descartados para análise:
  - Consumo mínimo transformadores monofásicos (30 kWh) e trifásicos (100 kWh);
  - Demanda Máxima maior que 3 p.u.
- *Software* estatístico **MINITAB 14<sup>®</sup>**;
- Distribuições utilizadas;
- “Erros de modelo” – Valores Negativos de Demanda.



# Transformadores Monofásicos





# Análise Estatística

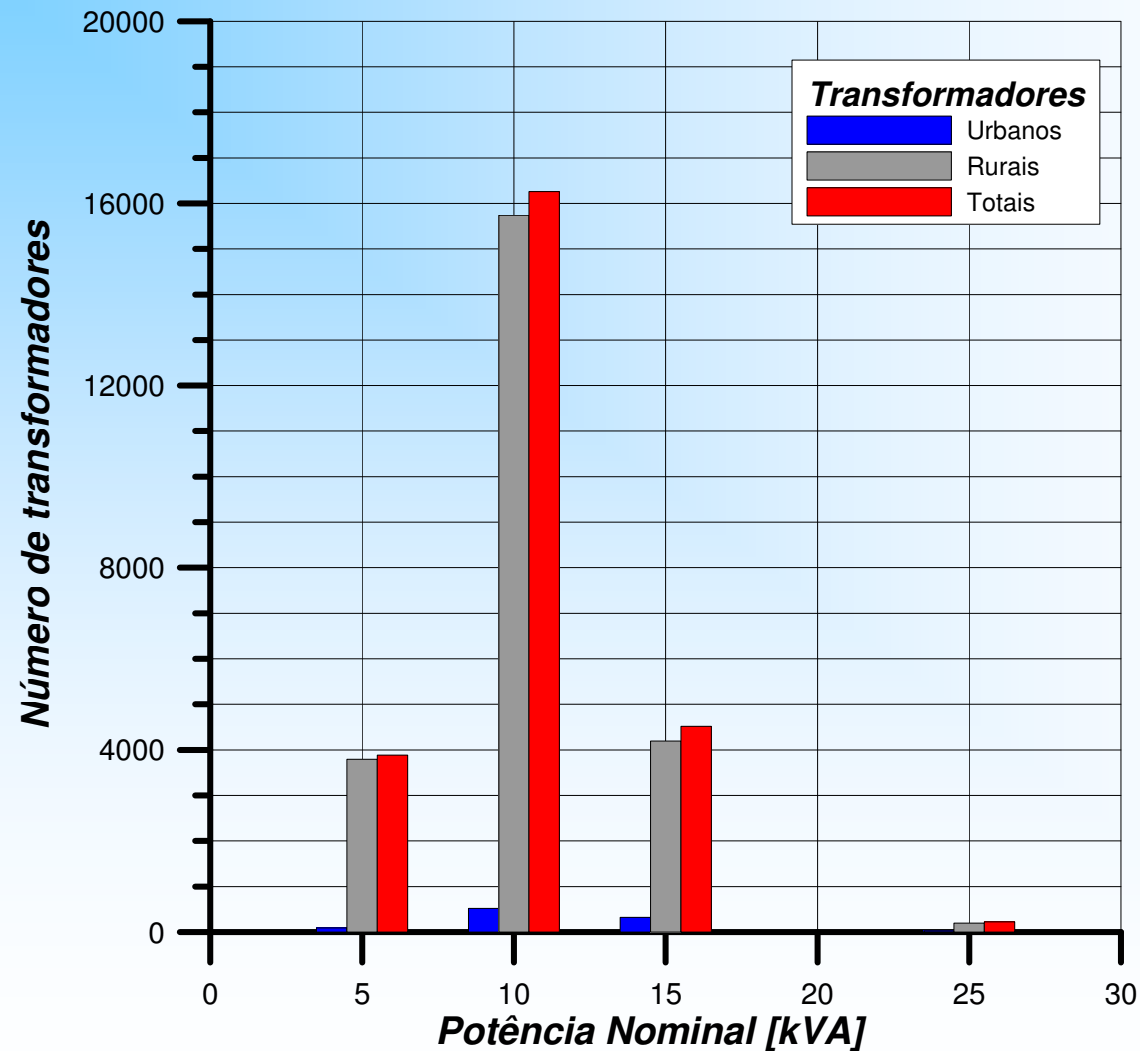
---

- Metodologias utilizadas:
  - Faturamento Mensal da Empresa;
  - Medições dos Transformadores em Campo;



# Faturamento Mensal da Empresa

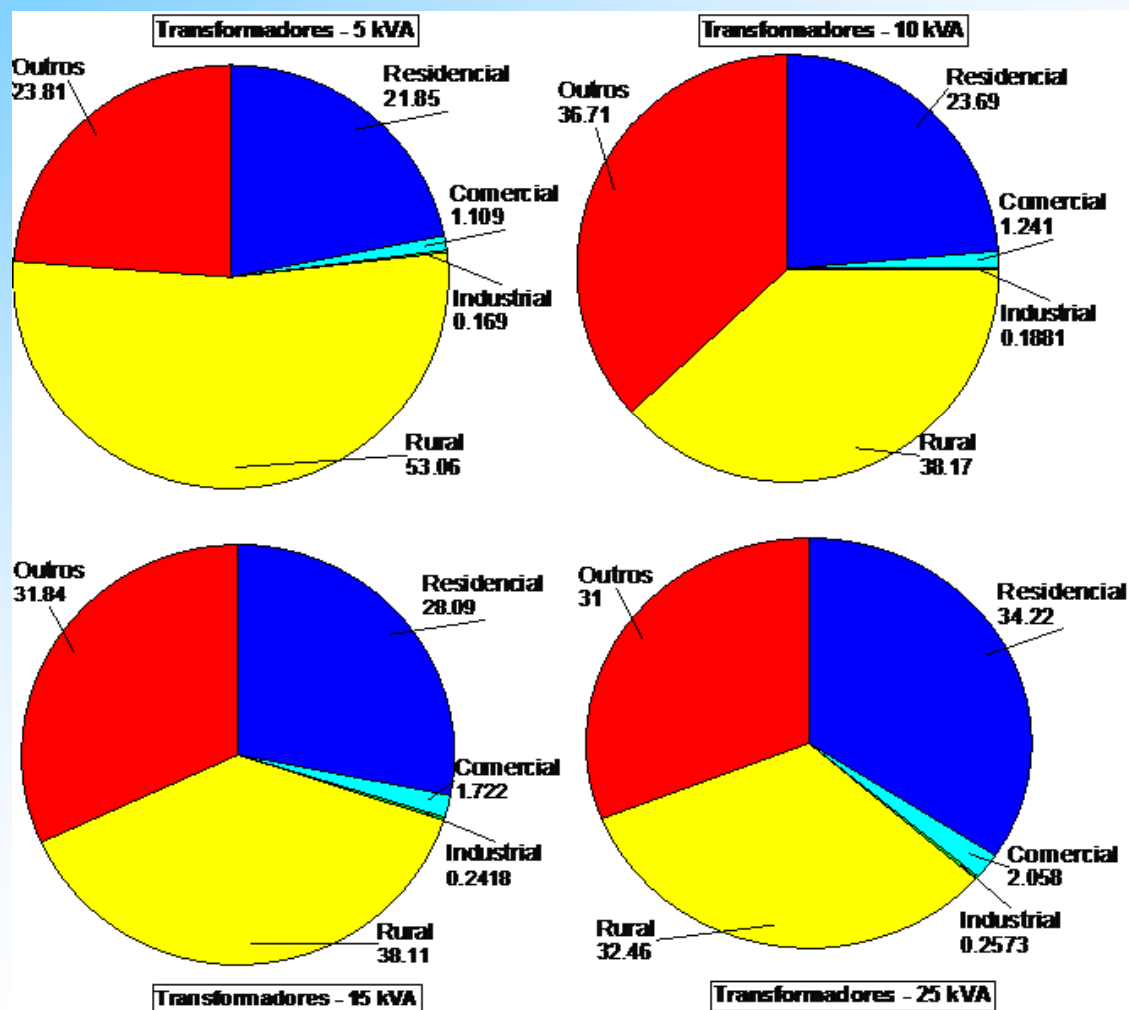
## População dos Transformadores





# Faturamento Mensal da Empresa

## População dos Transformadores







# Faturamento Mensal da Empresa

## Característica de Consumo

- Distribuições estatísticas utilizadas;

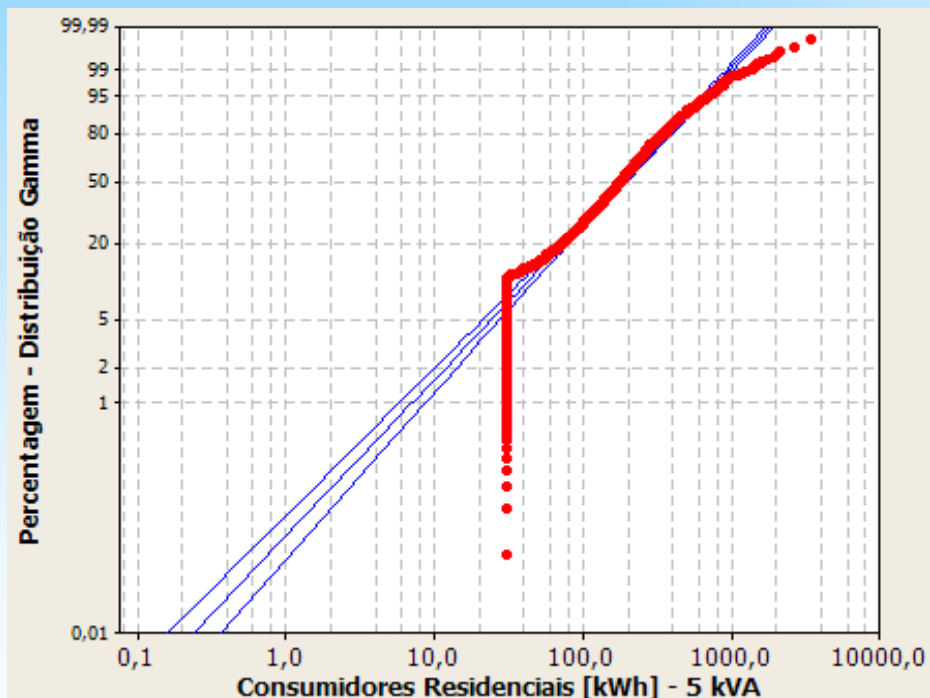
	Consumidores (kWh)				
	<i>Residenciais</i>	<i>Comerciais</i>	<i>Industriais</i>	<i>Rurais</i>	<i>Outros</i>
<b>MÉDIA</b>	237,58	163,12	181,88	359,73	237,80
<b>DESVIO PADRÃO</b>	252,02	226,79	191,94	341,80	401,24
<b>CONSUMO TOTAL</b>	338.791	16.638	2.910	1.016.237	353.607
<b>PERCENTAGEM</b>	19,60%	0,96%	0,17%	58,80%	20,46%
<b>MODA</b>	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
<b>MÁXIMO</b>	3352,00	1431,00	790,00	5755,00	1.1897,00
<b>MÍNIMO</b>	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
<b>FREQUÊNCIA</b>	1426,00	102,00	16,00	2826,00	1.487,00



