

4. Validação da Metodologia Proposta

Neste capítulo vamos a apresentar a validação tanto da primeira metodologia como da segunda usando dados fornecidos pela PUC – Rio. Estes dados foram obtidos por um sistema de medição do consumo, denominado CCK, que se encontra instalado na rede elétrica da PUC – Rio e tem como função medir a cada 15 minutos a potência de carga que esta sendo usada na instituição nesse momento.

A Prefeitura do Campus da PUC – Rio forneceu os dados a cada 15 minutos dos quatro últimos anos das 24 horas do dia e os 365 dias para cada ano. Foi feito um filtro de informação para ordenar esses dados e aproveitar apenas os dados no horário de ponta, que correspondem ao período de três horas, entre as 17:30 horas até as 20:30 horas, dos dias úteis de cada mês do ano.

Com estes dados foram construídas as curvas de Capacidade de Carga para determinados meses do ano e se compararam com as curvas feitas usando a primeira metodologia com a Função de Densidade de Probabilidade e a segunda usando as equações polinomiais.

4.1 Dados fornecidos pela PUC – Rio, Dados a cada 15 minutos.

Como é mostrado na Tabela 8 do Terceiro Capítulo, foram obtidos dados de medição de potência de carga da PUC – Rio para todos os dias dos últimos quatro anos. Com estes dados, e usando um programa na Plataforma Computacional Macros se conseguiu ordenar e agrupar esta enorme quantidade de dados só para horário de ponta e, segundo as tarifas estabelecidas pela concessionária local, somente nos dias uteis de cada mês para os quatro anos, respectivamente.

A máxima demanda de cada mês foi calculada, juntamente com o consumo de energia, que é a integral do perfil de consumo. Usando a plataforma Macros do Excel foi criada uma sentença lógica que obedece a duas situações fundamentais: a primeira é que quando a demanda elétrica medida é inferior ou igual à potência do gerador do sistema híbrido, este último opera em carga parcial ou plena respectivamente; no segundo caso, quando a demanda é maior do que a potência do gerador do sistema híbrido, este último opera em carga plena e a energia complementar é adquirida da concessionária local .

O mesmo princípio foi utilizado para o desenvolvimento da primeira metodologia no Capítulo 3, com dados exatos cada 15 minutos.

Tabela 23. – Dados adimensionalizados da Potência e da Energia (PUC – Rio)

P_G (%)	P_G (kW)	EF_G (kW/mês)	EF_G (%)	EF_G (kWh/mês)
1,00	2609	497681	1,00	124420
0,95	2478	497340	1,00	124335
0,90	2348	496242	1,00	124060
0,85	2217	494082	0,99	123520
0,80	2087	489191	0,98	122297
0,75	1956	480135	0,96	120033
0,70	1826	465741	0,94	116435
0,65	1696	445571	0,90	111392
0,60	1565	419232	0,84	104808
0,55	1435	388292	0,78	97073
0,50	1304	354665	0,71	88666
0,45	1174	319916	0,64	79979
0,40	1043	284793	0,57	71198
0,35	913	249318	0,50	62329
0,30	782	213701	0,43	53425
0,25	652	178084	0,36	44521
0,20	521	142467	0,29	35616
0,15	391	106850	0,21	26712
0,10	260	71233	0,14	17808
0,05	130	35616	0,07	8904
0,00	0	0	0	0

Na Tabela 22, a primeira coluna apresenta os valores adimensionalizados para uma determinada potência do gerador; para este caso a máxima demanda (maior do mês) equivale ao 100% da potência do gerador. A segunda coluna, P_G (kW), indica os valores da abcissa da Curva de Capacidade de Carga. Para achar a Energia Fornecida pelo Gerador fez-se a somatória das

potências, considerando que quando a demanda elétrica medida é inferior ou igual à potência do gerador do sistema híbrido, este último opera em carga parcial ou plena respectivamente; quando a demanda é maior do que a potência do gerador do sistema híbrido, este último opera em carga plena e a energia complementar é adquirida da concessionária local. Esses valores adimensionalizados são mostrados na quarta coluna (EFG %) e constituem a ordenada da curva de Capacidade de Carga. Finalmente multiplicaram-se esses valores pelo valor 0,25 que corresponde a um quarto de fração de hora (15 min.) para obter na quinta coluna a Energia Fornecida pelo Gerador em unidades de (kWh/mês).

