

## OTIMIZAÇÃO DE CONTRATOS DE ENERGIA DO GRUPO A4 NO MERCADO CATIVO: UMA ABORDAGEM ALGÉBRICA

### Lucas Assis de Moraes

Possui graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação (2011), mestrado em Engenharia Elétrica (2014) e doutorado em Engenharia Elétrica (2019), todos pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP). Possui aperfeiçoamento em Automação de Processos de Saneamento (2020) pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP). Atualmente é engenheiro da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

**Endereço:** Av. Padre Antônio Brunetti, 1234 – Vila Alves – Itapetininga – SP – CEP: 18208-080 – Brasil – Tel: + 55 (15) 3275-9186 – e-mail: lamoraes@sabesp.com.br

### RESUMO

A adequação contratual de energia é uma estratégia de pouquíssimo esforço e baixíssimo investimento, mas que pode resultar em grande impacto para a redução de despesas. Este trabalho tem por objetivo desenvolver algebricamente equações para subsidiar a tomada de decisão contratual para consumidores de energia do grupo A4 no mercado cativo, abordando a escolha da melhor modalidade tarifária e melhor demanda contratada. Seguindo as considerações feitas para o desenvolvimento, os resultados mostram que usando apenas dados contidos nas faturas de energia, é possível obter facilmente a melhor configuração contratual. Como exemplo, foi usada a projeção de consumo de uma unidade consumidora da Sabesp em Avaré. Verificou-se qual a melhor modalidade tarifária e demanda contratada para o próximo ciclo de 12 meses de faturamento nesta unidade consumidora. Observou-se também que o consumo fora-ponta não interfere nas decisões de otimização. A definição da melhor modalidade tarifária é bastante direta, enquanto a definição da demanda contratada permite uma certa flexibilidade de escolha dentro de uma faixa quase-ótima de opções. Como sugestão de trabalhos futuros, cita-se a investigação de um desenvolvimento algébrico para consumidores com particularidades diversas das abordadas por este trabalho.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia elétrica, otimização contratual, redução de custos.

### INTRODUÇÃO

Existem diversas estratégias que qualquer consumidor de energia pode empregar para minimizar o valor de sua fatura. Reduzir o consumo de energia é a mais evidente delas, já que pode ser utilizada até mesmo pelos menores consumidores do sistema elétrico, porém exige um certo esforço operacional. Geração própria de energia (que em muitos casos pode ser “traduzida” como redução de consumo) também reduz o valor da fatura, mas requer que sejam feitos investimentos.

Consumidores de maior porte se enquadram em categorias diferentes de fornecimento, e por isto é formalizado um contrato de fornecimento, em que o consumidor pode escolher alguns parâmetros. Fazendo-se escolhas adequadas e convenientes, ganham-se novas estratégias de minimização da fatura além da redução de consumo ou da geração própria.

Para o consumidor do grupo A4 do mercado cativo de energia, por exemplo, há dois relevantes parâmetros de seu contrato de fornecimento que lhe é cabida escolha: a demanda contratada e a modalidade tarifária. Certamente o valor final da fatura engloba diversos outros aspectos, como o já citado consumo, impostos, bandeiras tarifárias, dentre outros. Mas já há ao menos três ângulos de ataque diferentes para a redução do valor faturado: consumo, modalidade tarifária e demanda contratada.

### OBJETIVO

Dos três ângulos de ataque citados para redução do valor da fatura, este trabalho abordará apenas os dois últimos. A redução do consumo não será abordada, pois foi considerado que a operação já acontece da melhor

forma possível, inclusive com relação à distribuição das cargas nos horários de ponta e fora-ponta. Também foi desprezada a possibilidade de realizar investimentos.

Apenas adequar o contrato de fornecimento já pode trazer grande impacto no valor da fatura, requerendo pouquíssimo esforço operacional e baixíssimo custo. Assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver equações algébricas, com base na forma de tarifação descrita em [1], para facilitar a decisão da modalidade tarifária e da demanda contratada em um contrato de energia do grupo A4 no mercado cativo, com foco na minimização do faturamento ao longo do período de vigência contratual.