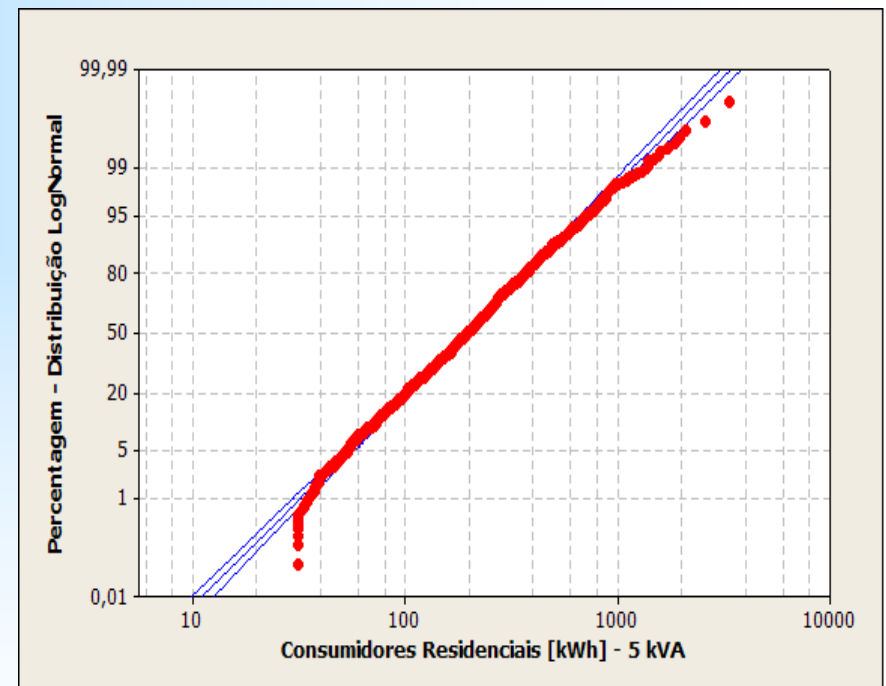
# Faturamento Mensal da Empresa

## Característica de Consumo

- Eliminação do consumo mínimo 30 kWh;



*Banco Original*

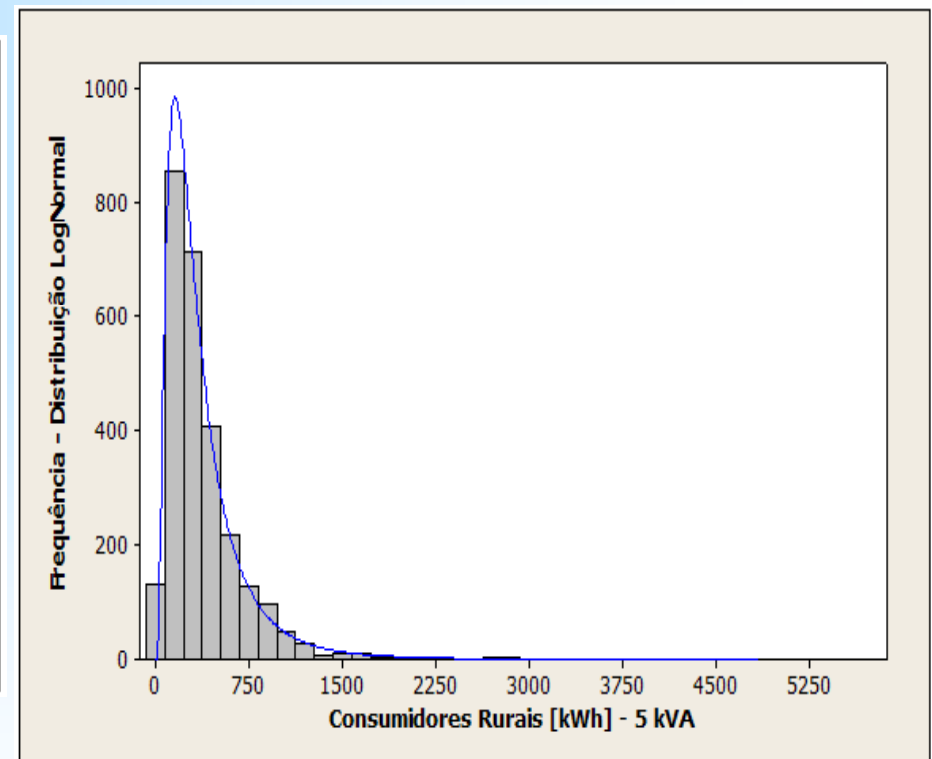
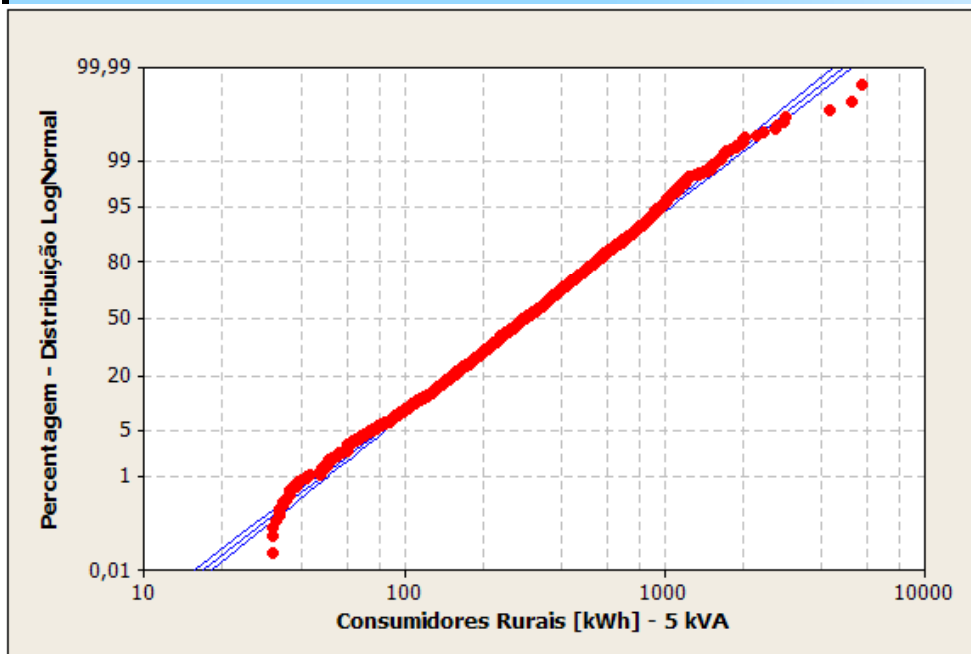


*Eliminação 30 kWh*



# Faturamento Mensal da Empresa

## Característica de Consumo





# Faturamento Mensal da Empresa

## Característica de Consumo

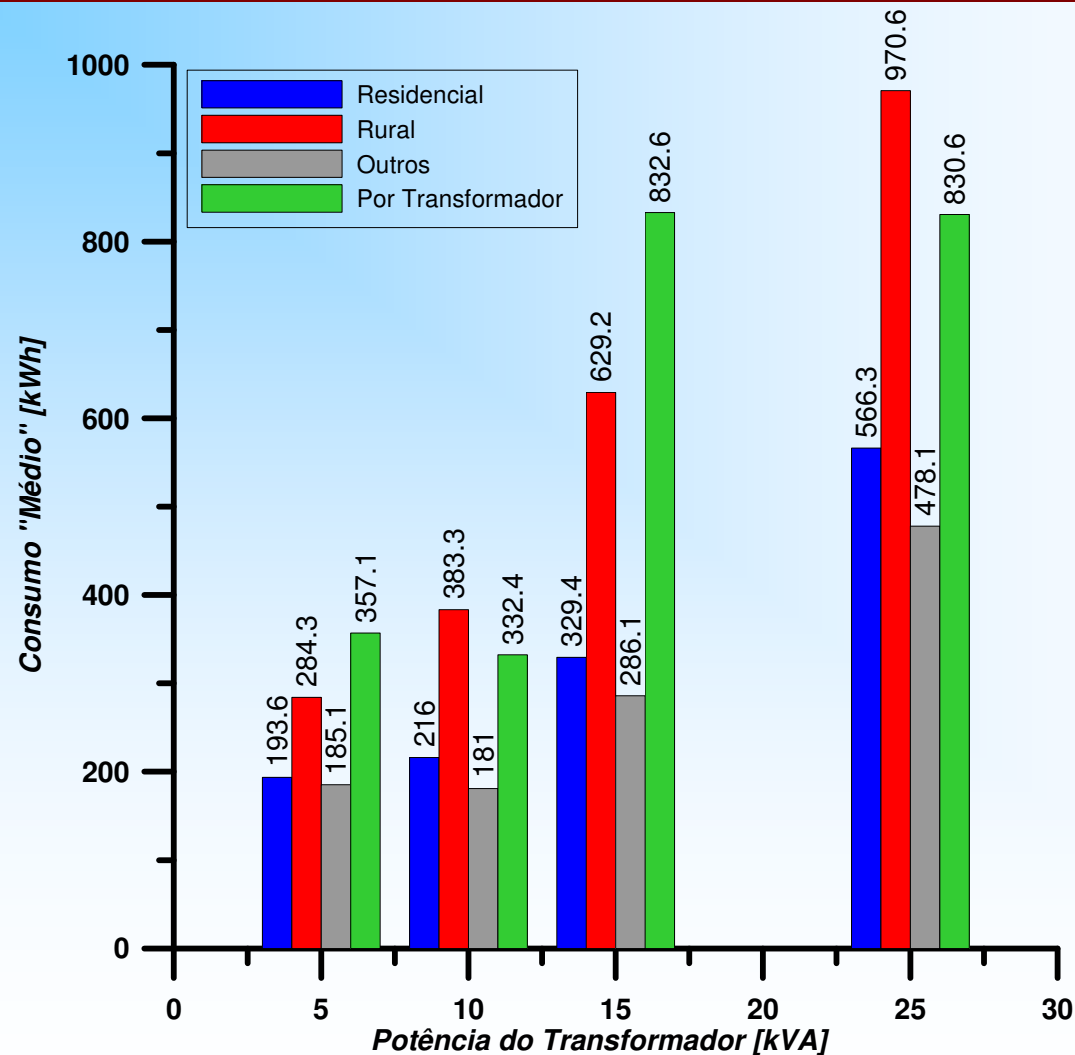
- Tabela do Consumo dos Transformadores de 5 kVA  
- Valores a partir das curvas de probabilidade