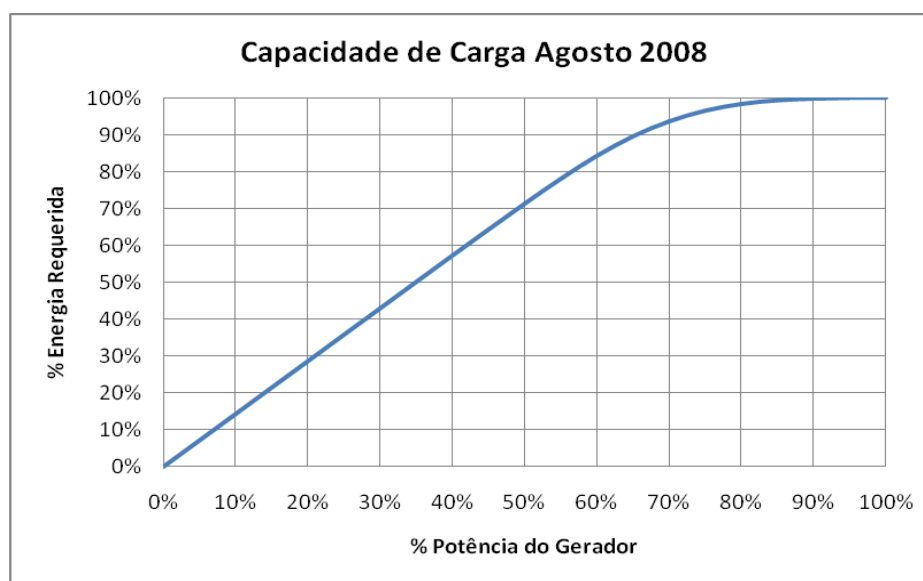


Figura 25. – Curva de Capacidade de Carga com dados cada 15 minutos (PUC – Rio)

Depois de ter definido os valores adimensionalizados tanto para a Potência do Gerador como para a Energia Fornecida por eles, faz-se a curva de Capacidade de Carga da mesma forma como se fez na primeira metodologia, com a diferença que agora se tem todos os dados a cada 15 minutos no horário de ponta .

Foram utilizados os valores adimensionalizados da primeira coluna da Tabela 22 Potência do Gerador (PG%) para a abcissa e os valores adimensionalizados da quarta coluna, também da Tabela 22 Energia Fornecida pelo Gerador (EFG%) para a ordenada. Com esses valores foi construída a

Curva de Capacidade de Carga, como é mostrado na Figura 21. Foram utilizados dados do mesmo mês no desenvolvimento da primeira metodologia.

4.2 Validação da Curva de Capacidade de Carga

A curva de Capacidade de Carga desenvolvida na primeira metodologia no Capítulo 3, foi validada comparando-a com a Curva de Capacidade de Carga desenvolvida com os dados cada 15 minutos fornecidos pelo medidor CCK da PUC – Rio.

As duas curvas foram comparadas, calculando-se o desvio médio quadrático de ambas, tanto para a curva achada com o medidor CCK como para a curva achada com a Função Densidade de Probabilidade (FDP).

Tabela 24. – Desvio Médio Quadrático para a Função Densidade de Probabilidade (PUC – Rio)

PG (CCK)	EFG (CCK)	PG (FDP)	EFG (FDP)	Erro	Erro ²
1	1	1	1	0	0
0,935	0,998	0,935	0,999	0,001	6,46E-07
0,870	0,994	0,870	0,996	0,002	3,76E-06
0,806	0,984	0,806	0,990	0,006	3,16E-05
0,741	0,960	0,741	0,972	0,011	0,000125
0,677	0,918	0,677	0,935	0,016	0,000273
0,612	0,857	0,612	0,878	0,021	0,000451
0,548	0,778	0,548	0,799	0,022	0,000476
0,483	0,690	0,483	0,710	0,020	0,000417
0,419	0,599	0,419	0,617	0,018	0,000323
0,354	0,507	0,354	0,523	0,015	0,000242
0	0	0	0	0	0
				Σ	0,002
				Desv. Med. Qua.	0,014
				%	1,45

Como é mostrado na Tabela 23, o Desvio Médio Quadrático para as duas curvas foi calculado e tem um valor de 0,014 o que representa um erro de 1,45% entre a primeira metodologia e os dados reais fornecidos pelo medidor da PUC – Rio. Então, a metodologia apresentada no Capítulo 3 encontra-se dentro dos parâmetros aceitáveis para ser utilizada em outros locais ou para outras aplicações futuras.

