

Principais etapas do desenvolvimento da ferramenta *Web* para alocação de contratos de energia

Matheus N. S. M. De Lima, Werik R. De Paula, Fabrício Y. K. Takigawa

Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) - Av. Mauro Ramos, 950 - Centro,
Florianópolis - SC, 88020-300

matheus.marques_96@hotmail.com, werik-1998@hotmail.com,
takigawa@ifsc.edu.br

Abstract. *In the Brazilian energy market two contracting environments were instituted: the Regulated Contracting Environment (ACR) and the Free Contracting Environment (ACL). On the demand side, depending on some regulatory requirements, the consumers can choose their energy contracts between the two environments. In this way, in order to assist this consumer choice, a web application was developed based on the Model-View-Controller (MVC) architecture, which uses the user's energy consumption and returns a report with several informations (indifference price between environments, selected contracts based on a portfolio of bilateral contracts, contracting analysis, among others).*

Resumo. *No mercado brasileiro de energia elétrica dois ambientes de contratação foram instituídos: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de contratação Livre (ACL). Pelo lado do consumidor, dependendo de alguns requisitos regulatórios, existe a possibilidade de escolha na contratação de energia elétrica entre os dois ambientes. Desta forma, no sentido de auxiliar a escolha desse consumidor foi desenvolvida uma ferramenta web, baseada na arquitetura Model-View-Controller (MVC), que utiliza o histórico de consumo de energia do usuário e retorna um relatório com diversas informações ao mesmo (preço de indiferença entre os ambientes, alocação da contratação de energia baseado em um portfólio de contratos bilaterais, análise da contratação, entre outros).*

1. Introdução

No Brasil, a comercialização de energia elétrica ocorre por meio de dois ambientes: Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e Ambiente de Contratação Livre (ACL), conforme definido no Decreto nº 5.163/04 [Brasil 2004]. A principal distinção entre os mesmos está na forma de contratação de energia, enquanto no ambiente regulado (também chamado de ambiente cativo), as distribuidoras adquirem energia por meio de leilões regulados pelo Governo Federal, no ACL a compra e venda de energia são definidas por meio de contratos bilaterais livremente negociados entre os agentes. A Figura 1 ilustra o funcionamento do mercado de energia brasileiro, as características de cada ambiente e a possibilidade de migração entre eles, pela ótica do consumidor.

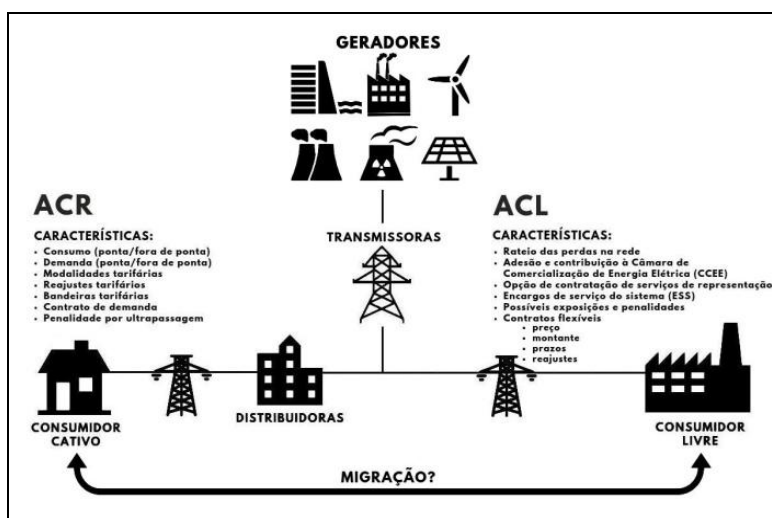


Figura 1. Comercialização de energia elétrica no Brasil.

Os consumidores potencialmente livres, que podem optar por comprar energia nos dois ambientes (ACR e ACL), são chamados de potencialmente livres e possuem demanda mínima de 500 kW [ANEEL 2017]. A opção da migração para esses consumidores, cativo (ACR) ou livre (ACL), está ilustrada pela seta na Figura 1.

Devido a falta de informação e de apoio no que diz respeito as regras e o funcionamento no processo de adesão na CCEE (processo mandatório caso o consumidor opte pelo ACR), o consumidor potencialmente livre que deseja migrar do ACR para o ACL, normalmente recorre a serviços de agentes intermediários, tais como consultoras especializadas e/ou comercializadoras de energia. Nesse sentido, com o objetivo de auxiliar esse consumidor na tomada de decisão, foi desenvolvido uma ferramenta *web* que agrega informações relacionadas ao mercado de energia e possibilita a simulação de contratação no mercado livre.

