

Comitê de Estudos CE - Título do Comitê de Estudos CE

Análise da ferramenta web para alocação de contratos de energia para consumidores (potencialmente) livres

M. N. S. M. DE LIMA*
Brasil

F. Y. K. TAKIGAWA
Brasil

W. R. DE PAULA
Brasil

Resumo – O mercado de energia brasileiro atualmente está fragmentado em dois ambientes de contratação, o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). No ambiente regulado, os consumidores compram energia da concessionária local, e as concessionárias compram energia por meio de leilões de energia. Por outro lado, no ambiente livre, os consumidores livres negociam a compra de energia por meio de contratos bilaterais entre os agentes. Pelo lado do agente consumidor, existe a possibilidade de migração entre os ambientes (normalmente do ACR para o ACL) para um tipo específico de consumidor (consumidor potencialmente livre). Desta maneira, no sentido de auxiliar na tomada de decisão desses consumidores, foi desenvolvida uma ferramenta web gratuita. A aplicação da ferramenta viabiliza não apenas uma possível migração de ambiente, mas soluciona o problema de alocação contratual baseado em um portfólio de contratos bilaterais (podendo ser inserido pelo próprio usuário) e o perfil de consumo do mesmo. Além disso, a ferramenta permite diversas análises ao usuário, desde uma possível exposição ao mercado de curto prazo, sobrecontratação, sazonalização e flexibilização de contratos, análise comparativa entre o custo médio resultante da alocação contratual no mercado livre e o preço de indiferença entre os ambientes, entre outros pontos. Os resultados da ferramenta web são expostos ao final de cada simulação e, caso o usuário deseje, os mesmos são compilados em um relatório para ser armazenado posteriormente.

Palavras-chave: Ambientes de contratação de energia – Consumidor potencialmente livre – Ferramenta web – Alocação de contratos bilaterais – Sazonalização e flexibilização

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o mercado de energia no Brasil é dividido em dois ambientes de contratação [1], Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). A Fig. 1 ilustra os ambientes de contratação e os agentes de mercado.

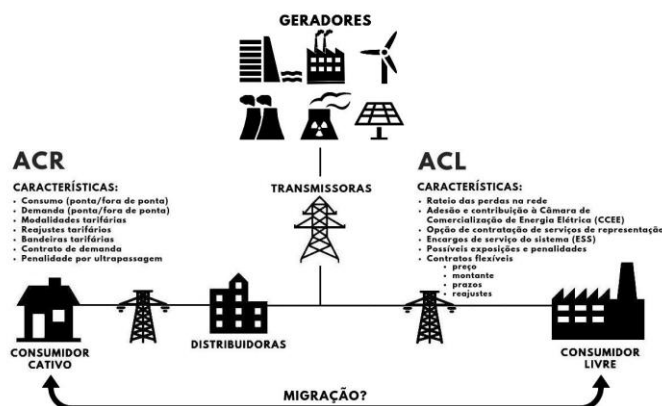


Fig. 1. Ambientes de contratação e os agentes.

Na Fig. 1 pode-se observar que cada ambiente de contratação possibilita um tipo de consumidor, consumidor cativo no ACR e consumidor livre no ACL, sendo que os consumidores livres podem ser livres ou especiais. A Tabela I ilustra as características dos consumidores livres. Desta forma, todos os consumidores cativos do ACR que possuem as condições apresentadas na Tabela I, são considerados consumidores potencialmente livres e podem efetuar a migração de ambientes (do ACR para o ACL).

TABELA I. CARACTERÍSTICAS DOS CONSUMIDORES LIVRES.

Consumidor	Fonte	Demanda Mínima	Tensão
Livre	Convencional ou Incentivada	3 MW	Nenhuma
Especial	Incentivada	500 kW	2,3 kV

Além de preencher os critérios ilustrados pela Tabela I, os consumidores potencialmente livres, normalmente efetuam um comparativo financeiro [2] sobre os custos associados aos dois ambientes para assim decidir sobre sua migração ou não. Por outro lado, os consumidores livres devem estar 100% contratados e, normalmente, evitam à exposição ao Mercado de Curto Prazo (MCP), visto que o Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) possui grande volatilidade.

