



I WORKSHOP BRASILEIRO SOBRE MODELAGEM DA ATMOSFERA APLICAÇÕES NA ÁREA DE ENERGIA EÓLICA

CTGAS-ER | NATAL-RN
14 e 15 junho de 2018

Sistema SITEWIND

Alexandre de Lemos Pereira

UL RENEWABLES

Brasil



A CONTRUÇÃO DA UL RENOVÁVEIS



2012



2016



Uma nova referência mundial em Energias Renováveis



UL and the UL logo are trademarks of UL LLC © 2017. Proprietary & Confidential.



UL atua em
mais de

143+

países

55+

Anos de experiência
combinada em energias
renováveis



Engenharia
Independente para

450+

projetos eólicos e solares *

*desde 2012

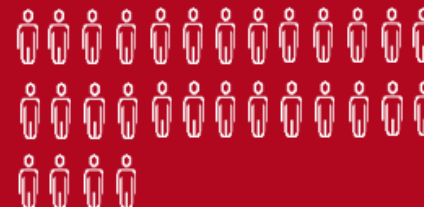
CONSULTOR para

90%

DOS PRINCIPAIS
DESENVOLVEDORES DE
PROJETOS
E PROPRIETÁRIOS DE
PROJETOS EM OPERAÇÃO



500+ ESPECIALISTAS em
Energia Eólica e
Solar



200,000+ MW

Capacidade total dos projetos analisados



Previsão de curto prazo para

60+ GW

de projetos de energia renovável

Incertezas da Modelagem do Vento

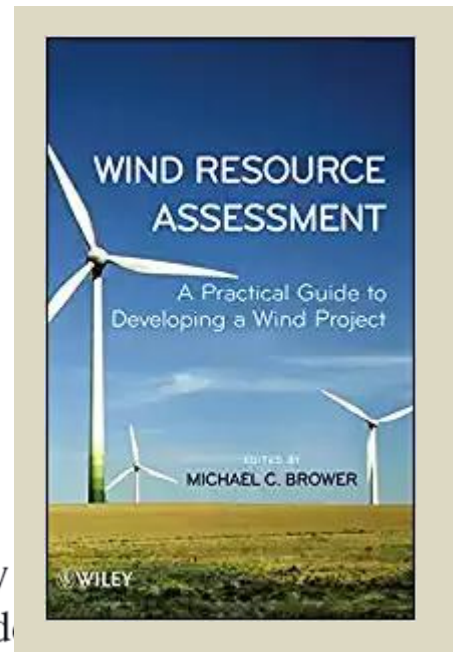
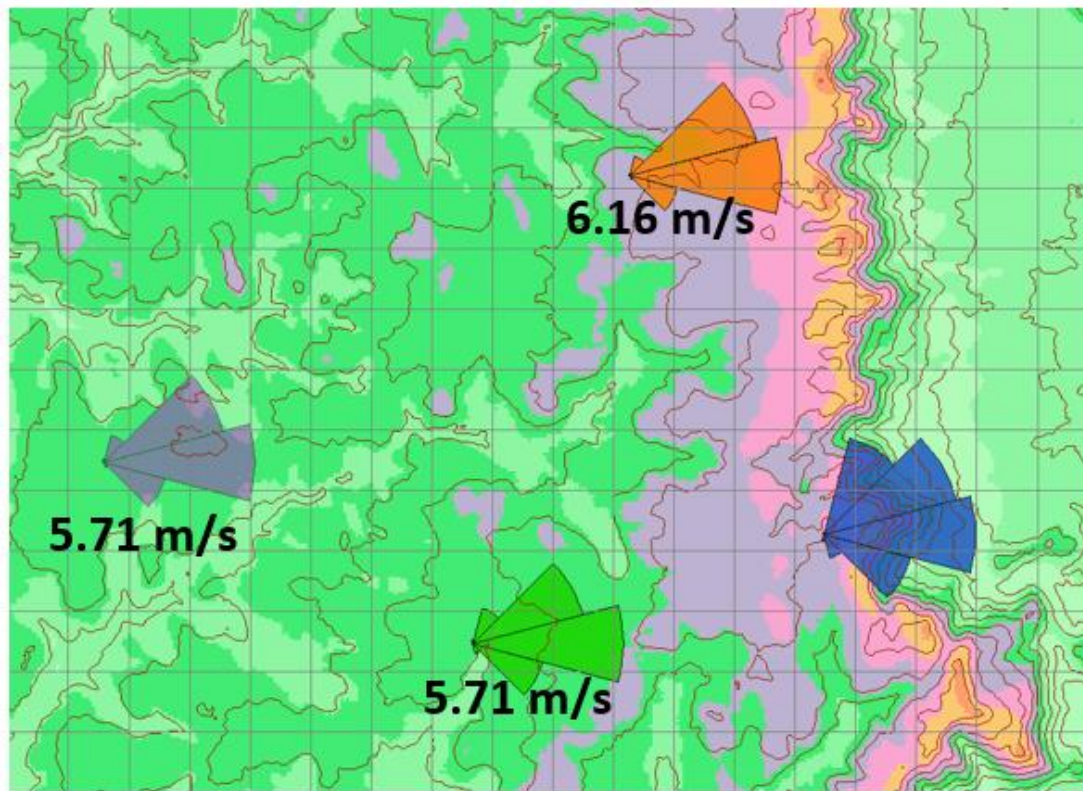


Table 15-1. Summary of general uncertainty ranges by category equipped, maintained, and analyzed according to the guidelines of the book. For an explanation of each uncertainty range, see the corresponding text.