2. Métodos e Materiais

Preliminarmente ocorreu a pesquisa e o planejamento do desenvolvimento da aplicação na máquina virtual do servidor da instituição para hospedagem do sistema [Silva *et al* 2018]. Um dos principais objetivos foi proporcionar uma experiência agradável aos usuários do sistema de modo que a quantidade de requisições simultâneas não afetasse o servidor, deixando-o constantemente apto para qualquer nova requisição com perda desprezível de desempenho. Com base nesses requisitos, a implementação da estrutura *Model View Controller* (MVC) no lado do cliente¹, mostrou-se adequada, pois a mesma trabalha de forma a otimizar a comunicação e a troca de dados entre as três camadas envolvidas [Dao 2016].

A primeira camada chamada de *Model* é a parte da estrutura onde se encontra a lógica da aplicação, a qual deve ser capaz de executar as tarefas mais diversas, porém não tem como função exibir dados. Já a segunda camada, *View* tem como competência apenas exibir os dados independente do caminho utilizado, entretanto essa camada não entende como obtê-los ou quando deve renderizá-los. A terceira camada, *Controller* é responsável por definir quando e quais funções/interações devem ser executadas. Por

¹ Também chamado de *client-side*, onde ocorre interatividade do cliente/usuário com o navegador.

exemplo, pegar dados em um *Model* (banco de dados) e exibir na *View* (uma página HTML) tudo temporizado e disparado pelo *Controller* [Reenskaug 1978]. A Figura 2 ilustra a estrutura MVC.

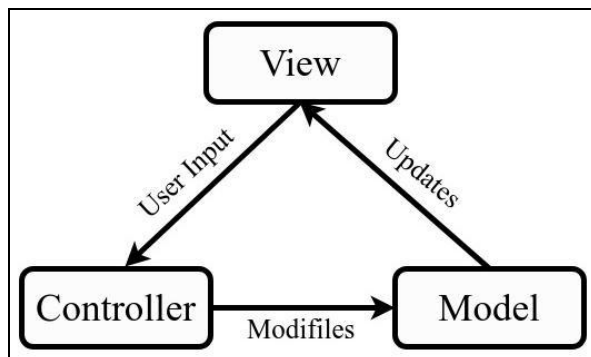


Figura 2. Estrutura MVC.

Para as definições das linguagens de programação utilizadas, foram escolhidas algumas das mais utilizadas para o desenvolvimento *web*, como PHP e JavaScript. De modo geral, com o uso da linguagem JavaScript para desenvolvimento dos *controllers* a maior parte da aplicação é executada apenas no navegador do cliente, reforçando o foco inicial de prezar pelo desempenho do servidor. E o PHP foi usado em sua forma pura, sem uso de *frameworks*, destinado a realizar requisições, de forma limpa e fluida.

Durante todo esse processo, teve-se como intenção prever possíveis obstáculos e complicações no decorrer da construção da aplicação *web*. Como parte dessa etapa a implementação de alguns *frameworks* e ferramentas foram cruciais para proporcionar certa fluidez durante a utilização. As principais são citadas a seguir:

- *AngularJS framework* é responsável por dispor da estrutura MVC e algumas funções/interações
- *Bootstrap framework* traz uma apresentação agradável aos usuários com suas folhas de estilo e classes em CSS e JS
- *JavaScript ChartJS* para expor dados diversos gráficos dinâmicos
- *Handsontable* para criação de tabelas iterativas
- *mPDF* ajudou na geração dos relatórios no formato pdf
- *Ajax* e *PHP* destinados a processamento dos dados
- *SQL* para requisições de dados depositados no banco de dados *MariaDB*
- No *front-end* consolidou-se com a linguagem de marcação *HTML5* e a de folha de estilos *CSS3*
- *Octave* para o processamento matemático

Os respectivos logos de algumas das ferramentas citadas são evidenciados na Figura 3.



Figura 3. Logos das ferramentas exploradas.

A modelagem matemática da contratação de energia no ambiente livre foi desenvolvida por Takigawa et al (2017) e resultou em um problema linear inteiro misto (PLIM). Neste problema proposto, o consumidor potencialmente livre pode analisar a melhor estratégia na alocação de contratos (sendo que os mesmos podem ser previamente estipulados) no sentido de selecionar o portfólio de contratos que atenda a sua demanda de forma mais econômica possível. O problema matemático considera:

- Limites de sazonalização: expresso por meio de um percentual sobre o montante dos contratos
- Restrição de sazonalização: o somatório dos montantes sazonalizados, ao longo dos estágios, deverá ser igual ao total contratado
- Limites de flexibilidade: expresso por meio de um percentual, em que existe uma flexibilidade nos montantes sazonalizados
- Restrição de atendimento à demanda: considerando que a demanda do usuário esteja 100% suprida (podendo ser considerado a compra no mercado de curto prazo ou não)