## METODOLOGIA UTILIZADA

### Escolha da Modalidade Tarifária

Primeiramente, está definida a nomenclatura utilizada para os equacionamentos desta seção do trabalho, a saber:

**D** = Demanda;

**\$D<sub>v</sub>** = Valor da demanda na tarifa verde;

**\$kWh<sub>vp</sub>** = Valor do kWh na tarifa verde em horário de ponta;

**\$kWh<sub>vfp</sub>** = Valor do kWh na tarifa verde em horário fora de ponta;

**\$D<sub>ap</sub>** = Valor da demanda na tarifa azul em horário de ponta;

**\$D<sub>afp</sub>** = Valor da demanda na tarifa azul em horário fora de ponta;

**\$kWh<sub>ap</sub>** = Valor do kWh na tarifa azul em horário de ponta;

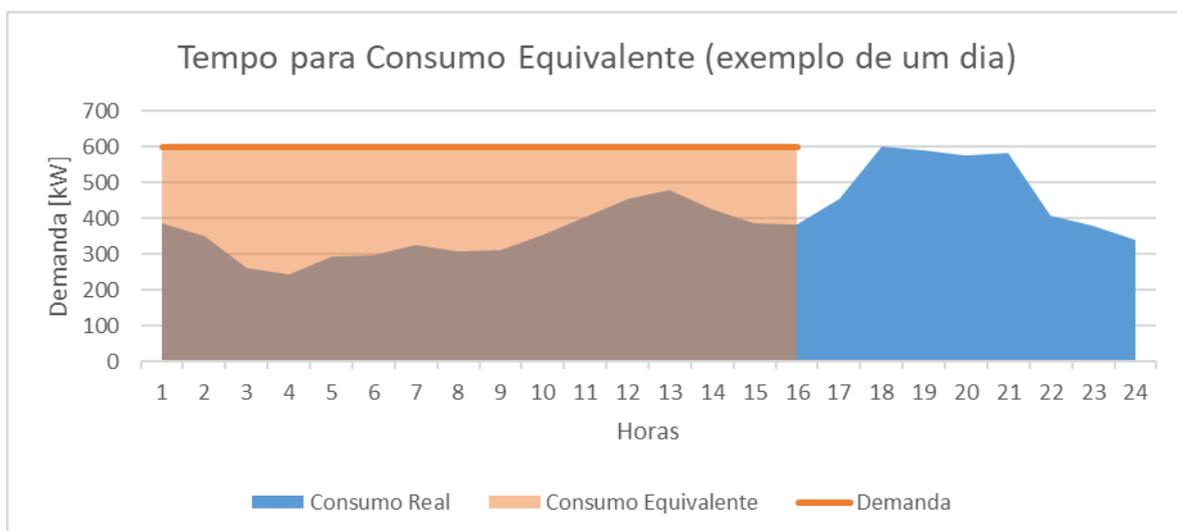
**\$kWh<sub>afp</sub>** = Valor do kWh na tarifa azul em horário fora de ponta;

**tp** = Tempo que a carga fica ligada em horário de ponta;

**tfp** = Tempo que a carga fica ligada em horário fora de ponta.

Para o desenvolvimento dos equacionamentos, estão descritas algumas considerações enumeradas a seguir:

- Como o faturamento envolve cobrança sobre o consumo em kWh e sobre a demanda em kW, o “tempo que a carga fica ligada” foi considerado o tempo para que haja consumo equivalente com demanda constante. A Figura 1 exemplifica para o consumo de um dia, ignorando a diferença entre ponta e fora-ponta. Do ponto de vista de faturamento, extrapolando ao consumo mensal, se a integral sob as curvas azul e laranja é a mesma, a fatura é a mesma, já que a demanda é a mesma. Assim, considerou-se que o consumo é simplesmente a multiplicação da demanda pelo tempo equivalente (que na Figura 1 é de 16h para um dia).