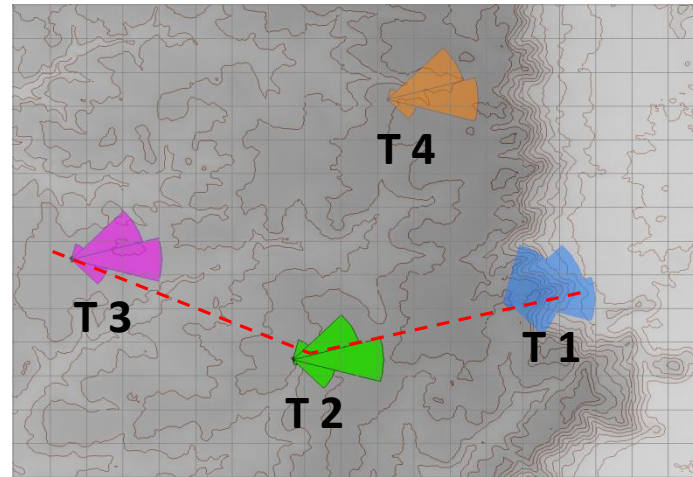
Category	Uncertainty, %
Measurement accuracy (single anemometer)	1.0–2.5
Historical wind resource	1.6–4.0
Future wind resource (plant life of 10 or 25 yr)	1.4–2.2
Wind shear	0.0–6.3
Wind flow modeling	2.0–10.0
Total uncertainty	3–13

It is assumed that the various components are uncorrelated with one another, and thus the total uncertainty is the square root of the sum of the squares of the individual uncertainties.