Com o intuito de implementar o PLIM proposto, diversos *softwares* para a implementação *web* foram investigados: GNU Linear Programming Kit (GLPK), SCIP, lp_solve, OR-Tools e Gurobi. Entretanto, o solver escolhido foi o GLPK, pela facilidade de implementação e por ser *open source*, o GLPK é compilado pelo *software* livre GNU Octave, similar ao MATLAB. O GLPK e o Octave são iniciativas GNU, que buscam desenvolver *softwares* de código aberto com a mesma qualidade de *softwares* de iniciativas privadas.

Por fim, a última etapa foi agregar na ferramenta *web*, denominada Aplicativo para Alocação de Contratos (APLAC), os resultados de outra ferramenta *web* Preço de Indiferença (PI) [De Lima et al 2018], que encontra o PI para a possível migração para o ACL. O PI, dado em R\$/Wh, é o preço médio máximo que o usuário deve buscar contratar no ACL para a migração ser vantajosa economicamente.

3. Resultados

O principal resultado obtido foi o desenvolvimento da ferramenta *web* APLAC, que está disposta para acesso gratuito [GESE 2018]. A mesma foi dividida em seis abas principais:

- Sobre o Mercado de Energia no Brasil
- Sobre a Ferramenta
- Tutorial
- Portfólio Pessoal
- APLAC
- Contato

A primeira aba resume de maneira direta o Mercado de Energia no Brasil e como funciona a dinâmica dos ambientes de contratação, pela ótica do consumidor. Na mesma ainda é possível observar o histórico dos Preços de Liquidação das Diferenças (PLDs), a partir de maio de 2003 [CCEE 2018]. A Figura 4 ilustra o gráfico dos valores de PLD por mês.

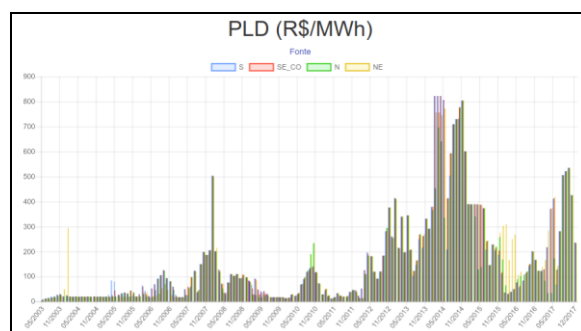


Figura 4. Valores mensais de PLD por submercado.

Na segunda aba está disposto ao usuário informações acerca da ferramenta APLAC, como a mesma foi planejada, quais as ferramentas usadas em sua criação e seus resultados. Na mesma ainda estão dispostos os contratos cadastrados no sistema. A Figura 5 ilustra a capa da apresentação da ferramenta *web* APLAC, disponibilizada no *site*.

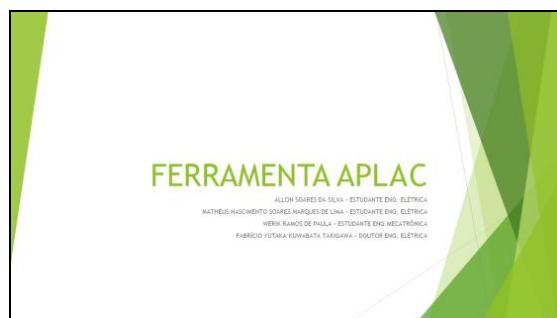


Figura 5. Apresentação da ferramenta APLAC.

A terceira aba disponibiliza 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). Essa aba é ilustrada na Figura 6.

Contratos Pessoais

Id	Preço do Contrato [R\$/Mwh]	Montante [Mwh]	Sazonalização [%]	Flexibilização [%]

🔄 Carregar portfólio
💾 Salvar portfólio
✖ Excluir portfólio

Figura 6. Entrada dos contratos pessoais.

A aba APLAC é onde ocorre a chamada do otimizador e onde será gerado os resultados. O usuário pode escolher o formato de entrada de dados, sendo quatro opções: somente valores de consumo; somente valores de consumo e de PLD; valores de datas, consumo e demanda; ou, por fim, valores de data, consumo, demanda e PLD.

A Figura 7 ilustra a tabela em que o usuário preenche os seus dados e chama o APLAC (gerar).

	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						

Figura 7. Entrada de dados.

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 Figura 8 ilustra esse formulário.

Figura 8. Formulário de contato.

Ao simular um caso, o usuário visualizará dois principais gráficos. Esses estão ilustrados nas figuras 9 e 10.