Existem outros pontos determinantes no estudo da migração, como por exemplo: possíveis penalidades; custos relacionados às tarifas de conexões e ao uso do sistema de transmissão e distribuição; adesão à Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE); adequação da medição aos padrões exigidos pela CCEE; contribuição mensal à CCEE; gestão do contrato com a CCEE; exposições ao mercado de curto prazo; rateio das perdas da rede básica; período mínimo de 5 anos no ACL; entre outros [3].

Nos últimos anos, devido a facilidade nas características impostas aos consumidores livres (principalmente aos especiais), ocorreu um aumento crescente dos consumidores livres no ACL como pode ser visto na Fig. 2. Na mesma pode-se perceber que a quantidade desse tipo de agente no ACL é cada vez mais expressivo.

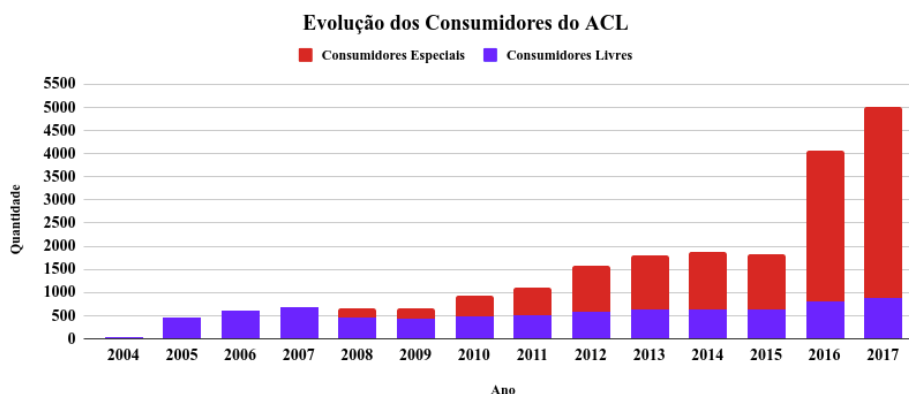


Fig. 2. Histórico do quantitativo de consumidores no ACL [4].

No entanto, esses consumidores quando migram ao ACL, normalmente, são dependentes de intermediários para que permaneçam ou tenham situação similar ao fornecimento da concessionária (ACR), mas com custo final menor. São poucos os consumidores que possuem alguma área específica dentro da própria empresa, que efetue a compra dos seus próprios contratos de energia. Outro ponto interessante é a falta documentos e ferramentas disponíveis voltadas a esse tipo de agente.

Nesse sentido, a fim de auxiliar a tomada de decisão do consumidor (potencialmente) livre, foi desenvolvida uma ferramenta *web* que determina a melhor alocação dos contratos considerando um portfólio de contratos de energia e compara o seu valor médio contratual com o Preço de Indiferença (PI) previamente calculado (preço entre os ambientes). Desta forma, com a ferramenta *web*, o consumidor pode ter uma referência, assim como efetuar simulações analisando diversos portfólios contratuais, preços de PLDs, exposições, sobrecontratações, sazonalização e flexibilização de contratos, entre outros pontos.

O artigo está organizado da seguinte maneira: na Seção 2 é apresentada a ferramenta *web* desenvolvida, denominada de Aplicativo para Alocação de Contratos (APLAC), e os requisitos necessários para o desenvolvimento da ferramenta computacional e os seus utilitários. Na Seção 3, são apresentados os dados dos casos abordados. Na Seção 4 é apresentado os resultados da ferramenta *web*, juntamente com a análise do desempenho da ferramenta e, por fim, na Seção 5 as considerações finais do artigo são expostas.

2 FERRAMENTA WEB APLAC

A ferramenta foi desenvolvida buscando proporcionar fluidez e interatividade durante sua utilização. Portanto foram agregadas algumas *frameworks*, como *AngularJS*, *Bootstrap framework*, *ChartJS*, *Handsontable* e *mPDF*. Dessa forma foi possível desenvolver a ferramenta usando estrutura *Model View Controller* (MVC) no lado do cliente, que mostrou-se adequada, pois a mesma trabalha de forma a otimizar a comunicação e a troca de dados entre as três camadas envolvidas [5]. O somatório do uso dessas *frameworks* resultou em responsividade, velocidade, interatividade, fluidez, entrada de dados por meio de células, exposição de gráficos e a possibilidade de gerar relatórios no formato pdf.