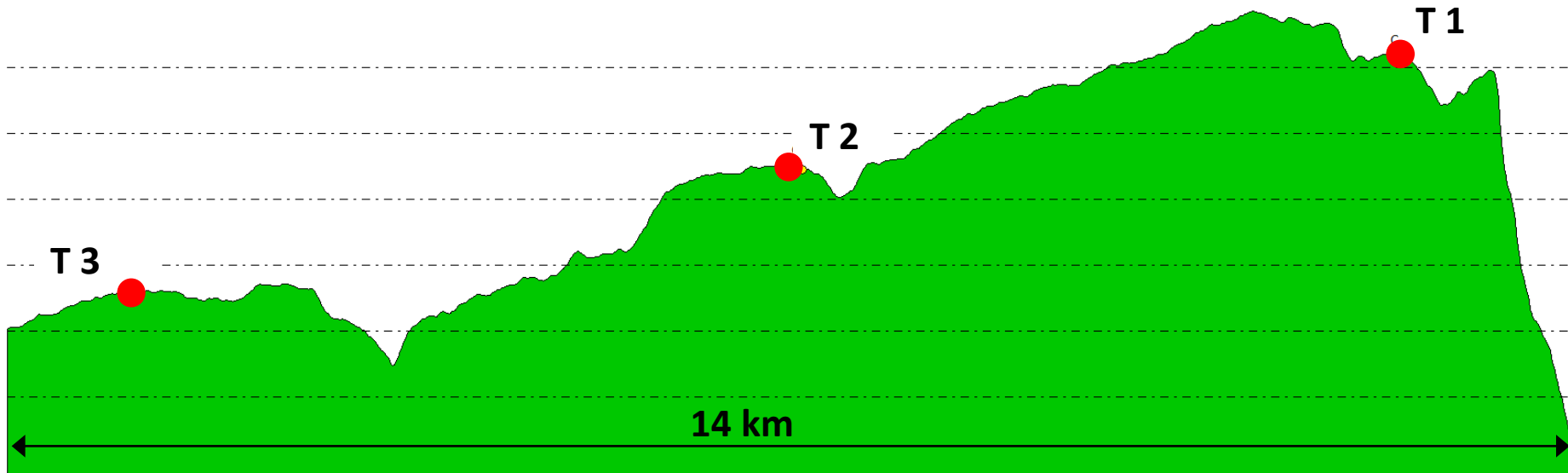
Modelagem do Vento



Topografia



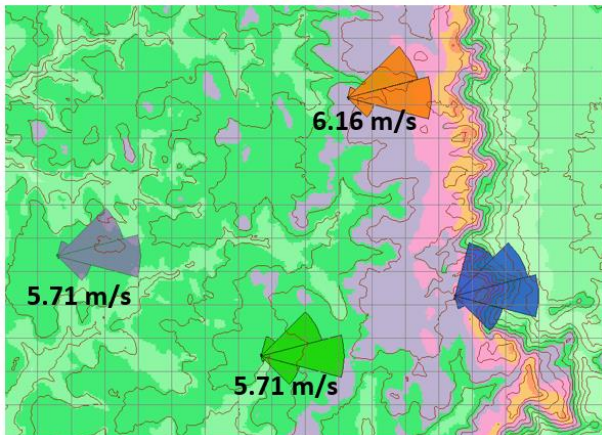
Direção do Vento
Predominante



Modelagem do Vento

Resultados de simulações com diferentes modelos

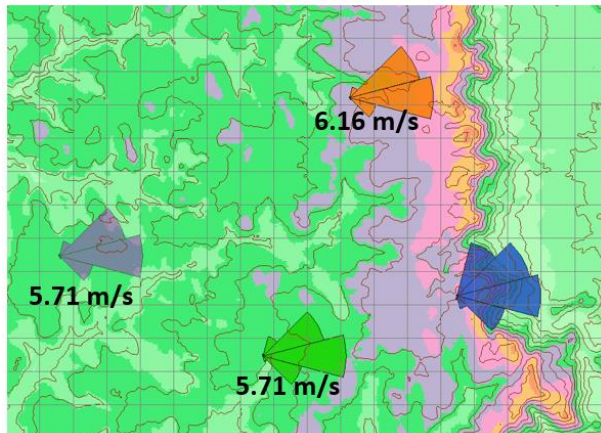
WAsP



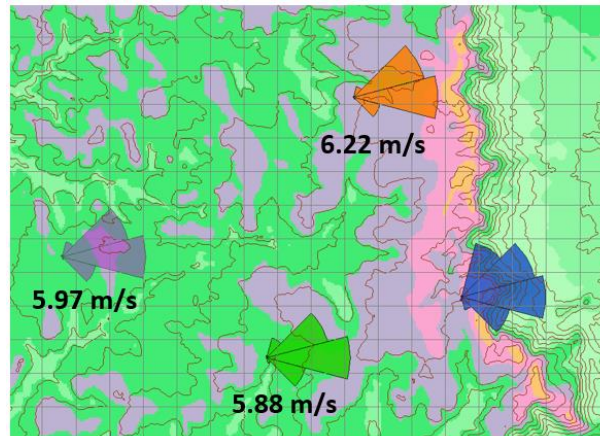
Modelagem do Vento

Resultados de simulações com diferentes modelos

WAsP



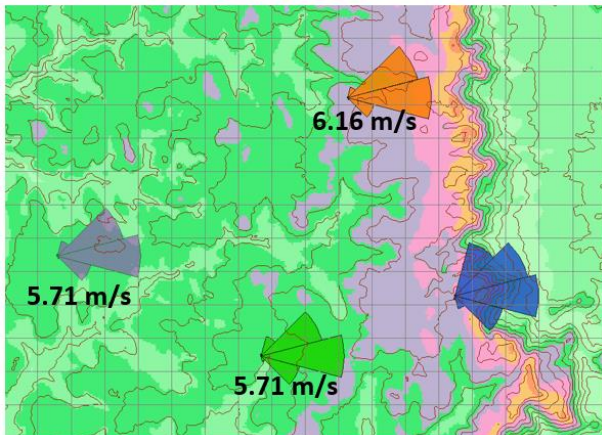
WindMAP



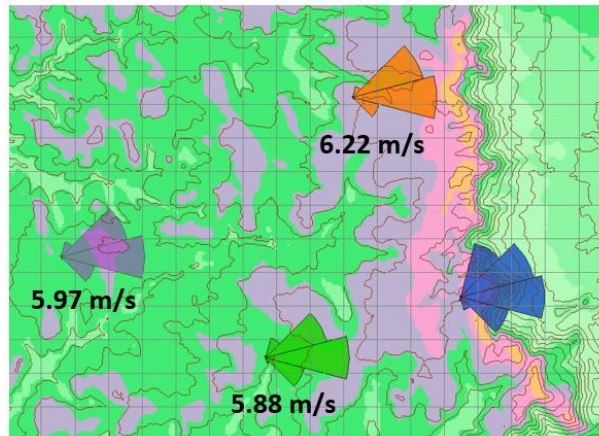
Modelagem do Vento

Resultados de simulações com diferentes modelos

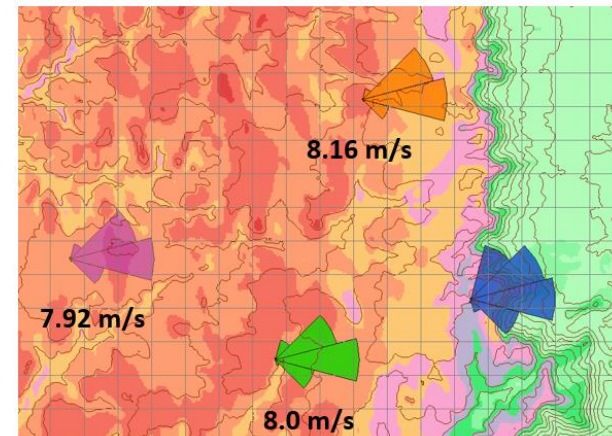
WAsP



WindMAP



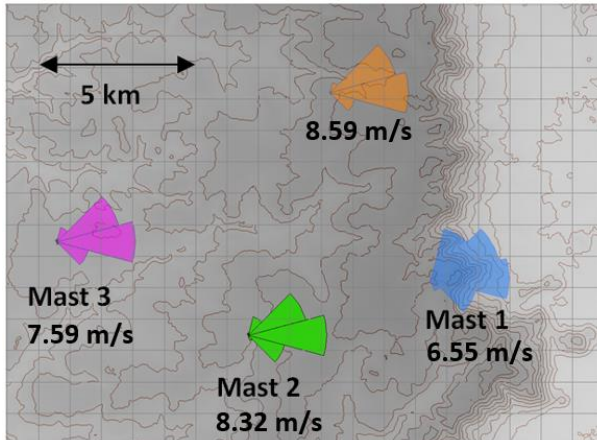
SITEWIND



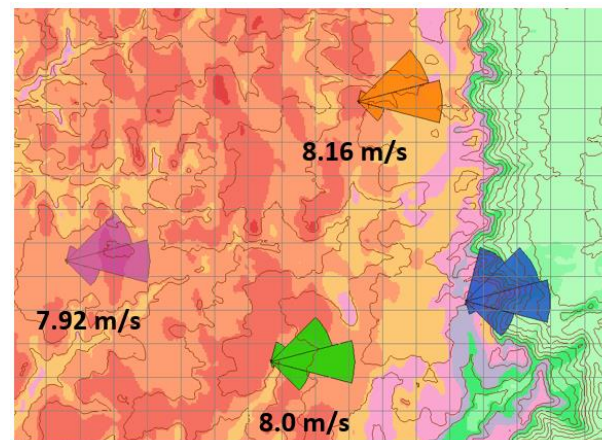
Modelagem do Vento

Comparação de Resultados de Simulações com
Dados de Vento Medidos por Torres Anemométricas