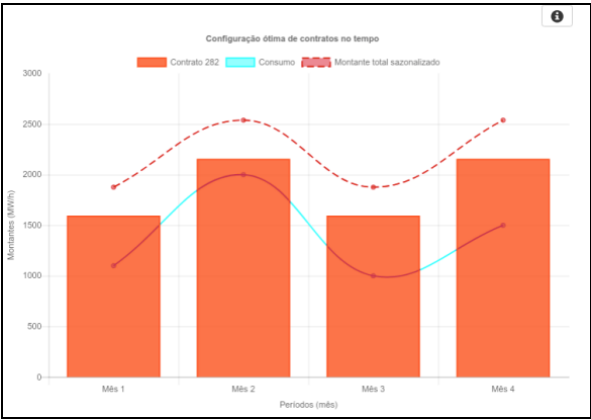


Figura 9. Resultado da alocação da contratação pelo APLAC, para uma simulação efetuada.

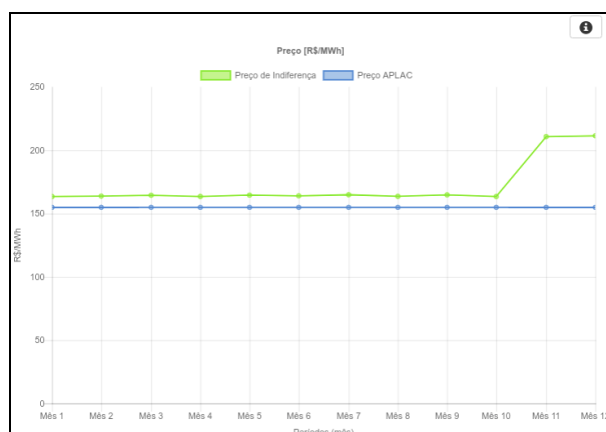


Figura 10. Comparativo do preço médio contratado com o PI, para uma simulação efetuada.

Os gráficos ilustram a participação dos contratos selecionados pelo APLAC, com os valores sazonalizados e flexibilizados, juntamente com o consumo do usuário (somatório mensal do consumo na ponta e fora da ponta). Adicionalmente, o APLAC exibe uma comparação entre o preço da alocação dos contratos (definido mensalmente por meio de uma média ponderada, sendo que os pesos são as demandas alocadas em cada contrato) e o PI calculado (R\$/MWh). Essa comparação pode ser utilizada pelo usuário para analisar se a migração ao ACL é uma decisão financeiramente positiva.

Ressalta-se que existe a possibilidade do usuário considerar ou não a compra no mercado de curto prazo para o atendimento da sua demanda (bastando incluir uma estimativa para os PLDs na simulação).

4. Considerações Finais

A ferramenta *web* APLAC possibilita diversas aplicações ao usuário e pode auxiliar a tomada de decisão dos consumidores potencialmente livres ou na estratégia de alocação de energia para um agente intermediário (entre a geração e consumo). A ferramenta está disponível de maneira gratuita e expõe os resultados da melhor contratação por meio de gráficos e textos explicativos. Caso o usuário deseje, a ferramenta *web* APLAC possibilita ao mesmo baixar um relatório no formato de pdf contendo o resultado da sua simulação (gráficos e textos explicativos).

Referências

ANEEL. www.aneel.gov.br, julho/2017.

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. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163.htm, junho/2018.

CCEE. Procedimentos de Comercialização. <http://www.ccee.org.br/>, junho/2018.

Dao, V. (2016), 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.

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/120244/1301725-Thesis.pdf?sequence=1>, agosto/2018.

De Lima, M. N. S. M.; Takigawa, F. Y. K.; Silva, A. S. (2018), Desenvolvimento de uma Ferramenta Web para o Cálculo do Preço de Indiferença (PI) entre os Ambientes de Contratação de Energia Elétrica. IX Computer on the Beach.

GESE. Ferramenta web APLAC. <https://gese.florianopolis.ifsc.edu.br/consumidorlivre/aplac>, julho/2018.

Reenskaug, T. MVC XEROX PARC. (1979), Dynabook System Requirements. <http://folk.uio.no/trygver/1979/sysreq/SysReq.pdf>, julho/2018.

Silva, A. S.; Takigawa, F. Y. K.; De Lima, M. N. S. M. (2018), Proposta de desenvolvimento de uma ferramenta *on-line* para o gerenciamento de contratos de compra de energia elétrica. IX Computer on the Beach.

Takigawa, F. Y. K.; Scuzziato, M. R.; Tenfen, D.; Duarte, A. E. C. (2017), A Mathematical Modeling for the Energy Purchase Contracts Problem by Free Consumers. IEEE America Latina, (em processo de revisão).