	<i>Consumo Residencial [kWh]</i>			<i>Consumo Comercial [kWh]</i>		
	<i>Média</i>	<i>Limite Mínimo</i>	<i>Limite Máximo</i>	<i>Média</i>	<i>Limite Mínimo</i>	<i>Limite Máximo</i>
<b>1%</b>	32,16	29,64	34,90	25,25	17,00	37,50
<b>5%</b>	54,42	50,98	58,08	44,40	32,41	60,82
<b>50%</b>	193,64	185,59	202,04	173,37	141,30	212,70
<b>95%</b>	689,06	645,61	735,44	676,94	494,14	927,35
<b>99%</b>	1165,89	1074,37	1265,21	1190,29	801,56	1767,53



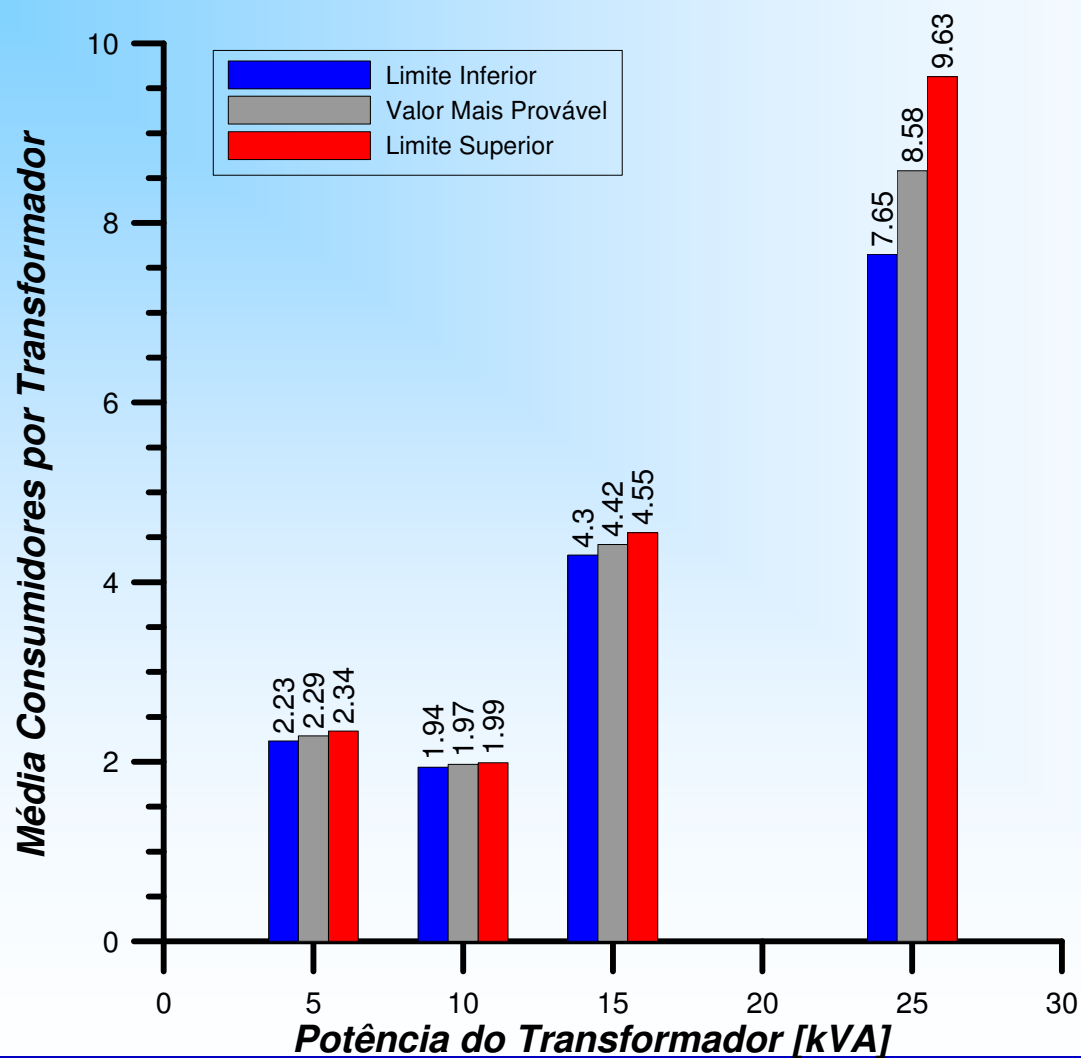
# Faturamento Mensal da Empresa

## Característica de Consumo





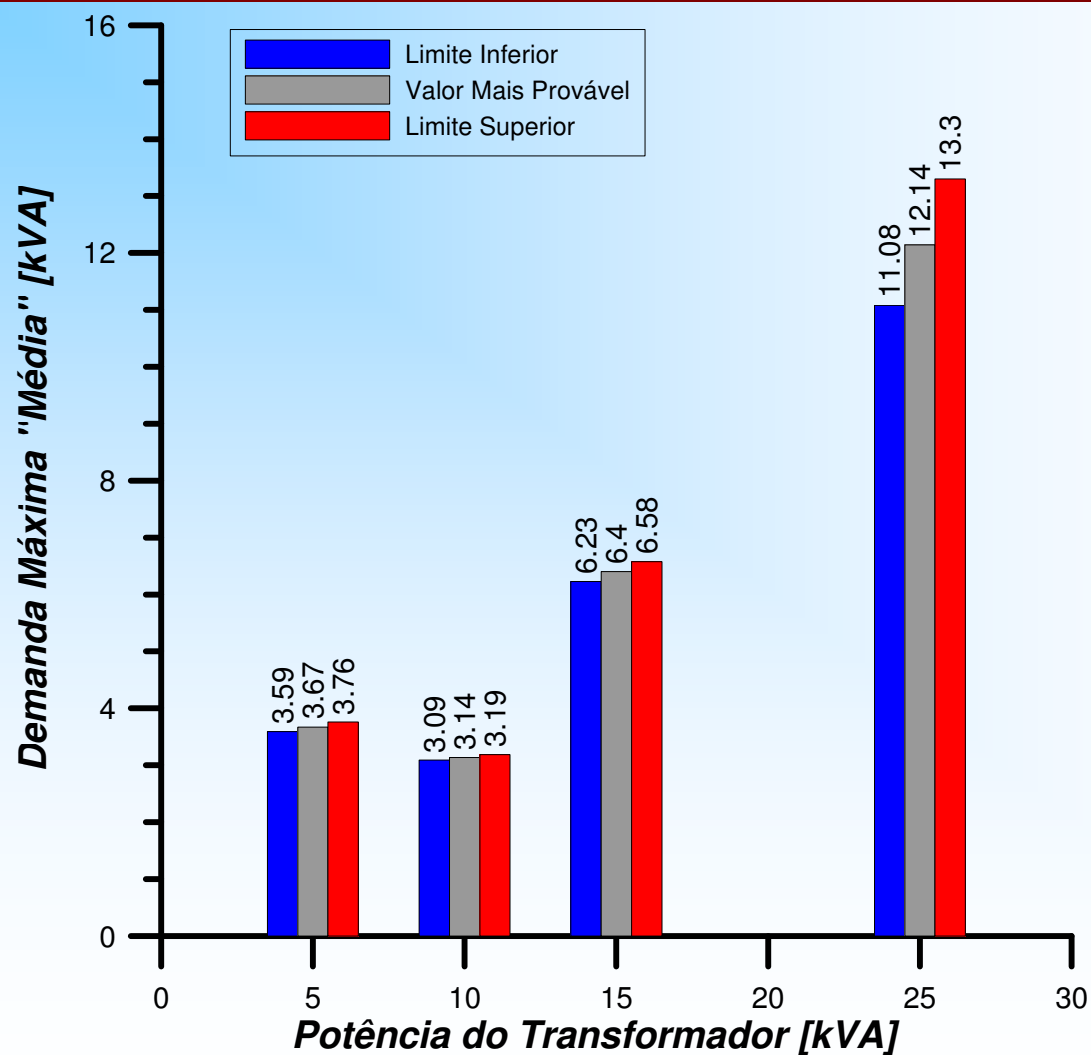
# Faturamento Mensal da Empresa Consumidores Por Transformador