Medições



SITIEWIND



Modelagem do Vento

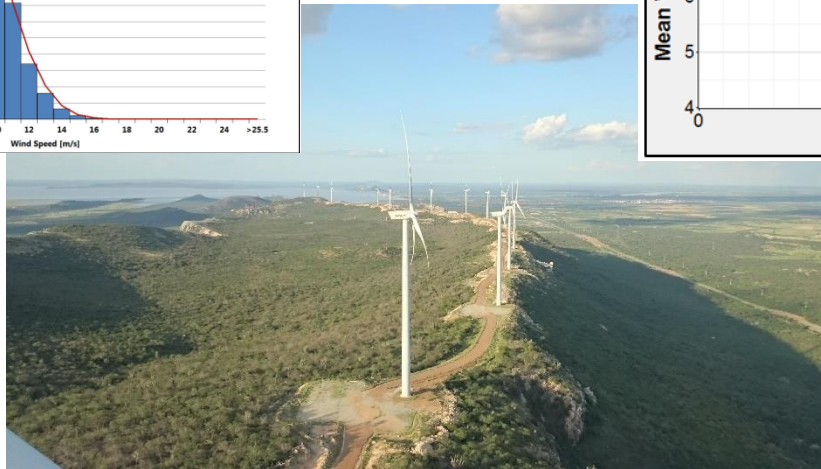
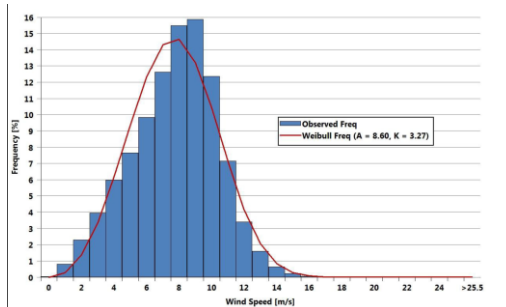
Comparação de Resultados de Simulações com
Dados de Vento Medidos por Torres Anemométricas

	BIAS	RMSE	Max AE
WAsP	0.05 m/s	1.32 m/s (17.0%)	2.32 m/s (35.5%)
WindMap	0.05 m/s	1.71 m/s (22.0%)	2.85 m/s (43.5%)
SITEWIND	-0.03 m/s	0.44 m/s (5.7%)	0.74 m/s (9.7%)

Projetos Eólicos no NE do Brasil

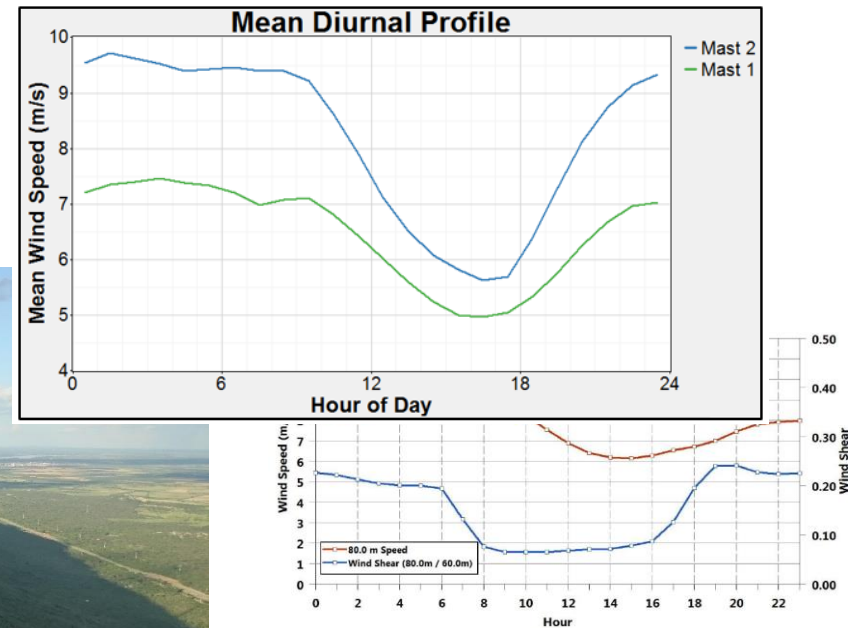
Características

Potencial eólico excelente



Terreno complexo

Clima complexo



Sistema SITEWIND

SITEWIND utiliza uma combinação de 2 modelos atmosféricos, mesoescala e microescala, para simular os parâmetros eólicos.

O modelo de mesoescala utilizado é o WRF, um modelo numérico de previsão do tempo, capaz de simular fenômenos meteorológicos complexos.

Os dados que alimentam o WRF são provenientes da base de dados de reanálises ERA-Interim.

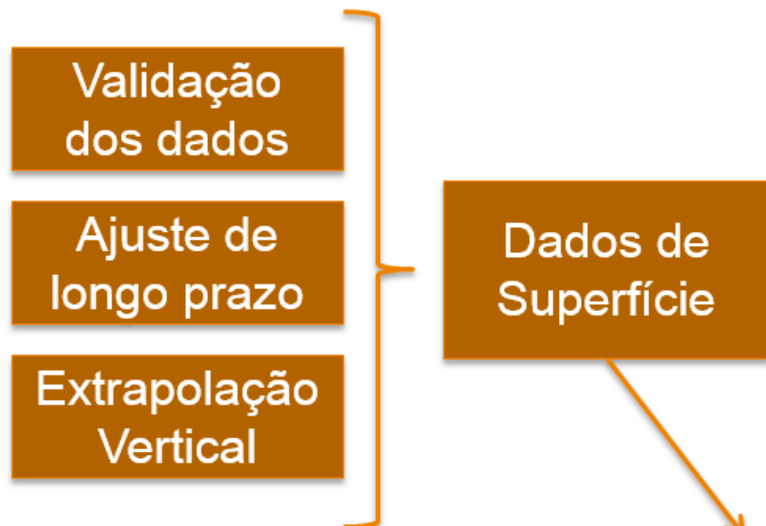
Uma técnica de “dynamic downscaling” é aplicada para obter-se resultados com resoluções horizontais de até 1km.

Os resultados da simulação são processados e utilizados como entrada para um modelo de microescala, baseado na teoria da conservação de massa, que leva em consideração todos os detalhes da topografia e rugosidade superficial. O resultado agora é um mapa de potencial eólico com resolução horizontal de 50m.