A aplicação pode ser acessada gratuitamente [6] e está dividida em seis abas principais, “Sobre o Mercado de Energia no Brasil”, “Sobre a Ferramenta”, “Tutorial”, “Portfólio Pessoal”, “APLAC” e “Contato”. Dessa maneira o usuário pode navegar entre as abas, compreender o funcionamento do mercado de energia brasileiro, compreender o objetivo da ferramenta *web* e como utilizar a mesma.

A primeira aba resume de maneira direta o funcionamento do mercado de energia no Brasil e como funciona a dinâmica dos ambientes de contratação. A segunda aba contém informações acerca da ferramenta APLAC, como a mesma foi planejada, qual foi o método usado em sua criação e seus resultados. Na mesma ainda estão dispostos os contratos cadastrados no sistema. A terceira aba exibe o tutorial de uso da ferramenta *web*. E a quarta aba possibilita que o usuário insira os dados de seus contratos em uma tabela *online* (contratos pessoais). A última aba contém um formulário de contato, em que os usuários podem entrar em contato com os desenvolvedores, podendo enviar um *feedback* da aplicabilidade e sugestões para a ferramenta *web*.

A aplicação computacional resolve um problema de otimização do tipo inteiro misto (MILP), por meio da função GLPK [7], buscando minimizar o custo no mercado livre e selecionando contratos de energia a partir de um portfólio de contratos (predeterminado pelo usuário ou não). O APLAC possibilita a escolha entre dois portfólios de contratos existentes internamente na ferramenta (de 200 ou de 300 contratos) ou caso o usuário possua seus contratos pessoais, o mesmo pode informar os mesmos (limite de 200 contratos).

A aba APLAC é onde ocorre a chamada do otimizador (GLPK) e onde serão gerados os resultados. A Fig. 3 exibe a aba APLAC.

	Data [yyyy/mm]	Consumo na Ponta [MWh]	Consumo fora da Ponta [MWh]	Demanda na Ponta [MWh]	Demanda fora da Ponta [MWh]	PLD [R\$/MWh]
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						

Fig. 3. Aba APLAC.

O usuário ainda pode escolher o formato de entrada de seus dados, sendo quatro opções possíveis:

- somente valores de consumo;
- somente valores de consumo e de PLD;
- valores de datas, consumo e demanda;
- valores de data, consumo, demanda e PLD.

Dependendo do conjunto de dados informados, a aplicação APLAC responde de forma diferente (por exemplo, ao ser informado o valor do PLD o consumidor afirma a possibilidade de compra de energia no MCP, caso contrário a aplicação considera a impossibilidade de compra no MCP). Adicionalmente, o usuário

pode alterar outras configurações avançadas da ferramenta *web* (valor de contribuição mensal a CCEE, imposto ICMS, encargo de serviço do sistema, perdas da rede básica e o fator de multiplicação¹ das demandas dos portfólios de contratos bilaterais).

Os resultados da ferramenta, inicialmente são expostos por meio de gráficos e tabelas. Entretanto, caso o usuário deseje, pode ser gerado um relatório no formato de pdf, que consta os resultados de forma mais completa. No relatório é ilustrada a situação de contratação do consumidor juntamente com uma análise numérica dos valores, indicando o quantitativo de energia comprado, distinguindo os contratos bilaterais e a compra de energia no MCP, assim como, ilustrando se a migração é vantajosa economicamente (comparação entre o valor do PI e o valor médio dos preços dos contratos selecionados do APLAC).

3 DADOS UTILIZADOS

A Tabela II apresenta informações a respeito dos quatro consumidores analisados, como o consumo (ponta e fora de ponta), tensão de fornecimento, grupo e modalidade tarifária, consumidor especial ou não e a característica do consumidor. Todos os consumidores estão na área de concessão da CELESC.

TABELA II. DADOS DOS CONSUMIDORES.

Consumidores	Consumo		Tensão	Grupo e Modalidade	Especial	Característica	Período (18 meses)
	Ponta	Fora da Ponta					
I	0 MW	0,65 MW	13,8 kV	A4 Verde	Sim	Escola	Jan/2017 a Jun/2018
II	0 MW	0,60 MW	13,8 kV	A4 Verde	Sim	Comércio	Jan/2017 a Jun/2018
III	0,92 MW	1,30 MW	69 kV	A3 Azul	Sim	Indústria	Jan/2014 a Jun/2015
IV	3,50 MW	4,40 MW	69 kV	A3 Azul	Não	Indústria	Out/2013 a Mar/2015

O consumo mensal dos quatro consumidores propostos pode ser observado na Fig. 4.