# Faturamento Mensal da Empresa

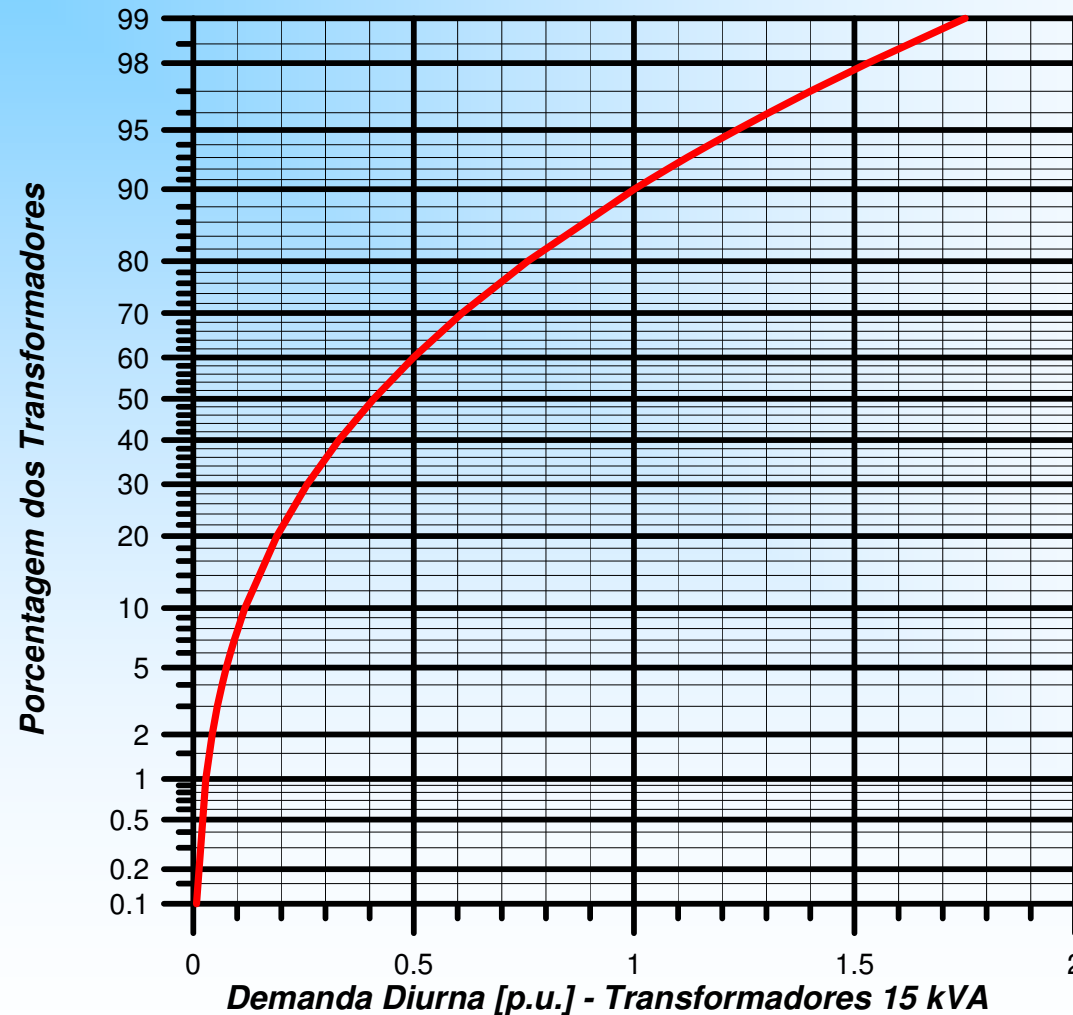
## Demanda Máxima Por Transformador





# Faturamento Mensal da Empresa

## Demanda Máxima Por Transformador







# Faturamento Mensal da Empresa

## Demanda Máxima Por Transformador

- Tabela do Carregamento dos Transformadores Monofásicos - Valores a partir das curvas de probabilidade

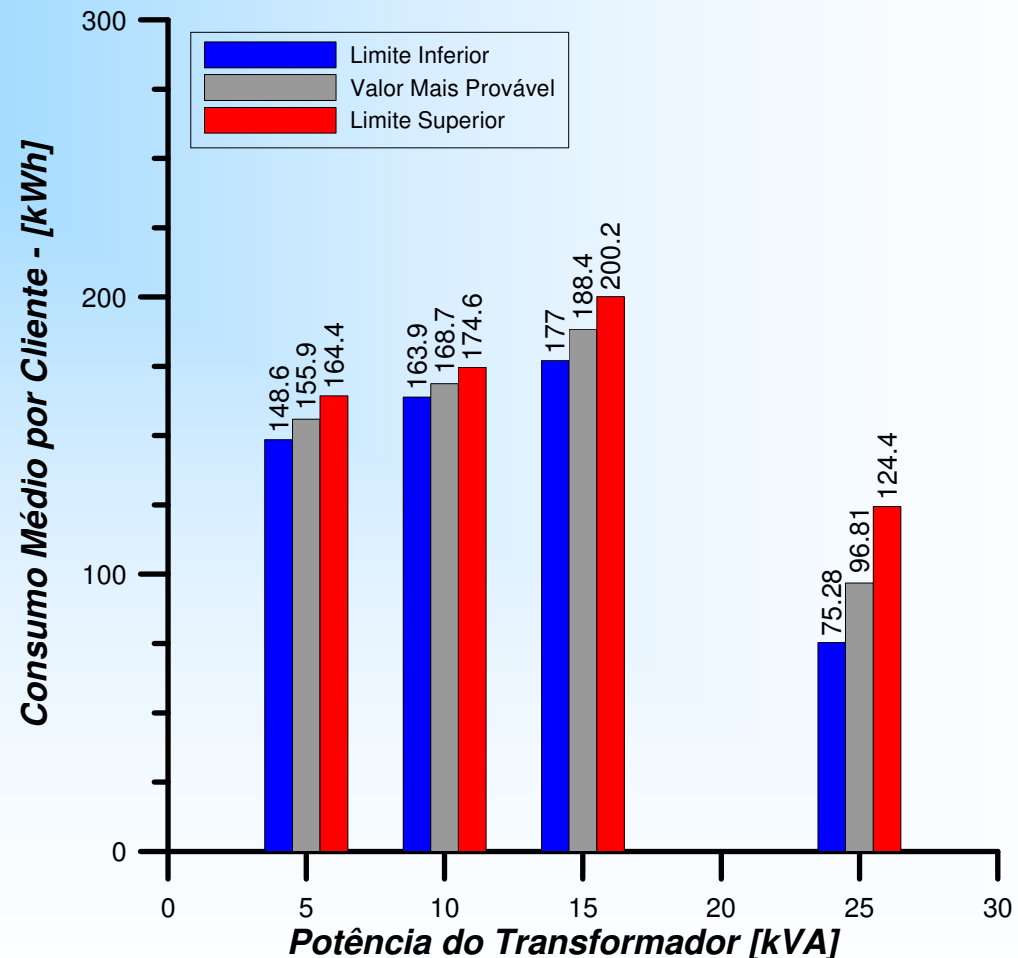
<b>Carga [p.u.]</b>	<b><i>Demanda Diurna [%]</i></b>				<b><i>Demanda Noturna [%]</i></b>			
	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>25</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>25</b>
<b>&lt; 0.20</b>	<9	<28	<21	<14	<11	<36	<22	<13
<b>&lt; 0.40</b>	<27	<63	<49	<40	<21	<58	<47	<39
<b>&lt; 0.70</b>	<56	<84	<76	<73	<51	<79	<74	<73
<b>&lt; 1.00</b>	<75	<92	<90	<91	<68	<89	<88	<91
<b>&lt; 1.20</b>	<84	<94	<94	<96	<82	<93	<93	<96
<b>&lt; 1.40</b>	<91	<96	<97	<98,5	<86	<95	<96	<98,5



# Faturamento Mensal da Empresa

## Consumo Médio por cliente

$$\bar{C}_C = \frac{\bar{C}_{TR}}{\bar{N}_{C-TR}}$$

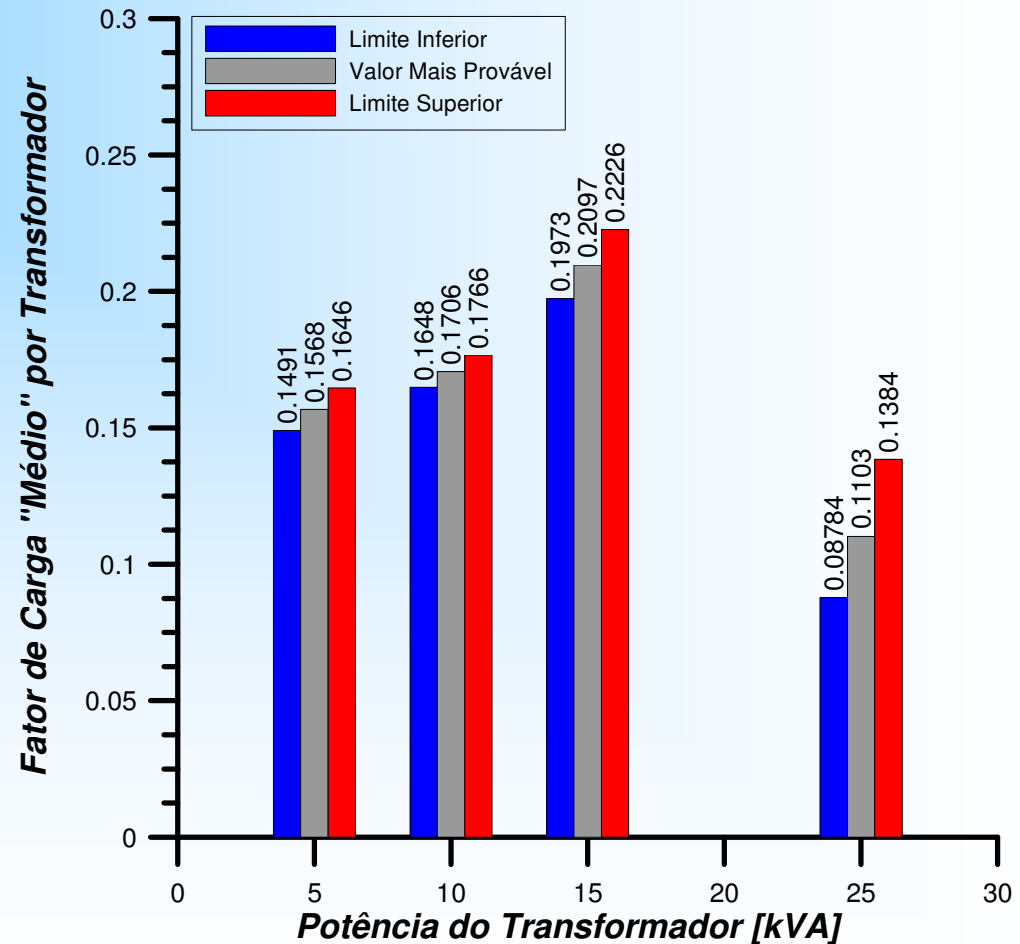




# Faturamento Mensal da Empresa

## Fator de Carga

$$\bar{F}_C = \frac{1}{730} \frac{\bar{C}_{TR}}{\bar{D}_{MTR} \cdot FP}$$





# Medições dos Transformadores em Campo

---

- Para este estudo foram utilizados dados provenientes de 153 transformadores: 69 monofásicos e 84 trifásicos ligados 24 horas durante cinco dias úteis coletados. As medições foram realizadas de 5 em 5 minutos. O grupo de transformadores monofásicos é composto por: 10 transformadores de 15 kVA, 30 transformadores de 10 kVA e 29 transformadores de 15 kVA.



# Medições dos Transformadores em Campo - TSMP

---

- Potência Real
  - Potência da placa do equipamento;
- Potência Nominal
  - Transformadores com demanda máxima semanal igual ou inferior a 4,25 kVA foram remanejados para o grupo de transformadores de 5 kVA;
  - Transformadores com demanda máxima semanal superior a 4,25 kVA e igual ou inferior a 8,5 kVA foram remanejados para o grupo de transformadores de 10 kVA;
  - Transformadores com demanda máxima semanal superior a 8,5 kVA foram remanejados para o grupo de transformadores de 15 kVA.