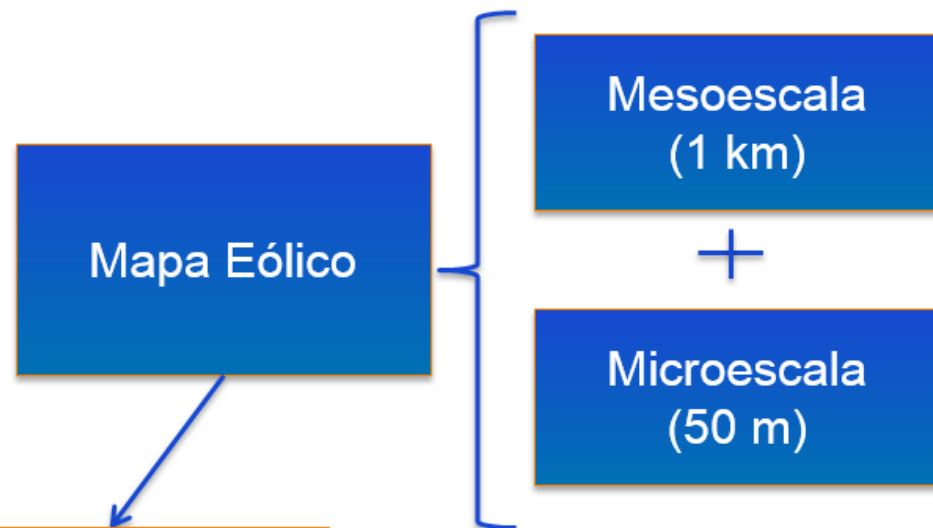
A etapa final, realizada no software Openwind, é o ajuste dos valores de velocidade e direção do vento utilizando os dados de vento medidos por torres anemométricas na área em estudo. As distribuições de velocidade e direção do vento nas posições das torres anemométricas são corrigidas para representar melhor os histogramas medidos no local.

Sistema SITEWIND

Wind Data Analysis



Wind Flow Modelling

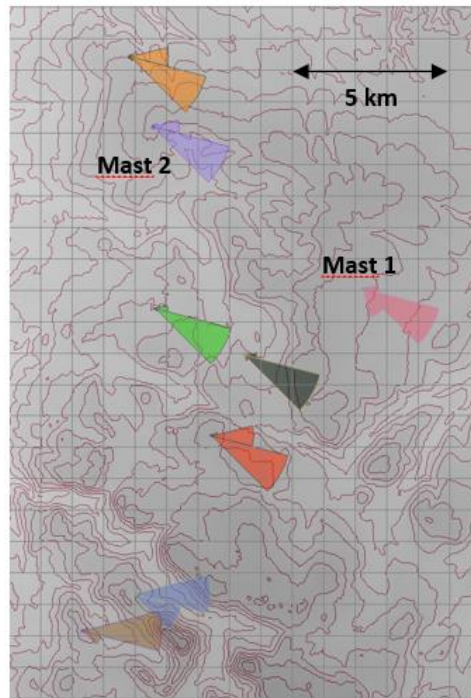


Mapa Eólico Ajustado
Potencial eólico (arquivo .WRG)
com 50 m de resolução

Validações do SITEWIND

Comparação de Resultados de Simulações com
Dados de Vento Medidos por Torres Anemométricas

Medições



Validações do SITEWIND

Comparação de Resultados de Simulações com
Dados de Vento Medidos por Torres Anemométricas

	BIAS	RMSE	Max AE
WAsP	0.01 m/s	1.06 m/s (11.2%)	2.60 m/s (34.3%)
WindMap	-0.04 m/s	1.08 m/s (11.5%)	2.57 m/s (32.4%)
SITEWIND	-0.21 m/s	0.70 m/s (7.4%)	1.64 m/s (18.1%)

Produção Real x Simulações

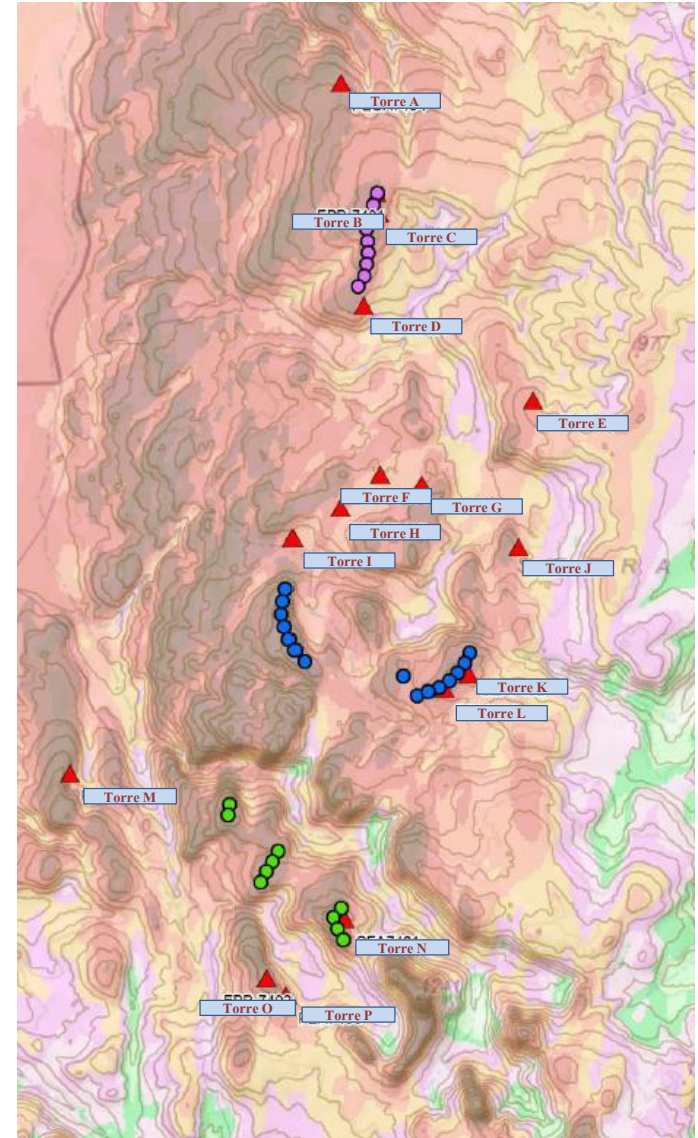
Comparação de Resultados de
Simulações SITEWIND/Openwind com
Estimativas de Longo Prazo baseadas em
Dados de Produção de Parques Eólicos