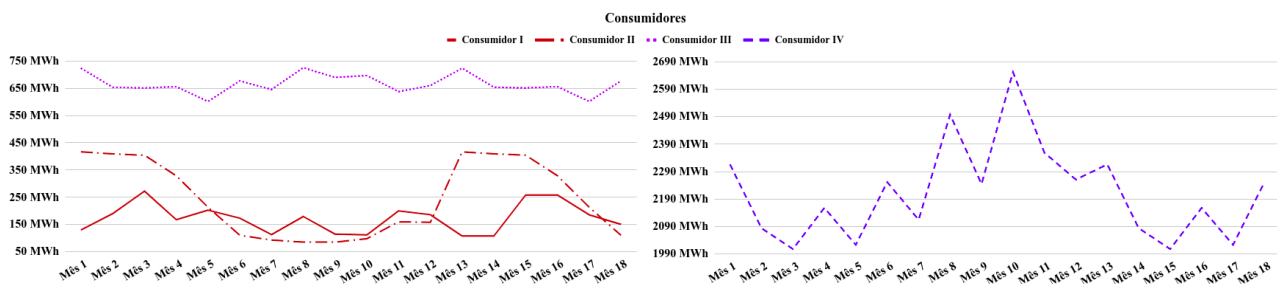


Fig. 4. Consumo dos casos propostos.

Os valores médios do PLD, da região sul [8], para o período de estudo estão ilustrados na Fig. 5. Pode-se observar que os valores oscilam, ilustrando a volatilidade do PLD no MCP.

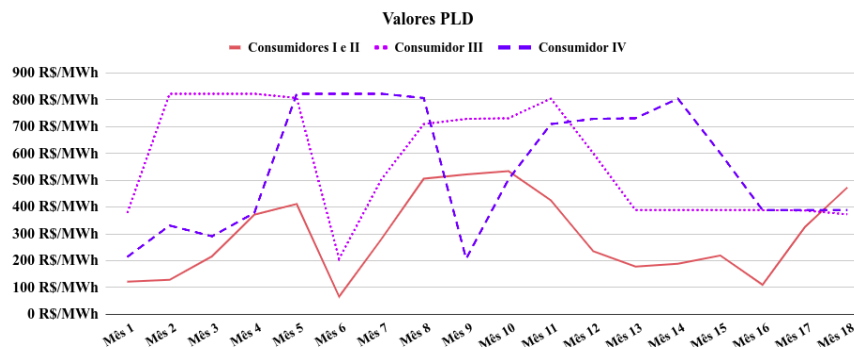


Fig. 5. Valores de PLD para o período dos casos.

¹ Fator utilizado para que os montantes dos contratos existentes no sistema possam ser aproveitados independente do montante consumido pelo usuário.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

No sentido de ilustrar aplicabilidade da ferramenta APLAC, foram simulados alguns cenários com os quatro consumidores. Inicialmente será apresentado o resultado da ferramenta *web* APLAC para o consumidor 1 e, posteriormente, para os demais consumidores, considerando o portfólio de contratos bilaterais do sistema (200 contratos) e sem a possibilidade de compra no MCP. Na sequência, será analisada a possibilidade de compra no MCP, considerando os valores de PLD ilustrados na Fig. 5. E, por fim, efetua-se um resumo dos casos analisados e do desempenho da ferramenta *web* APLAC.

4.1 Consumidor I

A Fig. 6 ilustra a alocação contratual escolhida pela ferramenta APLAC para o consumidor proposto. Pode-se observar na mesma, os contratos selecionados, seus valores sazonalizados totais (linha tracejada) e flexibilizados de cada contrato (blocos), assim como o consumo do usuário (linha contínua). No lado direito da Fig. 6 é exposto o resumo da simulação.