**Figura 1: Tempo para consumo equivalente com demanda constante.**

- Não cabem nas equações quaisquer bandeiras tarifárias, impostos, taxas, tarifas e descontos, pois são igualmente aplicados a ambas as modalidades tarifárias em um momento posterior ao cálculo de consumo e demanda, de forma que não interferem na vantagem de uma tarifa sobre a outra.
- Com informações contidas nos sites das concessionárias e nas normas da ANEEL, considerou-se que o valor do kWh engloba TE+TUSD, além de que:

$$\mathbf{\$Dv = \$Dafp} \quad (1)$$

$$\mathbf{\$kWhvfp = \$kWhafp} \quad (2)$$

Com essas três considerações, o equacionamento do faturamento mensal na modalidade tarifária verde fica:

$$\mathbf{D*\$Dv + D*tp*\$kWhvp + D*tfp*\$kWhvfp} \quad (3)$$

Já para a modalidade tarifária azul, tem-se:

$$\mathbf{D*\$Dap + D*\$Dafp + D*tp*\$kWhap + D*tfp*\$kWhafp} \quad (4)$$

O desenvolvimento seguirá considerando que o custo da modalidade tarifária verde é maior que o da azul. Assim, fazendo (3) > (4), dividindo a inequação toda por **D**, e substituindo as considerações de (1) e (2) tem-se:

$$\mathbf{tp*\$kWhvp > \$Dap + tp*\$kWhap} \quad (5)$$

Que resulta em:

$$\mathbf{tp > \$Dap/(\$kWhvp - \$kWhap)} \quad (6)$$

Em outras palavras, quando o tempo total mensal em horas que a carga fica ligada em horário de ponta supera a divisão do valor da demanda azul em horário de ponta pela diferença entre os valores do kWh em horário de ponta das tarifas verde e azul, a modalidade tarifária verde é mais cara que a azul.

### Escolha da Demanda Contratada

Primeiramente, está definida a nomenclatura utilizada para os equacionamentos desta seção do trabalho, a saber:

**Dc** = Demanda contratada;

**Dr** = Demanda registrada;

**\$D** = Valor da demanda;

**C** = Função custo.

Há três faixas de custo individual de demanda, aplicadas a cada faturamento, a depender da **Dr**:

1- Se **Dr < Dc**, então não se paga 18% de ICMS sobre o contratado excedente [2]:

$$\mathbf{Ci = Dr*\$D + (Dc-Dr)*0,82*\$D} \quad (7)$$

2- Se **Dc ≤ Dr ≤ 1,05\*Dc**, então paga-se o valor da demanda registrada (dentro dos 5% de tolerância):

$$\mathbf{Ci = Dr*\$D} \quad (8)$$

3- Se **Dr > 1,05\*Dc**, então paga-se multa por ultrapassagem de demanda:

$$\mathbf{Ci = Dr*\$D + (Dr-Dc)*\$D} \quad (9)$$

Os contratos de energia no grupo A4 têm validade de um ano, e a escolha da demanda contratada se aplica aos 12 faturamentos do contrato. Dessa forma, a função custo para a demanda é a somatória do custo individual de 12 demandas.

$$C = \sum C_i, i = 1, 2, \dots, 12 \quad (70)$$

Assim, com uma série de 12 **Dr**, basta encontrar **Dc** que minimize **C** para definir a demanda a ser contratada. Como **\$D** está presente em todos os termos de **C**, pode-se dividir a função toda por **\$D**, sem que haja impacto no resultado **Dc** da minimização. Porém, com isto, o procedimento deve ser aplicado independentemente para os períodos de ponta e fora-ponta, já que os valores das demandas são diferentes nos dois períodos.

## RESULTADOS OBTIDOS

As equações obtidas algebricamente na metodologia foram aplicadas a uma unidade consumidora da Sabesp localizada no município de Avaré, atendida pela concessionária CPFL Santa Cruz. A alíquota do imposto e o limite de tolerância da demanda que compõem partes da função custo na equação (10) são os específicos para esta unidade consumidora estudada, e podem não se aplicar igualmente a uma UC arbitrária qualquer.

A Tabela 1 mostra a previsão do comportamento de consumo e demanda para os próximos 12 meses (maio/22 a abril/23), realizada com base no histórico de consumo e demanda entre janeiro/19 e abril/22. A metodologia de previsão utilizada foi o algoritmo ETS do Excel.