A Tabela 23 mostra também os valores que vão definir a validação da primeira metodologia. Esta tabela foi construída da seguinte forma: Na primeira e segunda coluna são mostrados os valores adimensionais medidos pelo medidor CCK (dados cada 15 minutos).

Na terceira e quarta coluna são mostrados os valores adimensionais segundo a Função Densidade de Probabilidade (FDP), calculados na primeira metodologia. Para ambas medições, a Potência do Gerador (PG) corresponde à abcissa e a Energia Fornecida pelo Gerador (EFG) corresponde à ordenada da Curva de Capacidade de Carga.

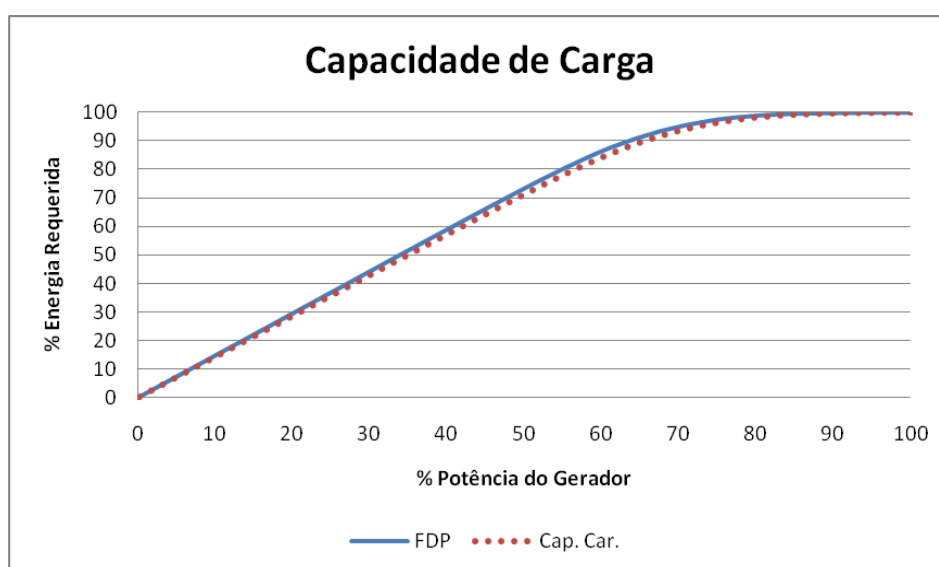


Figura 26. – Comparação da Curva de Capacidade de Carga para dados cada 15 minutos com a Função Densidade de Probabilidade (PUC – Rio)

A Figura 21 mostra as duas curvas de Capacidade de Carga com os dados obtidos da Tabela 23. Observa-se que tanto para a Função Densidade de Probabilidade (FDP), curva de cor azul, como para a curva para os dados cada 15 minutos do medidor CCK da PUC – Rio o perfil da curva é quase o mesmo, e nota-se que as duas têm no início uma parte reta. O polinômio do terceiro grau começa com uma potência do gerador igual a 55% da potência máxima do gerador; o desvio médio quadrático da energia fornecida pelo mesmo foi calculado variando-se o ponto de início do polinômio entre 40% e 80% da potência do gerador. A diferença é 1,45%. Assim, pode-se afirmar que a metodologia se ajusta aos parâmetros esperados garantindo exatidão quanto à utilização.

4.3

Validação da Análise econômica da Primeira Metodologia

Para validar a análise econômica feita na Primeira Metodologia comparou-se a TIR calculada com a TIR obtida com dados a cada 15 minutos, fornecidos pelo medidor CCK. Pode-se observar que as duas curvas têm a melhor Taxa interna de retorno em torno de 50% com o uso de 5 geradores, ou seja, com uma potência de 1820 kW para o ótimo dimensionamento. Da mesma forma para o cálculo de tempo mínimo de retorno do investimento ou *Payback*, tanto para o resultado da Primeira Metodologia como para o resultado usando dados reais do medidor CCK da PUC – Rio foi obtido um tempo mínimo de 9,5 meses.