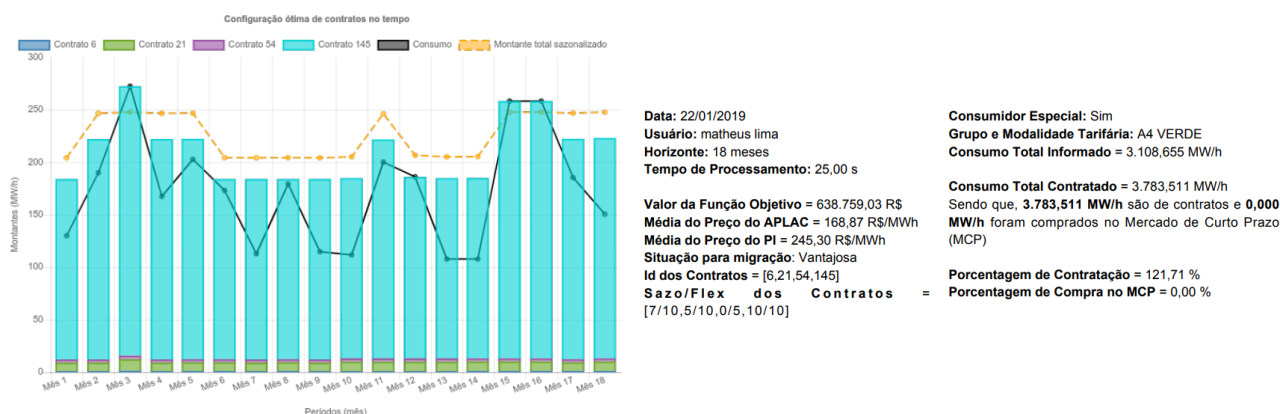


Fig. 6. Resultados da simulação para o Consumidor I.

Na Fig. 6 ainda pode ser observado que o montante contratado foi de 121,71% tendo diversos momentos de sobrecontratação (valores do montante flexibilizado total acima da linha de consumo). Em resumo, foram quatro contratos selecionados com montantes, preços e possibilidades de sazonalização/flexibilização distintos. A Fig. 7 ilustra os percentuais de sazonalização e flexibilização do portfólio selecionado, juntamente com o preço e montantes dos contratos. Pode-se observar que a ferramenta sempre busca ajustar os valores para melhor atender a demanda do usuário.

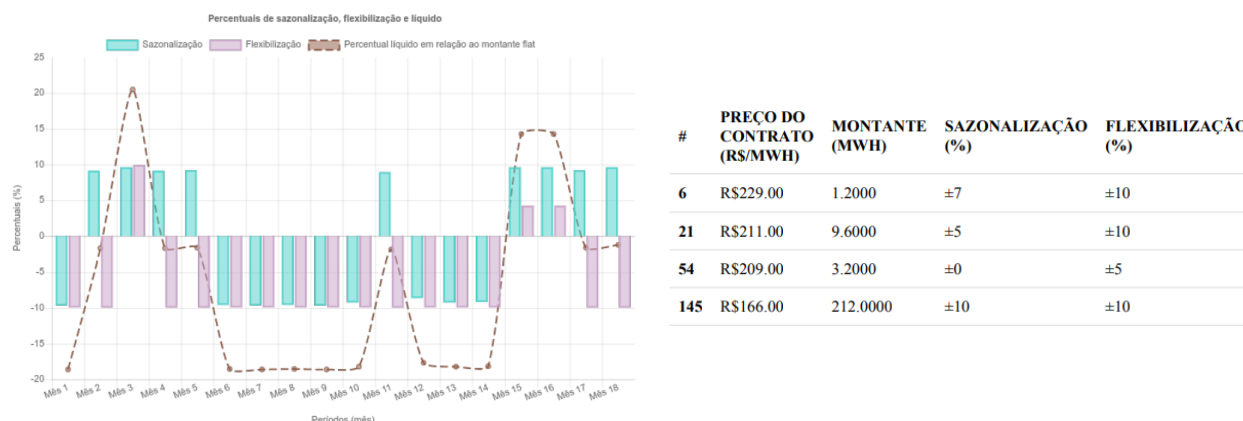


Fig. 7. Sazonalização e flexibilização do portfólio e dos contratos individuais selecionados.

A ferramenta *web* selecionou os contratos bilaterais mais baratos e com os maiores índices de sazonalização e flexibilização. Com esse conjunto de contratos o consumidor ficou 21,71 % sobrecontratado, tendo

674,856 MWh excedentes, entretanto mesmo com esse montante considerável (que poderia ser comercializado) a aplicação indica que a migração seria vantajosa economicamente.

4.2 Demais consumidores

Efetuada a simulação aos consumidores II, III e IV, obteve-se os resultados expostos nas figuras 8, 9 e 10, respectivamente.