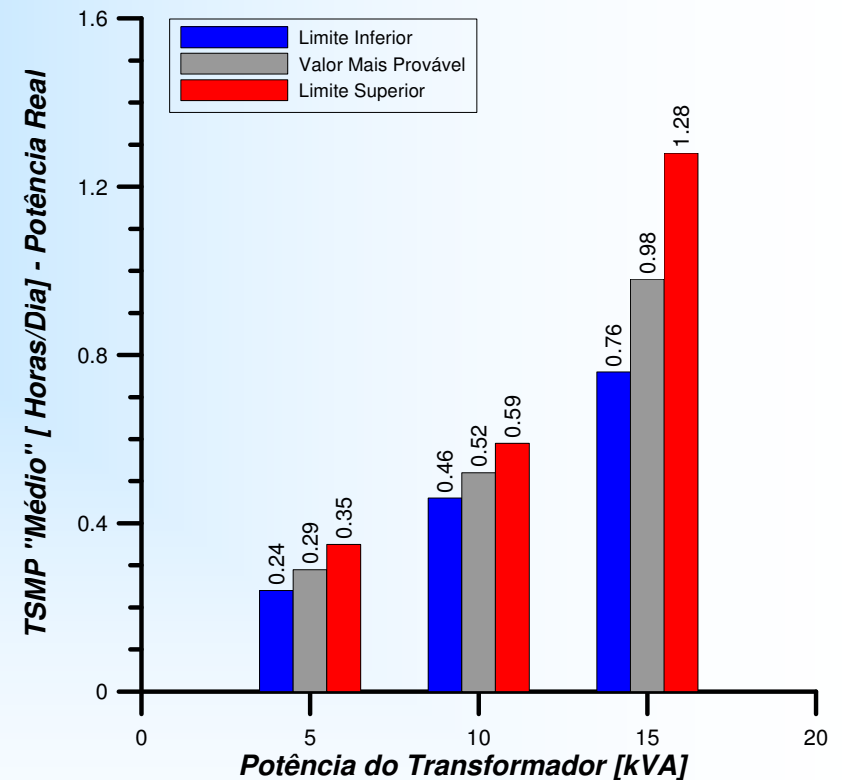
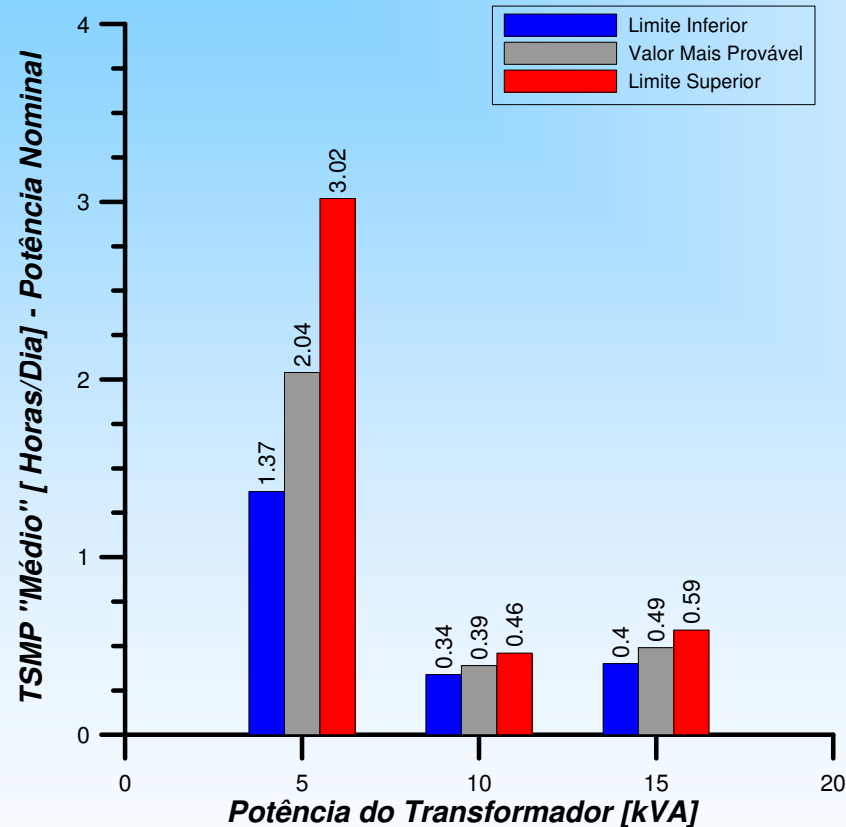
# Medições dos Transformadores em Campo - TSMP

---

- O grupo de transformadores de potência nominal ficou composto por: 10 transformadores de 5 kVA, 30 transformadores de 10 kVA e 29 transformadores de 15 kVA.
- Após o remanejamento criou-se o grupo de potência real, formado por: 22 transformadores de 5 kVA, 36 transformadores de 10 kVA e 11 transformadores de 15 kVA.



# Medições dos Transformadores em Campo - FE



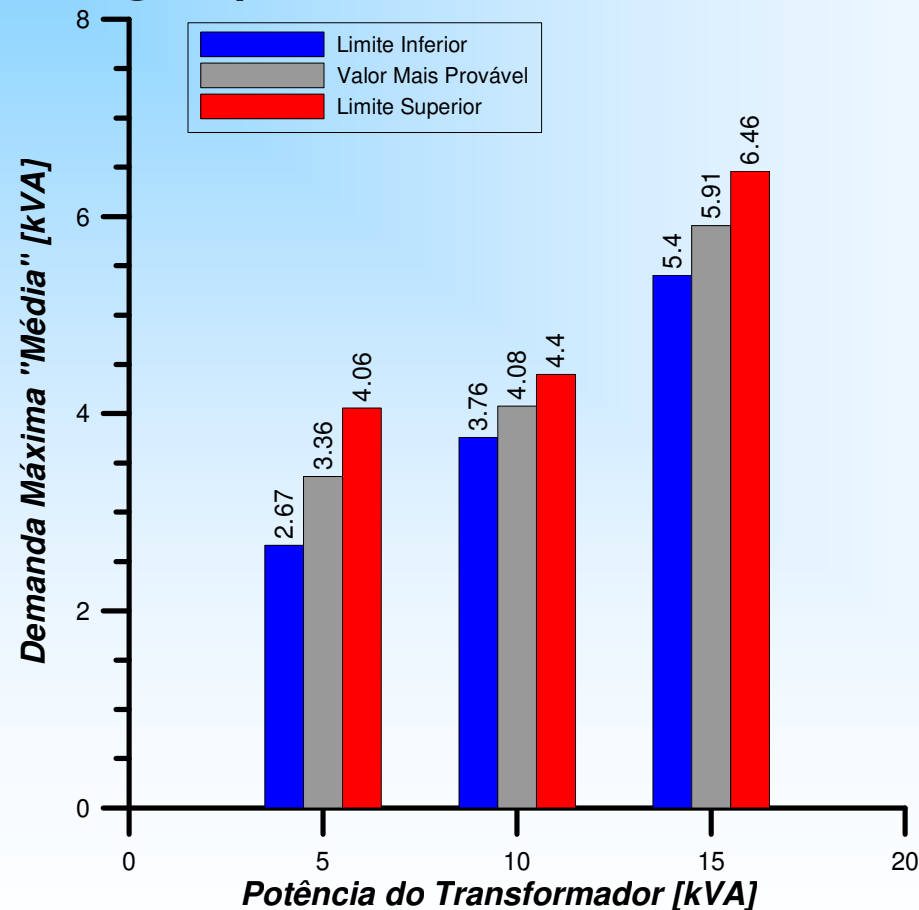
○ Potência Nominal

Potência Real



# Medições dos Transformadores em Campo – Demanda Máxima

- Utilizou-se o grupo Potência Nominal.







# Transformadores Trifásicos

---





# Análise Estatística

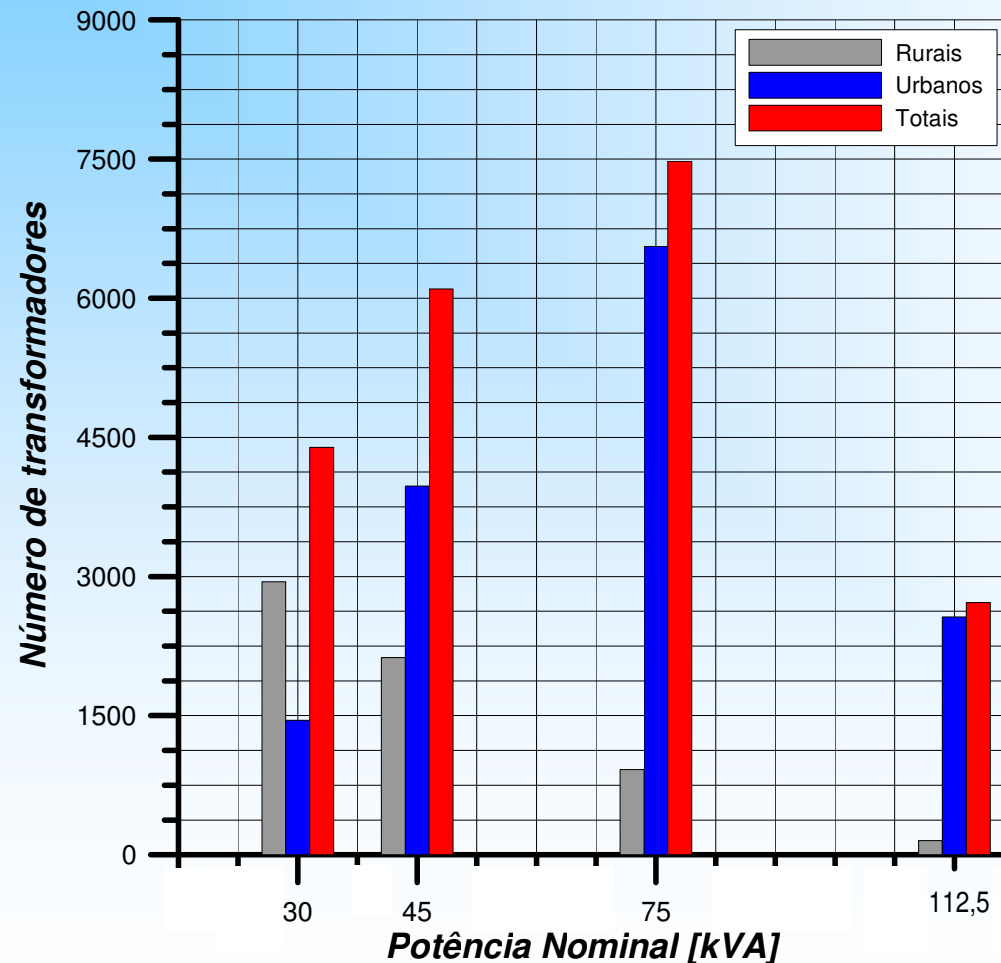
---

- Metodologias utilizadas:
  - Faturamento Mensal da Empresa;
  - Medições dos Transformadores em Campo;