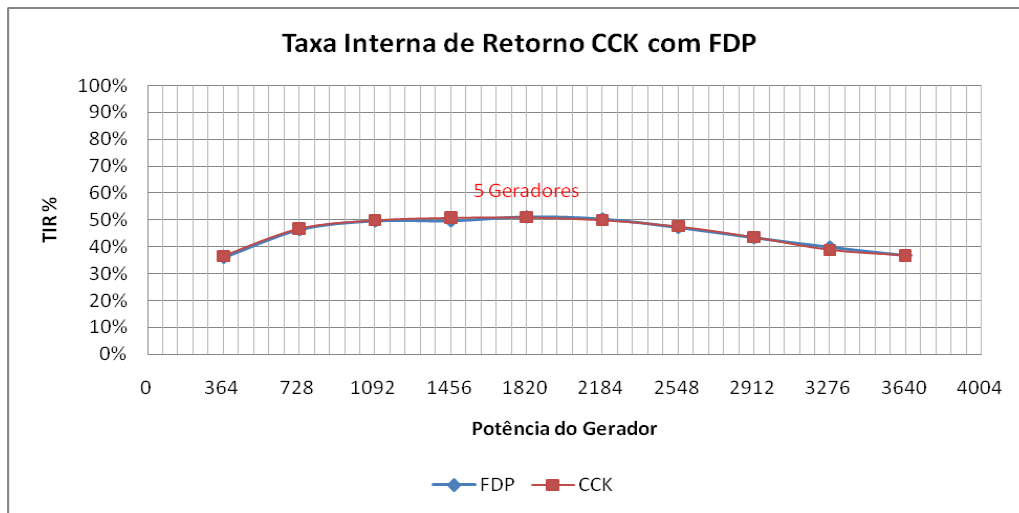


Figura 27. – Comparação da Taxa Interna de Retorno para dados cada 15 minutos e a Função Densidade de Probabilidade (PUC – Rio)

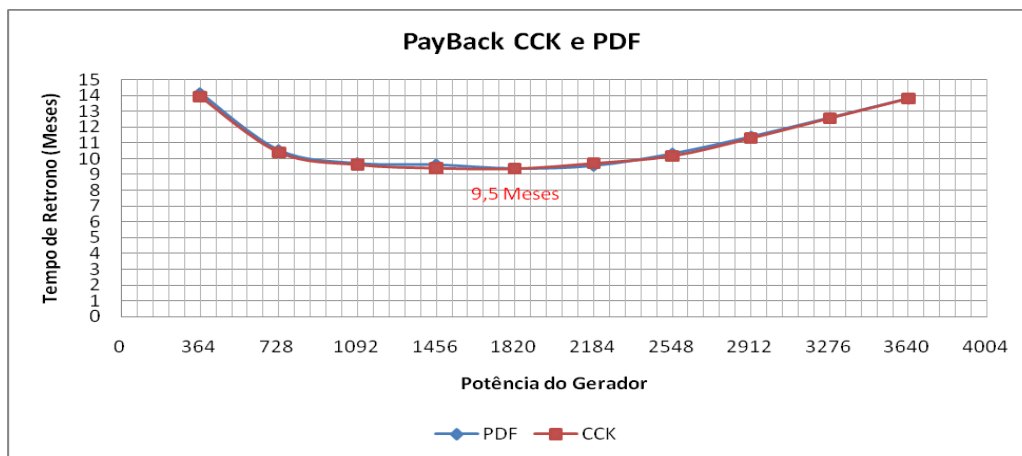


Figura 28. – Comparação do Payback para dados cada 15 minutos e a Função Densidade de Probabilidade (PUC – Rio)

Calculou-se também o Desvio Médio Quadrático para os valores usados para o cálculo da TIR da Primeira Metodologia, com os dados do medidor CCK da PUC – Rio, conforme Tabela 24; um valor de 0,61% demonstra também o grau de exatidão muito aceitável para a metodologia proposta. Além disso, calculou-se uma incerteza de 0,4% para a parte de análise econômica da metodologia, o que demonstra também alto grau de exatidão dos valores.

Tabela 25. – Desvio Médio Quadrático para o cálculo da TIR com a Função Densidade de Probabilidade e com o medidor CCK (PUC – Rio)

Tir CCK	Tir FDP	Erro
0,364	0,360	-0,0045
0,467	0,463	-0,0042
0,499	0,496	-0,0030
0,508	0,496	-0,0124
0,510	0,510	0,0006
0,500	0,502	0,0028
0,476	0,471	-0,0048
0,436	0,433	-0,0024
0,388	0,398	0,0099
0,367	0,367	0,0005
	Desv. Med. Qua.	0,61%
	Desv. Pad.	0,0060
	95,45%	2,3200
	u	0,0044

4.3 Validação da segunda metodologia

Para validar a curva de Capacidade de Carga construída na Segunda Metodologia com a curva de Capacidade de Carga construída com os dados do medidor CCK da PUC – Rio calculou-se o desvio médio quadrático das duas curvas.

