

## Introdução

A energia eólica desponta como uma das principais fontes alternativas de energia no mundo, destacando-se pelo reduzido impacto ambiental, por seu avanço tecnológico e por políticas governamentais de incentivo<sup>1</sup> à geração de energia limpa. Além disso, as energias de fonte renovável – com destaque para eólica e biomassa – cada vez mais são consideradas como soluções alternativas para reduzir a dependência de fontes convencionais e complementar o suprimento de energia, que no Brasil é composto principalmente por usinas hidrelétricas e usinas térmicas a gás.

A geração eólica no Brasil encontra-se em estágio inicial. São pouco mais de 900 MW instalados, que representam menos de 1% da capacidade de geração do país. Entretanto, o Brasil ocupa uma posição privilegiada na lista dos países com maior potencial de produção de energia eólica com perspectivas de geração bastante promissoras, devido à sua extensa costa e excelente fonte deste recurso natural. Ao considerar os projetos já contratados a capacidade eólica sobe para 4 mil MW, representando 3,5% da capacidade de geração do país. Além dos contratos de energia eólica já efetuados pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética) de 3,8 mil MW no período de 2005 a 2010, [44].

Ademais, o aumento da produção de energia eólica somado à construção de aerogeradores e desenvolvimento de tecnologia para exportação, pode transformar o Brasil em pólo de construção de equipamentos na América Latina.

No Brasil, a energia eólica vem estabelecendo contratos com consumidores no Ambiente de Contratação Livre (ACL), porém, em função do comportamento aleatório e instável do vento, as incertezas acerca da disponibilidade do recurso geram insegurança aos investidores. Contudo, vento e vazão apresentam uma forte

---

<sup>1</sup>Para maiores detalhes sobre programas de incentivo em países com significativo potencial eólico ver [30].

complementaridade sazonal, podendo ser combinados de maneira a diminuir o risco da operação e viabilizar a venda de contratos no ACL, e dessa forma, aumentar a contribuição de energia eólica na matriz energética brasileira.

*"A complementaridade das hidrelétricas com eólicas é absoluta, como exemplo disso, os reservatórios das hidrelétricas de São Paulo atingem seu pico nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, enquanto os picos de vento nas eólicas acontecem em julho e agosto."*, ressalta Arthur Lavieri, presidente da indiana Suzlon Energia Eólica do Brasil.

## 1.1

### Motivação

Este trabalho compõe a primeira etapa do projeto que está sendo desenvolvido com o apoio da Norte Fluminense. O objetivo do projeto como um todo é desenvolver uma metodologia de comercialização ótima de energia proveniente de fontes renováveis de maneira integrada.

O principal desafio presente no escopo deste projeto será apresentado neste estudo, e consiste na elaboração de uma metodologia de especificação estatística que relaciona vento e vazão. A energia natural afluyente produzida por cada subsistema será incluída como variável exógena, por representar uma variável de controle ao processo de estimação e conectar os resultados do Newave com os resultados deste estudo. A partir do modelo desenvolvido, é possível simular cenários coerentes de produção, isto é, cenários que apontam a disponibilidade dos recursos naturais (vento e vazão) e auxiliem no planejamento da operação do setor elétrico.

As próximas etapas do projeto incluem:

- (i) Correlacionar os cenários gerados aos cenários de preço de liquidação de diferenças (PLD) advindos do Newave;
- (ii) Determinar uma especificação matemática para o cálculo da renda de quatro modalidades de contratos bilaterais de compra e venda de energia: contratos de quantidade, contratos de quantidade com

cláusulas *Take or Pay*, contratos de quantidade baseados no PLD com definição de piso e teto e contratos de disponibilidade.

Os cenários gerados, juntamente com o PLD, alimentarão um modelo de otimização computacional que determinará a melhor estratégia de comercialização dos contratos especificados (cadastrados pelo usuário), maximizando uma função de valor da renda líquida do comercializador. O perfil de risco será incorporado de diferentes maneiras: através de restrições de risco máximo aceitável e/ou através de uma penalidade na função objetivo.

Além disso, as séries sintéticas de vento e vazão correlacionadas ao PLD possibilitam outras estratégias que não estejam contempladas no escopo do projeto. Por fim, outras aplicações podem ser pensadas com o objetivo de gerar impactos muito além do resultado associado à venda de energia. Podemos citar o caso de um futuro amadurecimento do mercado de créditos de carbono em que estes representariam uma renda extra para a empresa. Nesse caso, o modelo estatístico torna-se peça-chave de avaliação, pois é capaz de gerar cenários de redução de emissões combinados aos cenários de despacho das usinas do sistema.

## 1.2

### **Estrutura da Dissertação**

O restante deste documento está organizado da seguinte forma: o Capítulo-2 apresenta uma abordagem geral sobre a energia eólica, os conceitos envolvidos e suas características no Brasil e no mundo. Devido ao desenvolvimento recente da energia eólica, este capítulo contém alguns detalhes importantes a respeito dos aerogeradores e da produção. Este capítulo ainda contém uma revisão da literatura de modelos preditivos para energia eólica e vento. O Capítulo-3 apresenta uma abordagem geral sobre energia hidrelétrica, amplamente utilizada no Brasil, e como o planejamento do setor elétrico brasileiro está definido. A literatura de modelos preditivos para energia hidrelétrica e vazão também é revisada, com foco no modelo Newave utilizado pelo ONS (Operador Nacional de Sistema). Em seguida, é introduzido o conceito de complementaridade entre as fontes de energia. O Capítulo-4 realiza uma revisão de toda metodologia que será

empregada no processo de modelagem, incluindo o método de mínimos quadrados ponderados, os testes estatísticos para diagnóstico, o teste de detecção de *outliers* e a estimação robusta de correção. O Capítulo-5 apresenta os resultados obtidos nos modelos antes e depois da correção de *outliers*, juntamente com a validação do modelo final em dados *out-of-sample*. O Capítulo-6 especifica os critérios adotados para simulação e fornece os cenários integrados das variáveis de interesse. O Capítulo-7 descreve como a metodologia desenvolvida pode ser aplicada na avaliação de carteiras de contratos de energia. O Capítulo-8 contém as conclusões referentes aos resultados encontrados, bem como sugestões para trabalhos futuros.