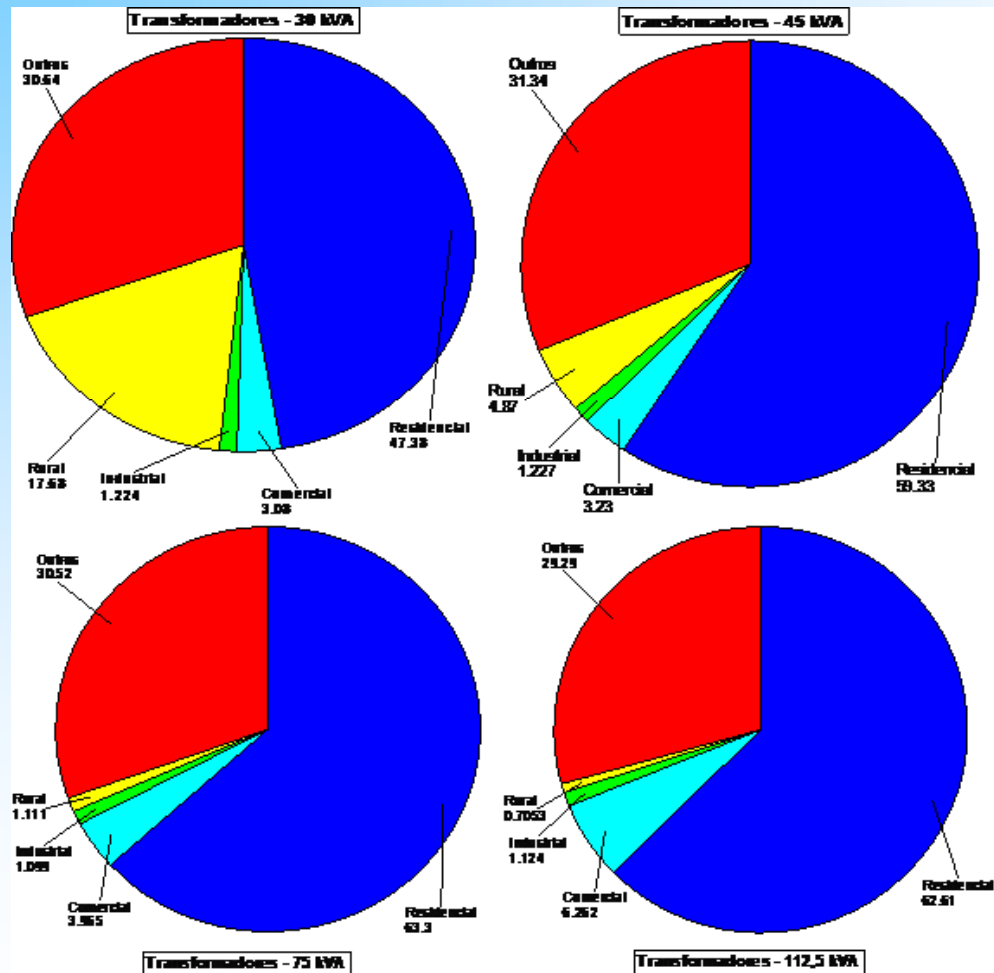
# Faturamento Mensal da Empresa

## População dos Transformadores





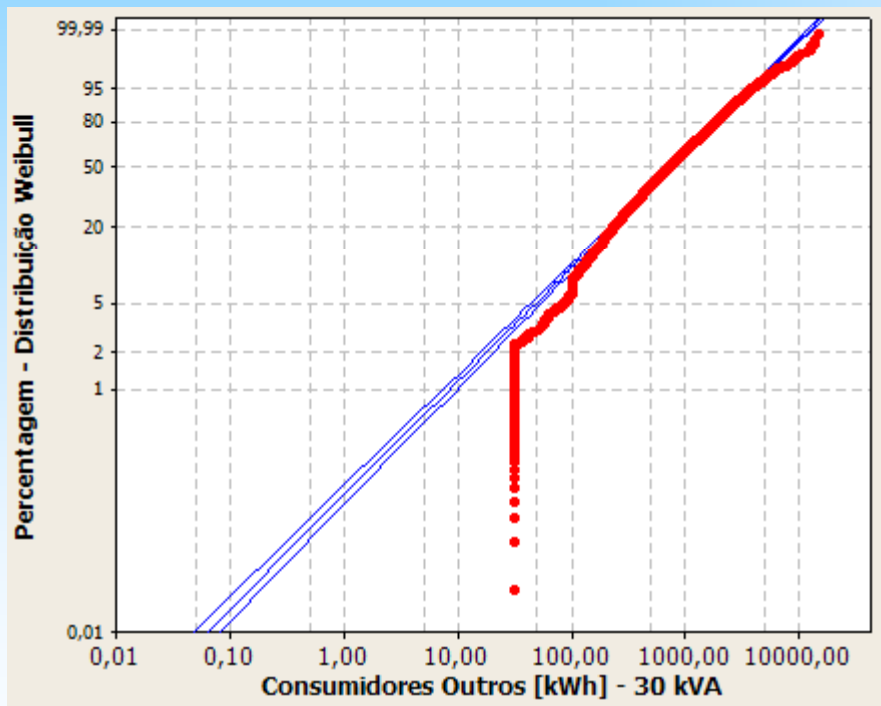
# Faturamento Mensal da Empresa População dos Transformadores



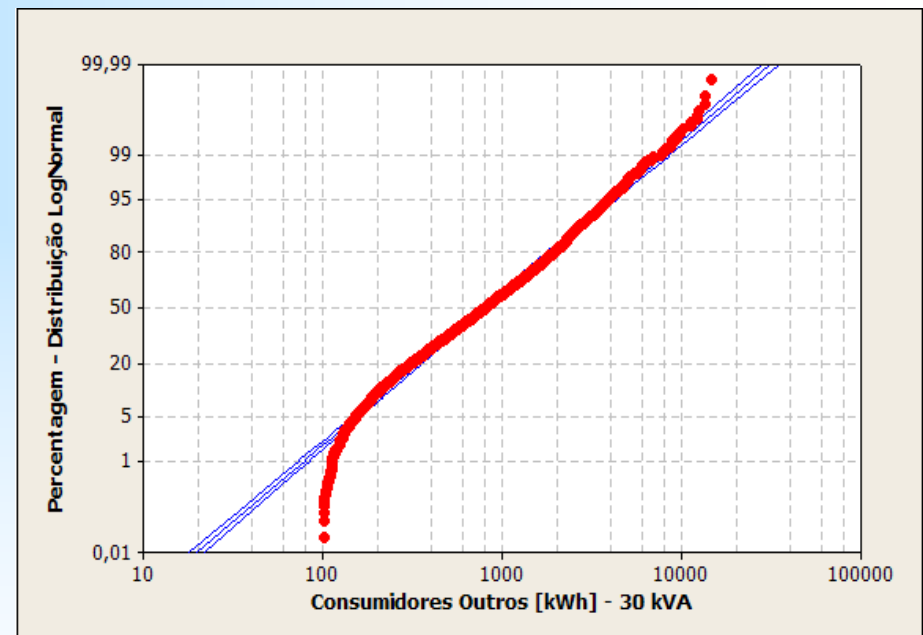


# Faturamento Mensal da Empresa Característica de Consumo

- Eliminação do consumo mínimo 100 kWh;