No cálculo do desvio médio quadrático só se consideram os valores das ordenadas das duas curvas; estes valores correspondem à Energia Fornecida pelo Gerador (EFG). No eixo das abscissas a Potência do Gerador (PG) varia desde 0% até 100% com uma taxa de crescimento de 5% para as duas curvas. Como é mostrado na Tabela 25, calculou-se um desvio médio quadrático de 0,86%, o que demonstra a exatidão da segunda metodologia.

Tabela 26. – Desvio Médio Quadrático para o cálculo da Curva de Capacidade de Carga para a segunda metodologia

Cap Car EES	Cap. Car. CCK	Erro	Erro ^2
0,000	0,000	0,0000	0
0,073	0,075	-0,0023	5,18E-06
0,146	0,150	-0,0046	2,07E-05
0,219	0,226	-0,0068	4,66E-05
0,292	0,301	-0,0091	8,29E-05
0,365	0,377	-0,0113	0,000128
0,438	0,449	-0,0106	0,000113
0,512	0,521	-0,0096	9,29E-05
0,585	0,593	-0,0085	7,21E-05
0,658	0,665	-0,0071	5,06E-05
0,731	0,736	-0,0048	2,27E-05
0,804	0,802	0,0021	4,25E-06
0,871	0,859	0,0120	0,000143
0,922	0,907	0,0145	0,000210
0,957	0,943	0,0141	0,000199
0,981	0,968	0,0123	0,000152
0,994	0,984	0,0097	9,42E-05
1,001	0,994	0,0070	4,89E-05
1,002	0,998	0,0037	1,37E-05
1,001	0,999	0,0014	2E-06
1,000	1,0000	0,0000	0
Desv. Med. Quad.			0,00866
%			0,866

A Figura 24 mostra a curva de Capacidade de Carga construída com os dados do medidor CCK, de cor vermelha, e a curva de Capacidade de Carga construída com os dados fornecidos pelo *Equation Engeneering Solver* (EES), de cor azul.

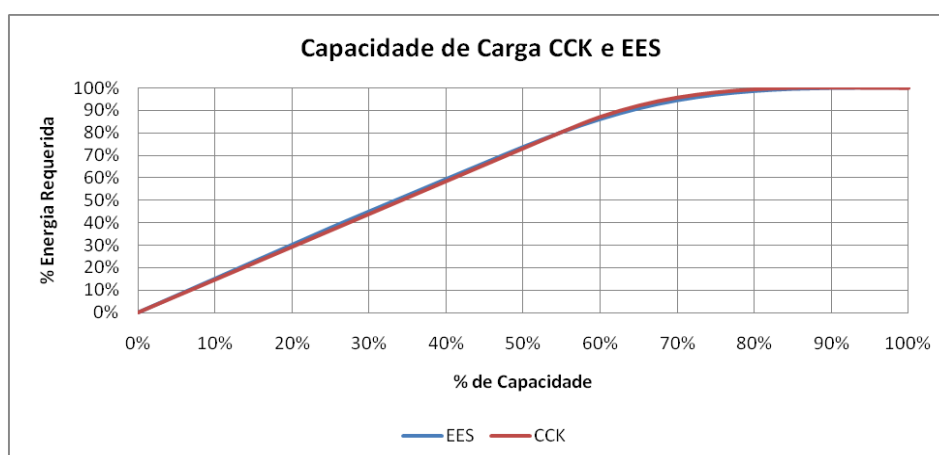


Figura 29. – Comparação da Curva de Capacidade de Carga para dados cada 15 minutos do medidor CCK e a Segunda Metodologia

Pode-se observar a proximidade das duas curvas na parte inicial, um segmento reto, e a partir dos 50% da Potência do Gerador na abcissa o início do polinômio de terceiro grau, até chegar 100% da Potência do Gerador e da Energia Fornecida pelo mesmo.

As duas curvas são quase iguais no gráfico, e com grande exatidão demonstrada pelo pequeno desvio médio quadrático calculado na Tabela 25, o que demonstra a confiabilidade da curva enquanto a sua utilização para o dimensionamento ótimo de geradores ou outras utilidades.