Projeto 1:
30MW, 15 turbinas

Projeto 2:
20MW, 10 turbinas

Projeto 3:
18MW, 9 turbinas

1 ano de operação



Produção Real x Simulações

Comparação de Resultados de Simulações SITEWIND/Openwind com Estimativas de Longo Prazo baseadas em Dados de Produção de Parques Eólicos

Study	Net Energy Production (GWh/yr)	Net Capacity Factor (%)	Uncertainty	
			(GWh/yr)	(%)
Operational	340.2	57.1	10.7	3.1
Preconstruction	342.5	57.5	17.8	5.2

Incertezas da Modelagem do Vento

Objetivos:

1. Quantificar a variação da incerteza da modelagem do vento em uma área com fundamento físico e estatístico

Incerteza da Modelagem do Vento

Objetivos:

1. Quantificar a variação da incerteza da modelagem do vento em uma área com fundamento físico e estatístico
2. Idealizar campanhas de medição de vento para minimizar a incerteza da modelagem do vento em um projeto de parque eólico

Incertezas da Modelagem do Vento

Objetivos:

1. Quantificar a variação da incerteza da modelagem do vento em uma área com fundamento físico e estatístico
2. Idealizar campanhas de medição de vento para minimizar a incerteza da modelagem do vento em um projeto de parque eólico
3. Otimizar o layout de um parque eólico com relação à produção PXX

Incertezas da Modelagem do Vento

Considerações:

1. As incertezas dependem de como o recurso eólico varia de um ponto a outro mais do que apenas pela distância entre os dois pontos.
2. O parâmetro RD (Resource Distance) é a combinação da distância física com o grau de variação do recurso eólico entre dois pontos.
3. A variação do recurso eólico é definida por meio de dois parâmetros: a relação entre as velocidades de vento dos dois pontos por setor de direção ; e a diferença entre as frequências de ocorrência de direção previstas nos dois pontos.

Incertezas da Modelagem do Vento

Metodologia:

1. Formulas para calcular a variação do recurso eólico

$$SD = \left[\sum_{i=1}^{ND} f_i^{(r)} \left(\frac{v_i^{(t)}}{v_i^{(r)}} - 1 \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

$$DD = \left[\sum_{i=1}^{ND} \left(f_i^{(t)} - f_i^{(r)} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

Incertezas da Modelagem do Vento

Metodologia:

1. Banco de dados de referência = validação experimental
2. 74 torres anemométricas com mais de 1 ano de dados totalizando 990 pares de cálculos de erros e variações de recurso eólico

Incertezas da Modelagem do Vento

$$\sigma = E \left[1 - B \frac{A}{DD + A} - D \frac{C}{SD + C} \right] \quad (4)$$

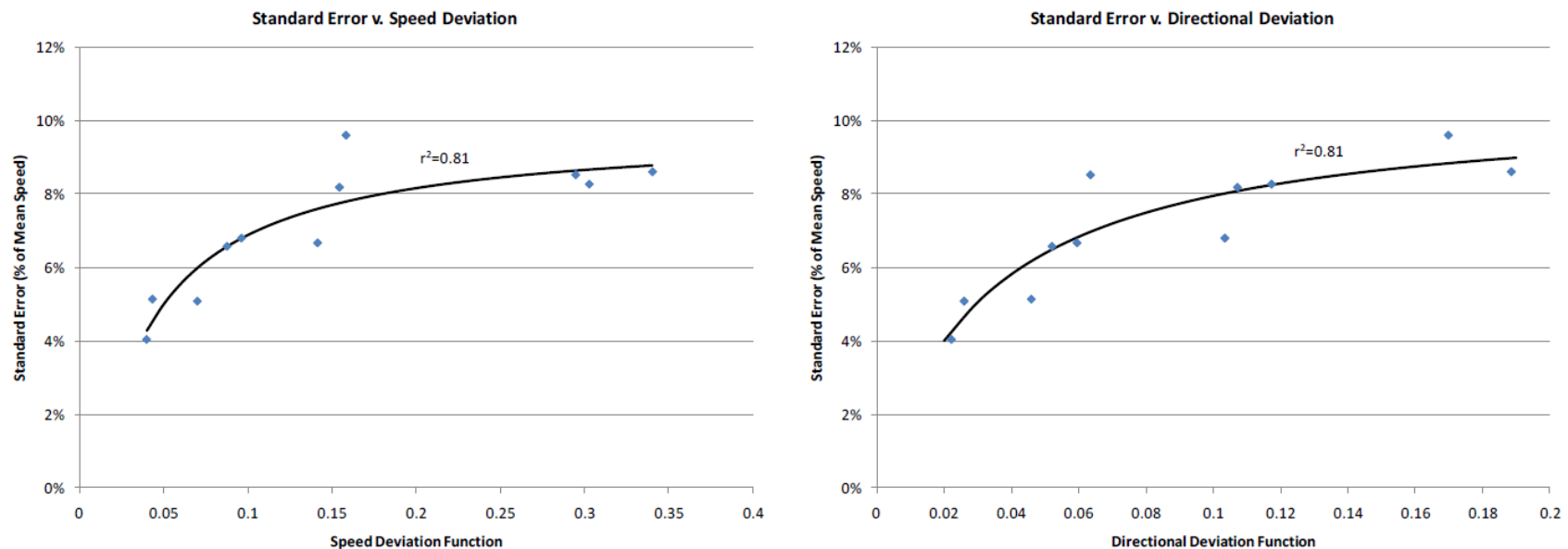
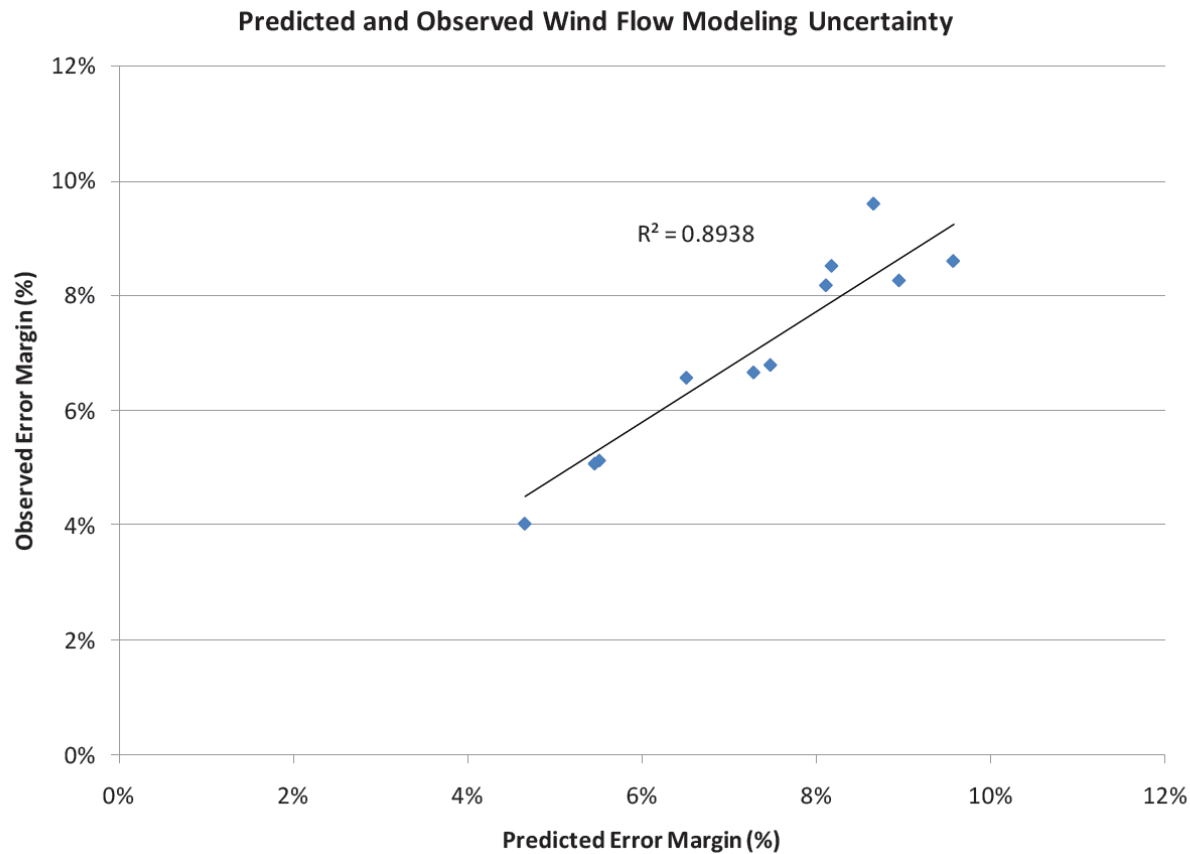