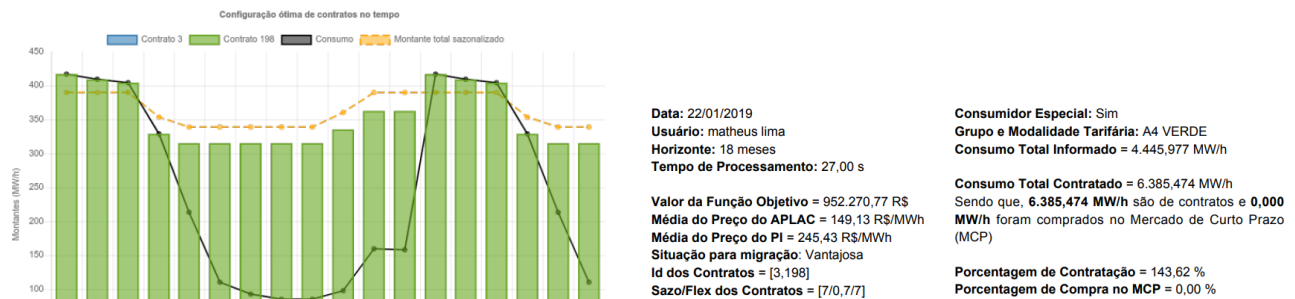


Fig. 8. Resultados da simulação para o Consumidor II.

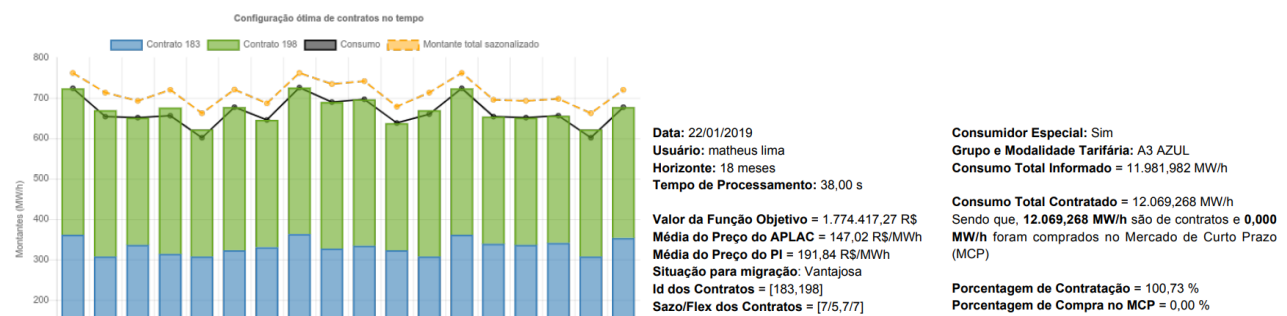


Fig. 9. Resultados da simulação para o Consumidor III.

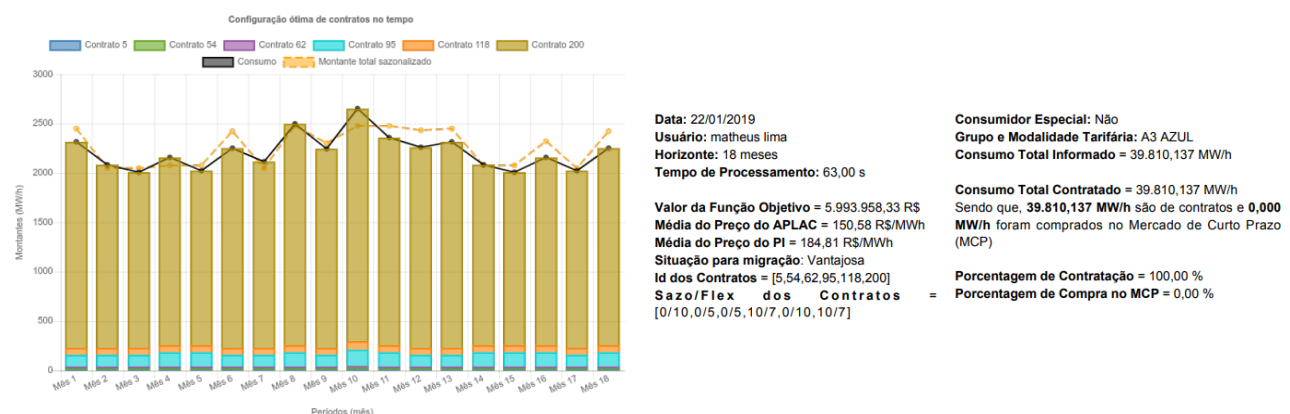


Fig. 10. Resultados da simulação para o Consumidor IV.