*Banco Original*

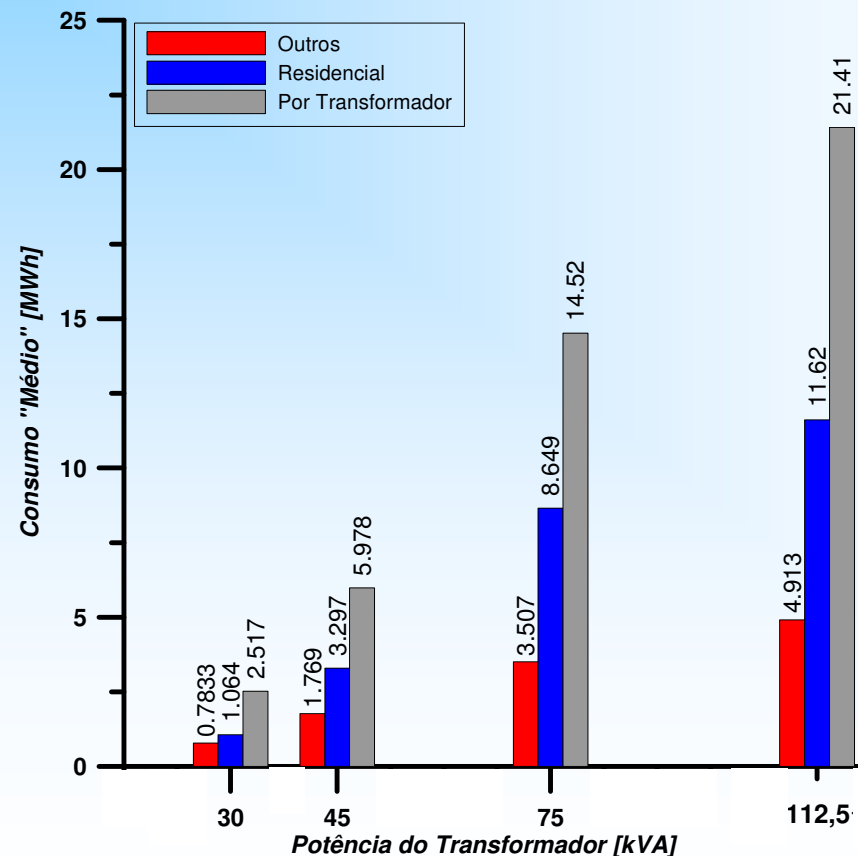


*Eliminação 100 kWh*



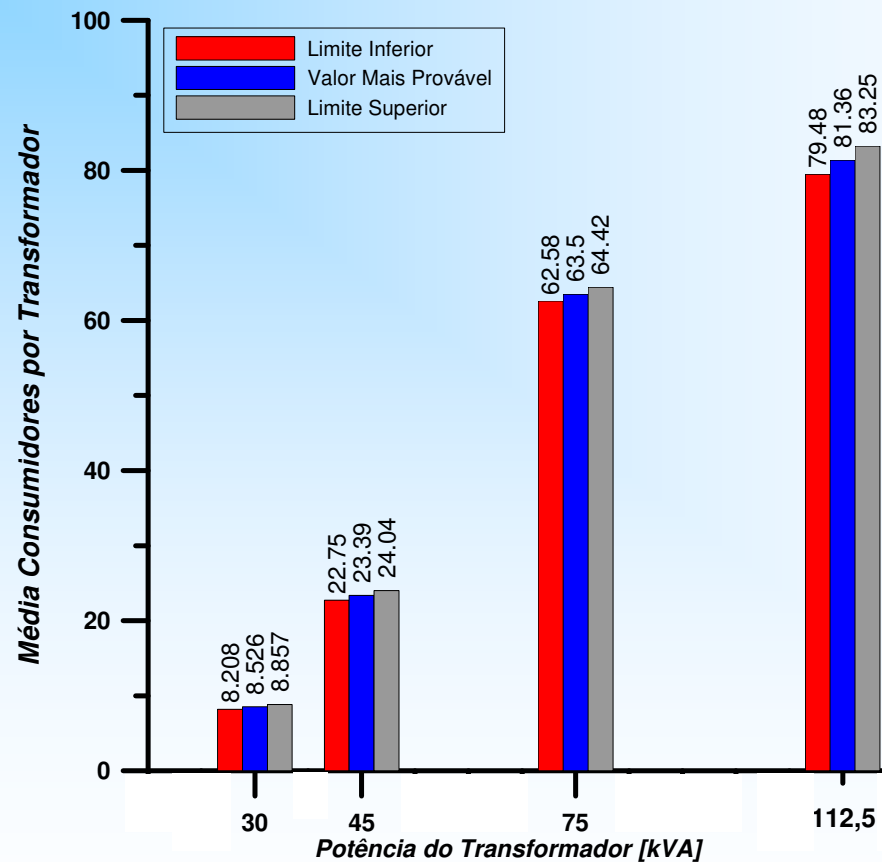
# Faturamento Mensal da Empresa

## Característica de Consumo





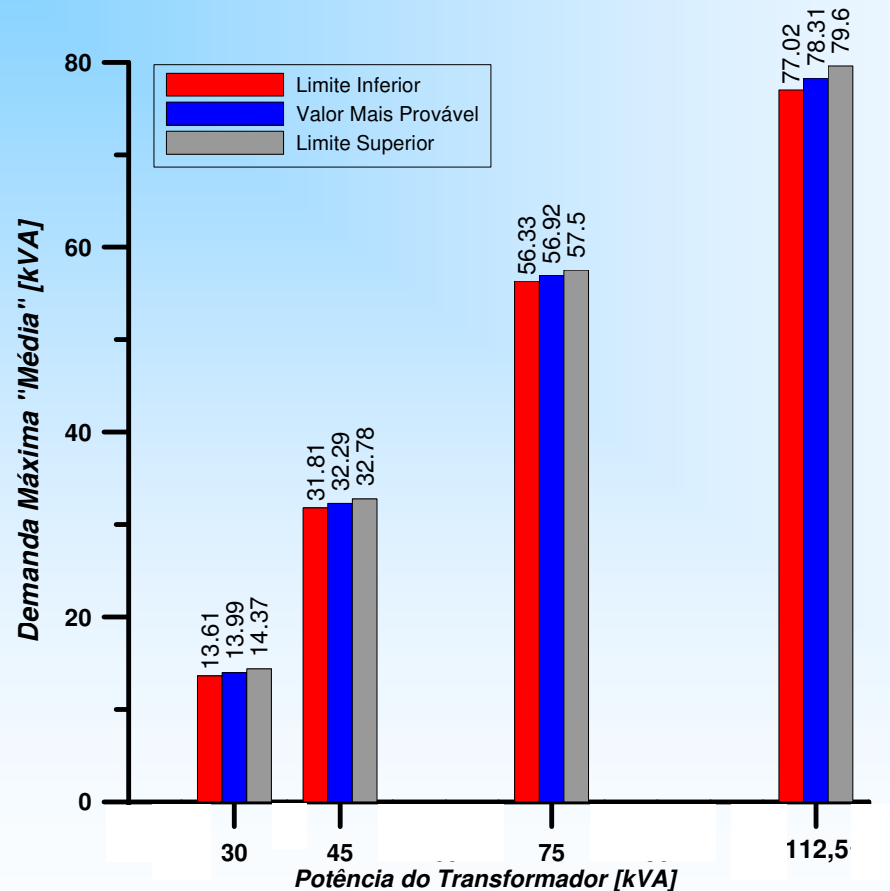
# Faturamento Mensal da Empresa Consumidores Por Transformador





# Faturamento Mensal da Empresa

## Demanda Máxima Por Transformador







# Faturamento Mensal da Empresa

## Demanda Máxima Por Transformador

- Tabela do Carregamento dos Transformadores Trifásicos - Valores a partir das curvas de probabilidade

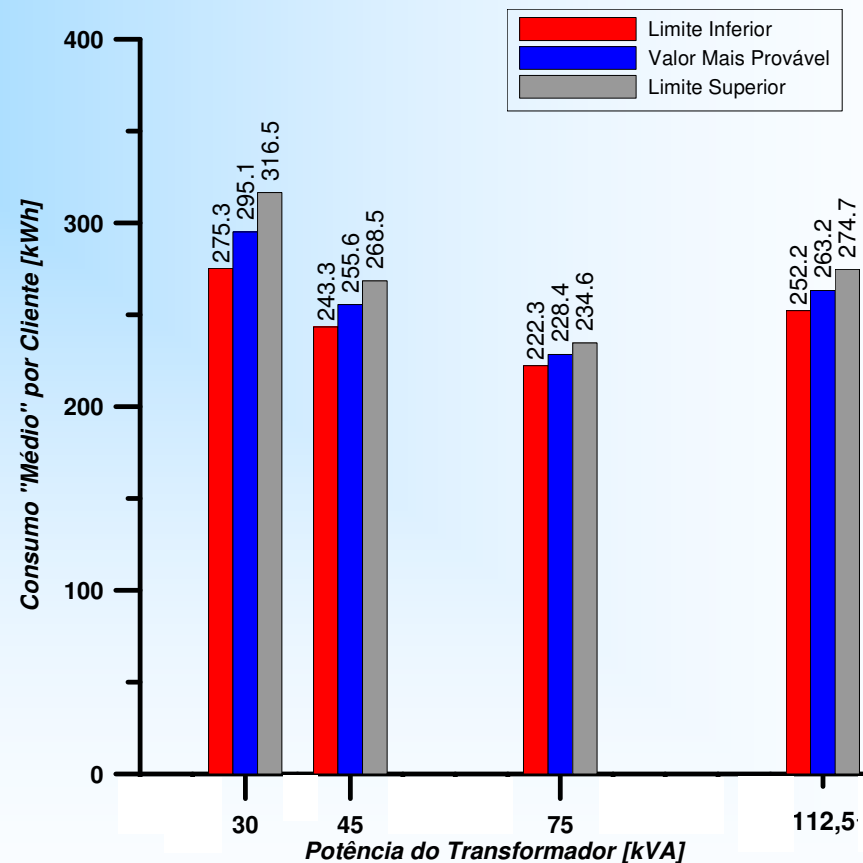
<b>Carga [p.u.]</b>	<b>Demanda Diurna [%]</b>				<b>Demanda Noturna [%]</b>			
	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>75</b>	<b>112,5</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>75</b>	<b>112,5</b>
<b>&lt; 0.20</b>	<20	<11	<5	<5	<20	<12	<7	<6
<b>&lt; 0.40</b>	<42	<23	<14	<16	<44	<25	<18	<22
<b>&lt; 0.70</b>	<69	<48	<43	<50	<71	<54	<53	<66
<b>&lt; 1.00</b>	<84	<74	<75	<84	<86	<82	<85	<94
<b>&lt; 1.20</b>	<91	<87	<90	<95	<92	<92	<95	<99
<b>&lt; 1.40</b>	<95	<94	<97	<99	<96	<97	<99	<99



# Faturamento Mensal da Empresa

## Consumo Médio por cliente

$$\bar{C}_C = \frac{\bar{C}_{TR}}{\bar{N}_{C-TR}}$$

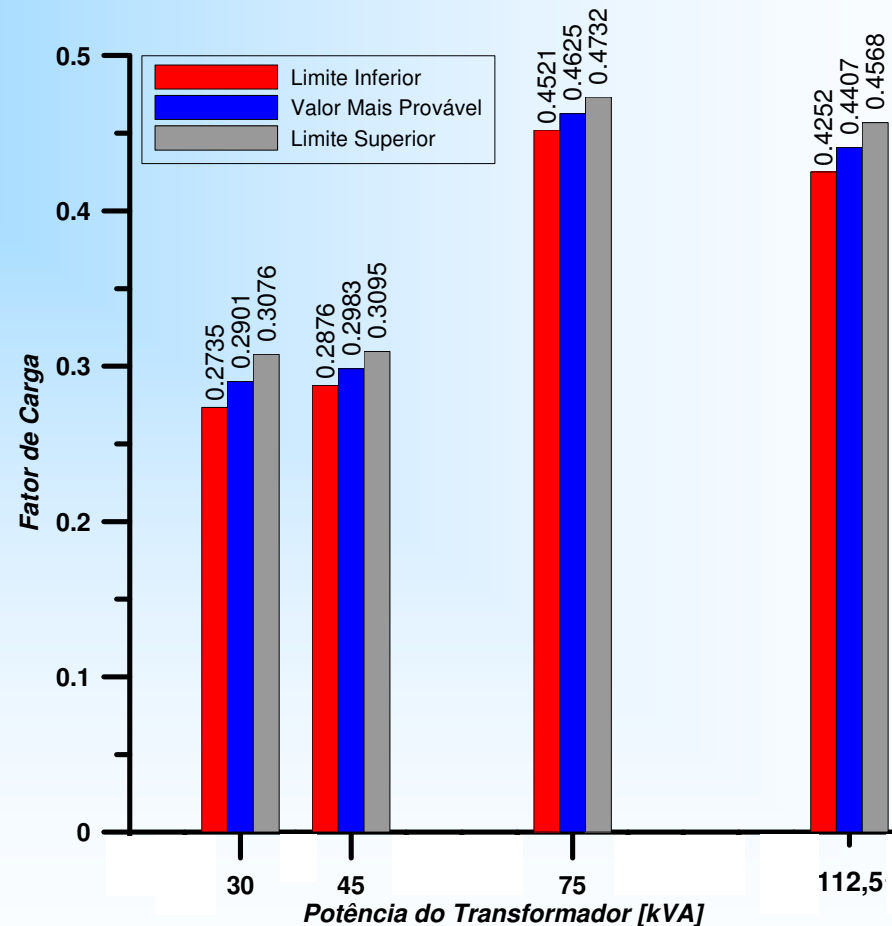




# Faturamento Mensal da Empresa

## Fator de Carga

$$\bar{F}_C = \frac{1}{730} \frac{\bar{C}_{TR}}{\bar{D}_{MTR} \cdot FP}$$





# Medições dos Transformadores em Campo

---

- Para este estudo foram utilizados dados provenientes de 153 transformadores: 69 monofásicos e 84 trifásicos ligados 24 horas durante cinco dias úteis coletados. As medições foram realizadas de 5 em 5 minutos.
- O grupo de transformadores trifásicos: 24 transformadores de 30 kVA, 31 transformadores de 45 kVA e 29 transformadores de 75 kVA.