**Tabela 1: Previsão de comportamento pelos próximos 12 meses de uma unidade consumidora em Avaré.**

Mês	CP [kWh]	CFP [kWh]	DRP [kW]	DRFP [kW]
mai/22	1277	14811	51	54
jun/22	1231	15186	55	60
jul/22	1265	15517	60	64
ago/22	1257	14003	53	58
set/22	1267	14853	65	70
out/22	1318	15506	65	70
nov/22	1181	14393	65	70
dez/22	1127	15224	58	66
jan/23	1104	13615	59	65
fev/23	1040	13364	58	63
mar/23	1152	13689	59	64
abr/23	1254	15434	58	63

Sendo:

**CP** = Consumo ponta;

**CFP** = Consumo fora-ponta;

**DRP** = Demanda registrada ponta;

**DRFP** = Demanda registrada fora-ponta.

## Escolha da Modalidade Tarifária

Em [3], encontram-se os valores exibidos na Tabela 2 para serem aplicados à equação (6). O resultado para **tp** com estes valores é 41,11 horas. Assim, caso a carga fique ligada um tempo inferior a este, a modalidade verde será mais vantajosa. Caso contrário, será a azul.

**Tabela 2: Tarifas sem tributos vigentes a partir de 22/03/2022 na CPFL Santa Cruz e o respectivo tp.**

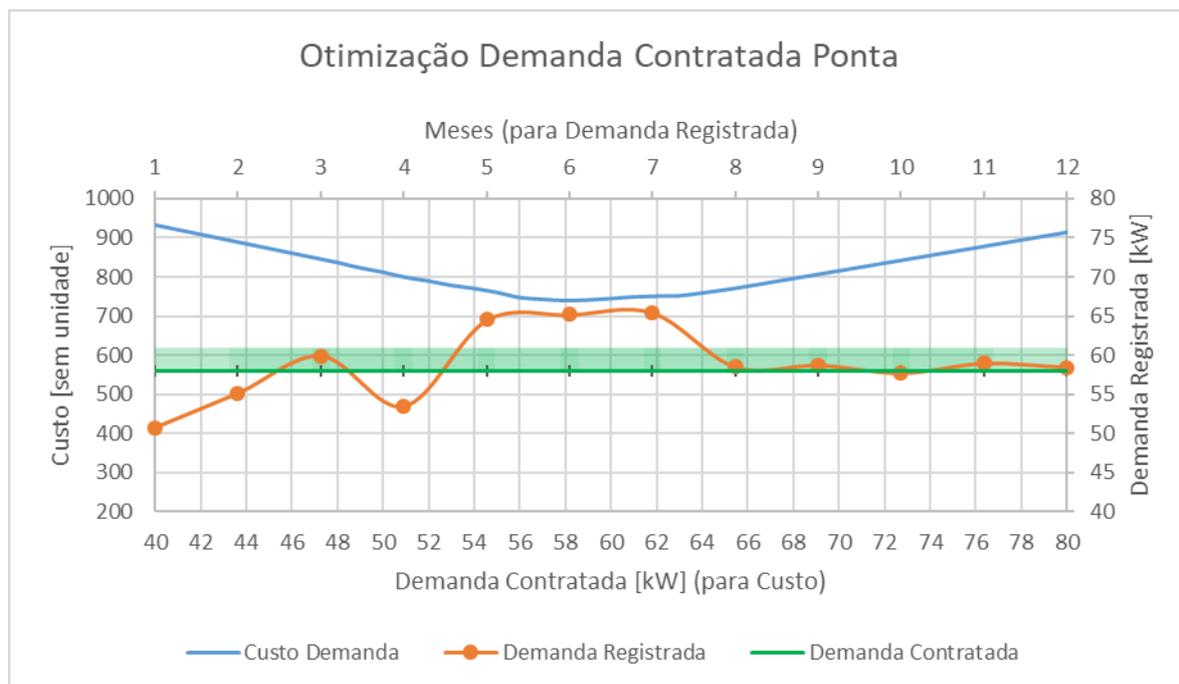
Termo	Valor	Unidade
\$Dap	43,61	R\$/kW
\$kWhvp	1,56086	R\$/kWh
\$kWhap	0,50003	R\$/kWh
Resultado ( <b>tp</b> )	41,11	h