O Consumidor II devido ao seu perfil de consumo (varia significativamente ao longo dos meses) fica sobrecontratado demasiadamente (43,62%). Esse consumidor poderia efetuar compras no MCP e/ou efetuar aditivos ao seu contrato bilateral para que essas oscilações de consumo pudessem ser negociadas com o

agente vendedor. Diferentemente, os consumidores III e IV não possuem oscilações elevadas em seu consumo (por exemplo, o Consumidor III tem uma oscilação menor que 10%, em relação à média) e a ferramenta *web* praticamente supre a totalidade do consumo do usuário. Outro ponto interessante de se observar é que para o Consumidor IV, que possui um consumo mais elevado, foram necessários a combinação de diversos contratos para o atendimento ao seu consumo.

4.3 Considerando a possibilidade de compra no MCP

A Fig. 11 ilustra os resultados para os consumidores I e II e a possibilidade de compra no MCP.

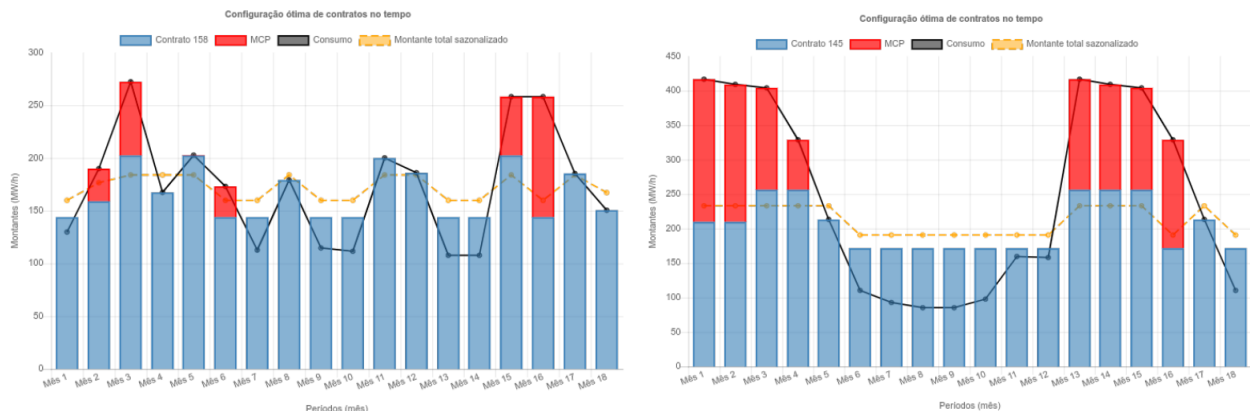


Fig. 11. Resultados da simulação para o Consumidor I e II – possibilidade de compra no MCP.

Pode-se observar nos blocos em vermelho, a compra no MCP. Assim como pode-se efetuar um comparativo com as figuras 6 e 8, respectivamente. Neste sentido, observa-se uma menor sobrecontratação (principalmente para o Consumidor II) e uma redução dos contratos bilaterais selecionados para o atendimento do consumo. No entanto, o Consumidor II estaria praticamente 30% exposto ao MCP e suas oscilações de PLDs.

Os consumidores III e IV, devido ao comportamento do seu perfil de consumo e aos altos valores de PLD em relação aos valores dos contratos bilaterais, praticamente não efetuaram compras no MCP (apenas no Consumidor IV teve uma compra de 0,34%).

4.4 Análise geral

A Tabela III ilustra o tempo de processamento, a porcentagem de contratação, os dados de ajustes dos contratos bilaterais selecionados e os preços médios contratuais calculados, para serem comparados com os valores do PI.

TABELA III. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES.