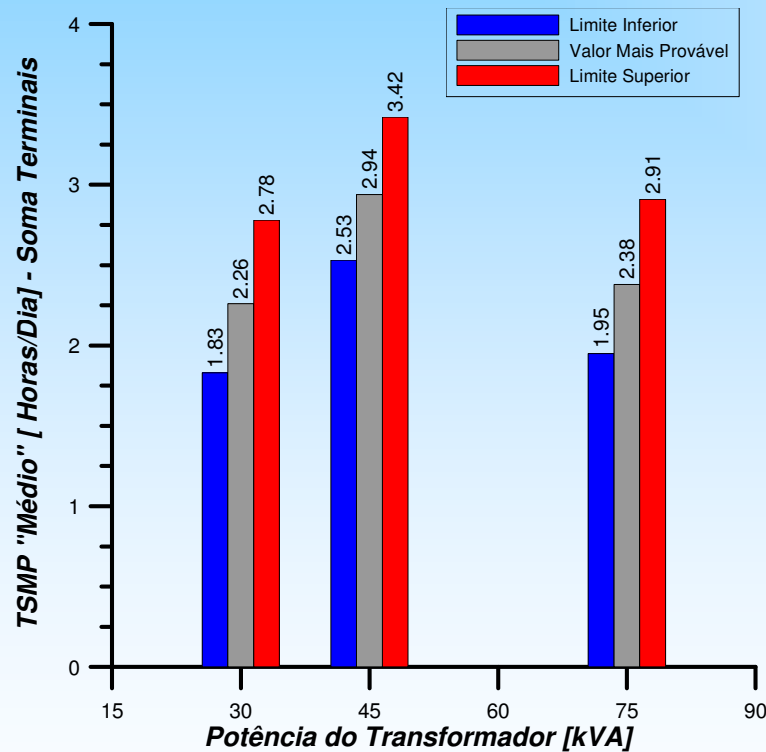
# Medições dos Transformadores em Campo – FE

---

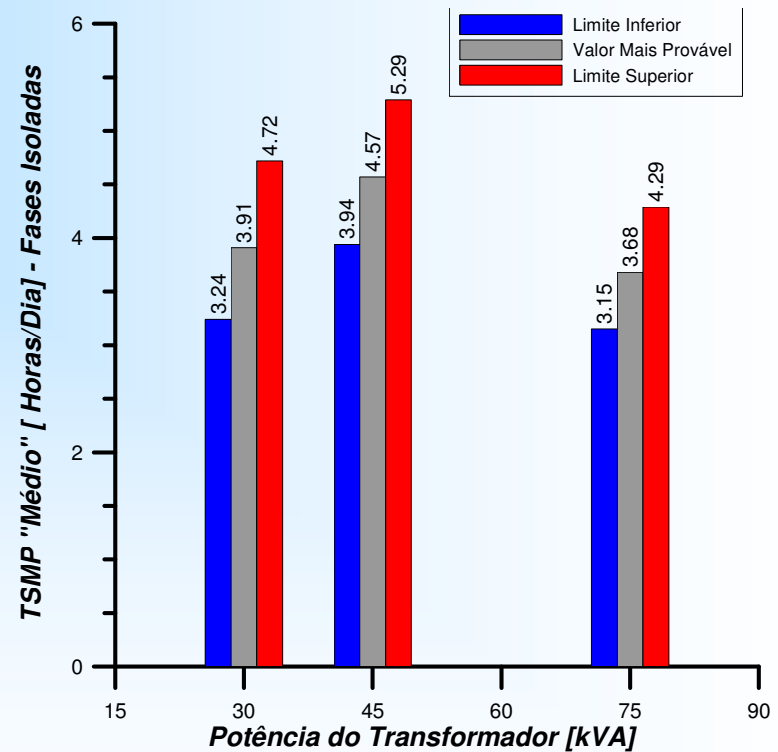
- A análise do Fator de Energia Consumida será realizada utilizando duas metodologias.
- A primeira metodologia utiliza a soma da demanda medida nos três terminais do transformador, em outras palavras, análise semelhante a um “transformador monofásico”.
- A segunda metodologia analisa as demanda medida em cada fase dos transformadores individualmente, entretanto para definir o TSMP do transformador será utilizado o valor máximo calculado nas três fases.



# Medições dos Transformadores em Campo - TSMP



○ Soma Terminais

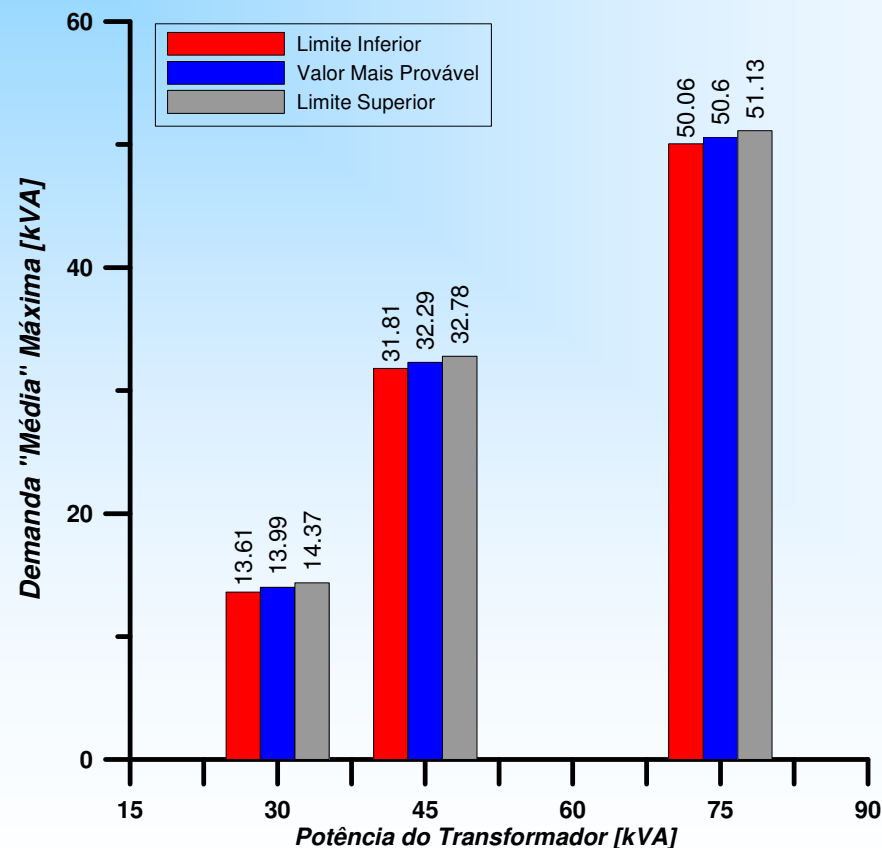


Fases Isolados



# Medições dos Transformadores em Campo – Demanda Máxima

- Utilizou-se a metodologia Terminais Somados.





# Comparação entre as Metodologias para Análise de Carga

- Tabela da Comparação entre as demandas máximas para os transformadores monofásicos.

	Demanda Máxima [kVA]		
	Limite Inferior	Média	Limite Superior
<b>5 kVA</b>			
Faturamento Mensal	3,53	3,60	3,68
Medições em Campo	2,67	3,36	4,06
<b>10 kVA</b>			
Faturamento Mensal	3,39	3,46	3,52
Medições em Campo	3,73	4,08	4,40
<b>15 kVA</b>			
Faturamento Mensal	6,23	6,40	6,58
Medições em Campo	5,40	5,91	6,46





# Comparação entre as Metodologias para Análise de Carga

- Tabela da Comparação entre as demandas máximas para os transformadores trifásicos

	Demanda Máxima [kVA]		
30 kVA	Limite Inferior	Média	Limite Superior
Faturamento Mensal	13,61	13,99	14,37
Medições em Campo	16,49	18,06	19,78
45 kVA	Limite Inferior	Média	Limite Superior
Faturamento Mensal	31,81	32,29	32,78
Medições em Campo	25,47	27,71	30,15
75 kVA	Limite Inferior	Média	Limite Superior
Faturamento Mensal	56,33	56,92	57,50
Medições em Campo	47,37	51,80	56,64



# Comentários Finais

---

- Os estudos não devem considerar modelos estatísticos baseados somente na Distribuição Normal.
- O agrupamento entre transformadores urbanos e rurais pode ser realizado para os transformadores monofásicos e trifásicos.
- Observa-se que é interessante tratar separadamente de cada tipo de cliente - consumidor, para saber qual a sua influência em relação ao conjunto total.
- Observa-se que as demandas noturnas e diurnas para os transformadores monofásicos e trifásicos são bastante próximas para a metodologia do Faturamento Mensal.



# Comentários Finais

- O baixo valor do Fator de Carga é esperado que maioria das falhas nos equipamentos seja de origem atmosférica.
- Os transformadores monofásicos apresentaram um Fator de Energia Consumida muito baixo, em torno de 1 hora/dia.
- O Tempo Suprindo a Máxima Potência dos transformadores trifásicos apresenta média de 4 horas/dia.
- A demanda média máxima dos Transformador Trifásicos, metodologia das Medições em Campo, é crescente com a sua potência nominal. No entanto, isto que seria também esperado para os transformadores monofásicos não se verifica.



# Comentários Finais

---

- Verifica-se após a comparação das metodologias para análise da demanda média máxima que os transformadores monofásicos, apresentam semelhança estatística para os valores, nos casos específicos dos transformadores de 5 e 15 kVA.
- Condições semelhantes não foram observadas quando analisados os resultados obtidos para os transformadores trifásicos, exceto, de forma marginal, para as unidades de 75 kVA.
- Não existe uma “Solução Padrão” para os consumos entre empresas, logo os problemas devem ser estudados caso a caso.



# Comentários Finais

---

- Para realizar este tipo de análise estatística, é recomendável recorrer à medição dos transformadores em campo.
- De um modo geral os dados dos bancos de faturamento podem ser utilizados para uma primeira análise e conhecimento do problema.



# Dúvidas e Contato

---



Diego Lopes Coriolano  
[diego@lat-efei.org.br](mailto:diego@lat-efei.org.br)  
(79)8835-8818