Usando os dados da Tabela 1, e fazendo a **CP/DRP**, a média de horas por faturamento em que a carga fica ligada na ponta com consumo equivalente à demanda constante é de 20,59 horas (o menor valor foi 18,02 para fevereiro/23 e o maior foi 25,18 para maio/22). Como este valor médio está abaixo das 41,11 horas encontradas pela equação (6), a modalidade tarifária que minimiza os custos para esta UC é a verde.

### Escolha da Demanda Contratada

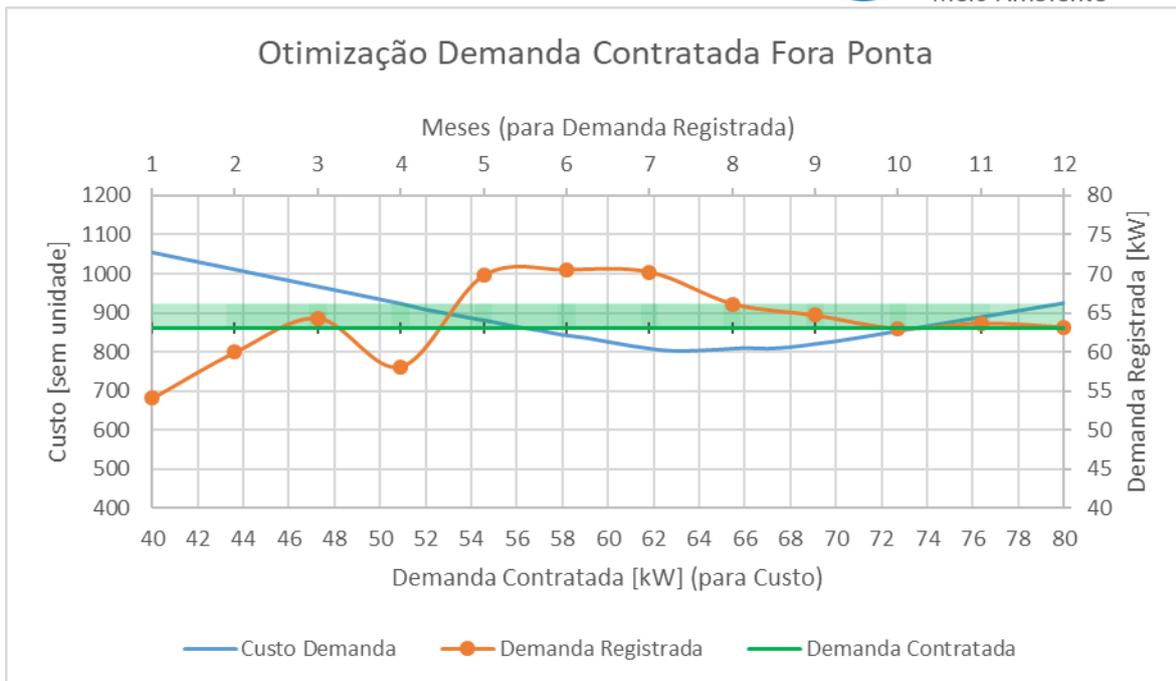
Embora a modalidade tarifária verde tenha uma demanda contratada única, os resultados abaixo considerarão os horários ponta e fora-ponta, com a finalidade de ilustrar corretamente a otimização da demanda contratada caso a modalidade ótima fosse a azul. Para fazer a mesma análise para a modalidade verde, basta considerar o maior valor registrado entre ponta e fora-ponta mês a mês (que no caso deste exemplo, coincide com todos os valores fora-ponta).

Com a série de **DRP** da Tabela 1, encontrou-se a demanda contratada ótima para minimizar a função custo da demanda no horário de ponta. O valor a ser contratado é 58 kW, conforme Figura 2.