#	Tempo de Processamento (s)		Porcentagem de Contratação (%)		Sazonalização/ Flexibilização (%)		Preços APLAC (R\$/MWh)		Preços PI (R\$/MWh)
	Sem MCP	Com MCP	Sem MCP	Com MCP	Sem MCP	Com MCP	Sem MCP	Com MCP	
I	25	37	121,71	96,09	7/10, 5/10, 0/5, 10/10	7/10	168,87	180,00	245,3
II	27	14	143,62	82,65	7/0, 7/7	10/10	149,13	166,00	245,43
III	38	43	100,73	100,73	7/5, 7/7	7/5, 7/7	147,02	147,02	191,84
IV	63	30	100,00	99,66	0/10, 0/5, 0/5, 10/7, 0/10, 10/7	10/7, 10/7	150,58	147,75	184,81

Pode-se observar que o tempo computacional para simular os cenários abordados é baixo e que os valores médios contratuais foram menores que os preços do PI, indicando a possibilidade de uma melhor rentabilidade no ACL. Outro ponto que vale a pena ressaltar é que sem a possibilidade de compra no MCP, o consumidor normalmente se encontrará sobrecontratado, devendo o mesmo efetuar os ajustes contratuais com o agente vendedor, de maneira a diminuir sua sobrecontratação e/ou revender sua energia excedente.

Outro ponto interessante é que a ferramenta *web* APLAC, em busca da melhor solução ao consumidor, efetua um mix entre os contratos bilaterais selecionados, com montantes maiores e outros menores, assim como de diversos valores de sazonalização e flexibilização, possibilitando manobras para o melhor atendimento ao consumo. Por fim, vale destacar que o consumidor pode revender o seu excedente contratual, no entanto, essa possibilidade não está implementada na ferramenta *web*, visto que isso dependeria exclusivamente dos valores definidos de PLD.

5 CONCLUSÕES

Tendo em vista a tendência do mercado de energia nacional e o crescente número de consumidores (potencialmente) livres, o desenvolvimento de uma ferramenta *online* e gratuita para auxílio ao agente é estrategicamente interessante. Neste sentido, a ferramenta *web* APLAC possibilita a utilização de maneira didática e clara, fornecendo diretrizes e apoio a tomada de decisão do agente consumidor. Ademais, a ferramenta *web* APLAC disponibiliza documentos e informações acerca do mercado e da própria ferramenta que estão disponíveis gratuitamente.

Os autores efetuaram diversas simulações e a ferramenta *web* APLAC apresentou resultados precisos em um tempo computacional aceitável. Diversos usuários, sejam consumidores e/ou agentes intermediários e/ou comercializadores podem utilizar da ferramenta, assim como, podem encaminhar sugestões e/ou melhorias da mesma.

Por fim, os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos recursos disponibilizados ao desenvolvimento desse trabalho.

6 REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. Decreto n 5.163/04, de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163.htm>. Acesso em: 13/12/2018.
- [2] M. N. S. M. de Lima, F. Y. K. Takigawa, M. R. Scuzziato, and R. C. Fernandes, "A Disponibilidade da Ferramenta Web Preço de Indiferença (PI) para Cursos de Graduação", in: *CIDEL 2018*, Buenos Aires, Sept, 2018. Disponível em: <<https://www.cidel2018.com/recap.asp>>. Acesso em: 25 jan. 2019.
- [3] A. E. C. Duarte, "Análise da Comercialização de Energia pelos Consumidores Livres". Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC. Santa Catarina, 2015.
- [4] CCEE. Relatório Anual de Administração 2017, <https://www.ccee.org.br/relatoriodeadministracao/relatorio-anual-administracao-ccee-2017.pdf>. Acesso em: 22/01/2019.
- [5] V. Dao, Development of a front-end application using AngularJS: 1UP Media company case. Curso de Programme In Bit, Laurea University Of Applied Sciences, Leppävaara. Cap. 6. 2016. <<http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/120244/1301725-Thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 26/12/2018.
- [6] GESE. Ferramenta web APLAC. <<https://gese.florianopolis.ifsc.edu.br/consumidorlivre/aplac>>. Acesso em: 26/12/2018.
- [7] GLPK. GNU Linear Programming Kit. <<https://www.gnu.org/software/glpk/>>. Acesso em: 24/01/2019.
- [8] CCEE. Preço Médio da CCEE (R\$/MWh). <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/precos/precos_medios?_afzLoop=167147694129888#!%40%40%3F_afzLoop%3D167147694129888%26_adf.ctrl-state%3D1191pbh1m7_4>. Acesso em: 17/01/2019.