**Figura 2: Otimização da Demanda Contratada Ponta**

Já para a série de **DRFP**, o resultado é o exposto na Figura 3, cuja demanda contratada ótima é 63 kW.



**Figura 3: Otimização da Demanda Contratada Fora Ponta**

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para o exemplo mostrado, ficou definida a melhor configuração contratual: modalidade tarifária verde e demanda contratada única de 63 kW.

Com relação à escolha da modalidade tarifária, o resultado obtido é interessante em sua facilidade de aplicação, já que a equação para obter **tp** é bastante simples e depende apenas de valores em R\$ de consumo e demanda, que são estabelecidos e divulgados pelas concessionárias de energia. Devido à forma como o faturamento enxerga o consumo e a demanda, o mesmo **tp** também pode ser obtido dividindo o primeiro pelo segundo. Dessa forma, com as considerações feitas neste trabalho para o desenvolvimento algébrico, comparar os resultados de **tp** obtidos por ambas as formas e, portanto, definir a melhor modalidade tarifária a ser contratada, é trivial.

Já com relação à demanda ótima contratada, evidencia-se o fato de que a minimização do faturamento ao longo do período contratual não significa necessariamente que não serão pagas multas por ultrapassagem de demanda uma vez ou outra durante sua vigência. No exemplo mostrado, há três meses em que há penalidade por ultrapassagem (pontos laranjas acima da faixa verde de 5% de tolerância da demanda contratada), mas mesmo assim, o valor somado de todos os 12 faturamentos é mínimo (ponto mínimo da curva azul) se a demanda contratada é a encontrada pela minimização da equação (10).

Por fim, destaca-se o surpreendente fato de que o consumo fora-ponta não influencia qualquer decisão a respeito de otimização dos contratos.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Foi realizada uma abordagem algébrica para determinar a melhor modalidade tarifária e a melhor demanda contratada para firmar um contrato de energia elétrica no grupo A4 no mercado cativo. Com as considerações feitas para o desenvolvimento da metodologia, mostrou-se que apenas com dados constantes nas faturas de energia, mais especificamente consumo na ponta, demanda registrada na ponta e demanda registrada fora-ponta, é possível encontrar a melhor configuração contratual.

A aplicação da metodologia não é complexa, e é alheia ao uso de simuladores fornecidos pelas concessionárias em seus sites. Na verdade, ao menos para a modalidade tarifária, eles comprovam a eficácia da metodologia desenvolvida neste trabalho. Fica aqui o convite ao leitor para verificar se suas próprias unidades consumidoras já estão com sua melhor modalidade tarifária contratada, com base na equação (6).

Com relação à demanda contratada, o desenvolvimento algébrico para a minimização de uma função custo mostrou-se válido, porém cabe uma ressalva: há apenas um ponto ótimo para a demanda contratada, mas há uma faixa de pontos quase ótimos. No exemplo mostrado, esta faixa varia entre 56 e 63 kW na ponta, e entre 62 e 68 kW fora-ponta. A largura desta faixa depende da variação do comportamento da demanda em cada faturamento: uma maior variação implica também uma maior faixa quase ótima. Um consumidor com maior aversão ao risco da penalidade de ultrapassagem de demanda tem uma certa flexibilidade para optar por um valor quase ótimo tendendo ao maior valor dentro desta faixa.

Sugere-se como trabalhos futuros desenvolvimento algébrico semelhante ao realizado neste trabalho, mas para consumidores com peculiaridades diferentes, como por exemplo os consumidores de demais grupos tarifários, ou consumidores do mercado livre de energia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - *Resolução Normativa ANEEL n.º 1.000, de 7 de dezembro de 2021*. Disponível em <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.000-de-7-de-dezembro-de-2021-368359651>. Acesso em: 20/05/2022
2. SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA - *Súmula n.º 391*. Disponível em <https://www.stj.jus.br/publicacaoinstitucional/index.php/sumstj/article/download/5455/5579>. Acesso em: 20/05/2022.
3. CPFL ENERGIA - *Tarifas CPFL Santa Cruz*. Disponível em <https://www.cpfl.com.br/empresas/tarifas-cpfl-santa-cruz>. Acesso em: 20/05/2022.