Figure 3. Plots of the modeling uncertainty, expressed as a percent of mean speed, as a function of SD (*left*) and DD (*right*). The fitted lines are linear in the reciprocal of SD and DD, as described in the text.

Incertezas da Modelagem do Vento



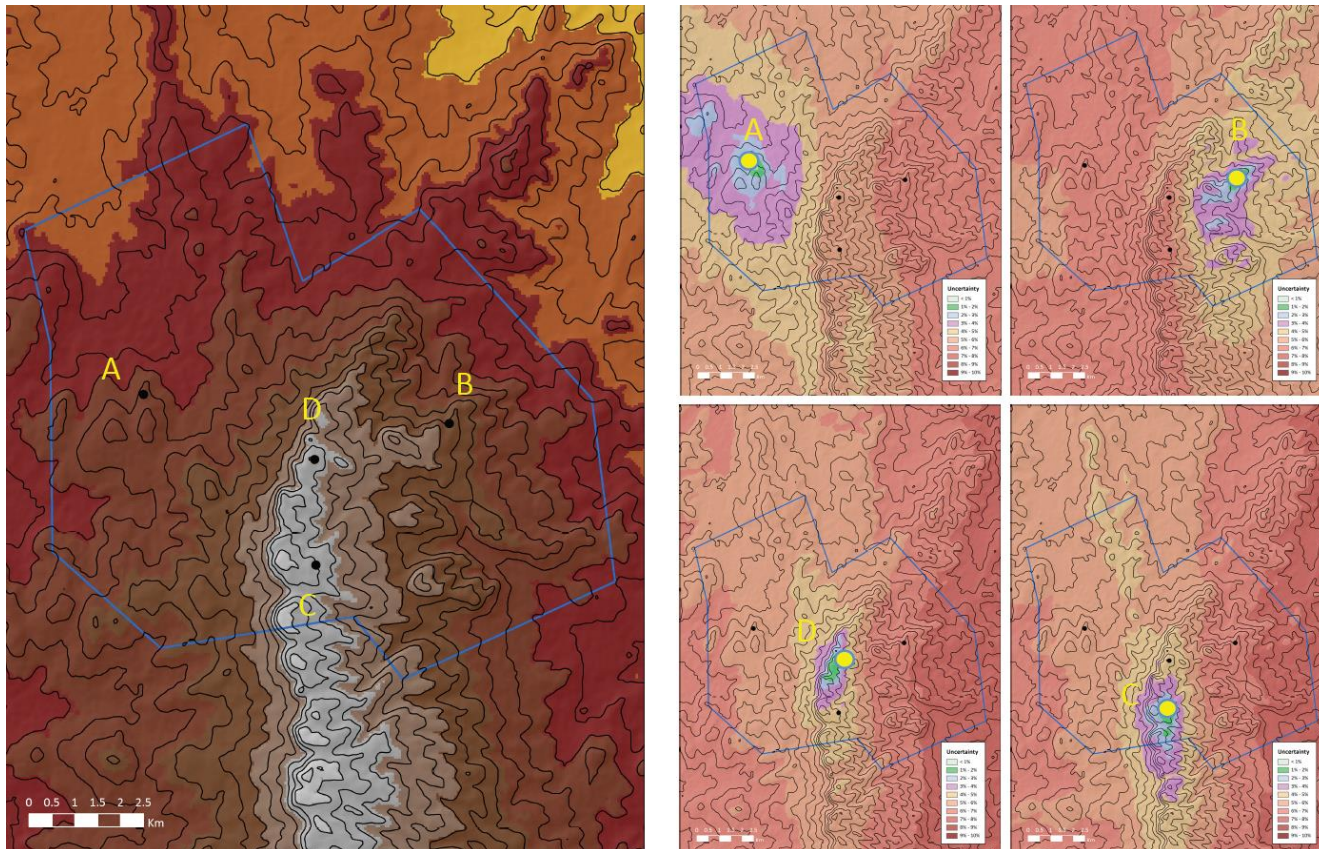
Incertezas da Modelagem do Vento

Implementação:

1. Criação de mapas de incerteza da modelagem do vento
 - Mapas baseados em uma única torre
 - Mapas baseados em múltiplas torres

Implementação

- Mapas baseados em uma única torre



Implementação

- Mapas baseados em múltiplas torres

$$\frac{\partial(\sigma^2)}{\partial w_k} = \sum_i \sum_j \frac{\partial(w_i w_j)}{\partial w_k} r_{ij} \sigma_i \sigma_j = 0 \quad (16)$$

Resource distance (*RD*) is measured by the combined directional and speed deviations *DD* and *SD* between the masts and between each mast and point. In a manner analogous to the *x* and *y* components of distance on a plane, *SD* and *DD* are treated as orthogonal, and the total *RD* is given by:

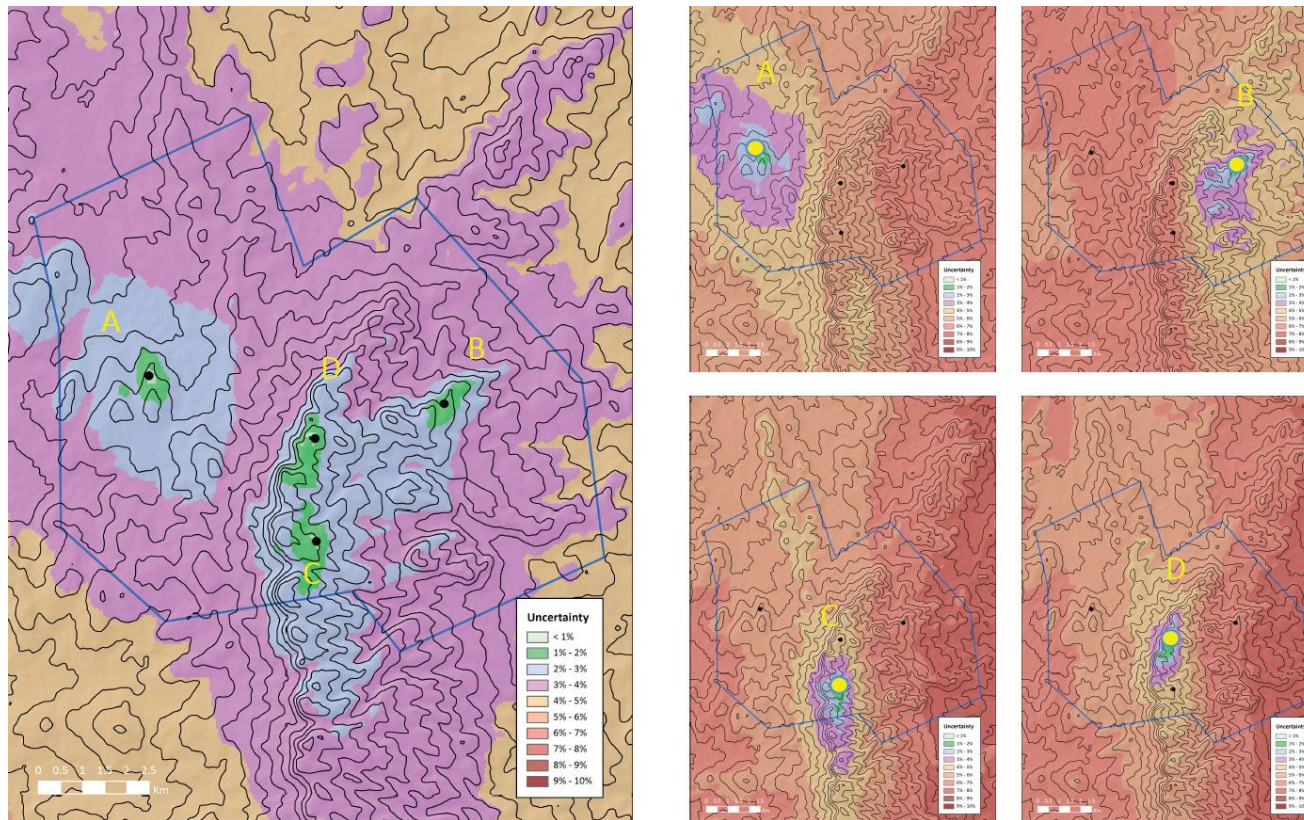
$$RD_{ij} = (SD_{ij}^2 + DD_{ij}^2)^{1/2} \quad (20)$$

The correlation coefficient is then given by the ratio

$$r_{ij}^{(p)} = \frac{\min(RD_{ip}^2, RD_{jp}^2)}{[\min(RD_{ip}^2, RD_{jp}^2) + RD_{ij}^2]} \quad (21)$$

Implementação

- Mapas baseados em múltiplas torres



Incertezas da Modelagem do Vento



WIND FLOW MODELING UNCERTAINTY

Theory and Application to
Monitoring Strategies and Project Design

Michael C Brower, Chief Technical Officer
Nicholas M Robinson, Director of Openwind
Santi Vila, Lead Engineer

<https://www.awstruepower.com/knowledge-center/technical-papers/>



Aplicações

Campanha de medição anemométrica:

1. Quantas torres anemométricas preciso?
2. Qual a melhor localização para instalação?

Aplicações

Campanha de medição anemométrica:

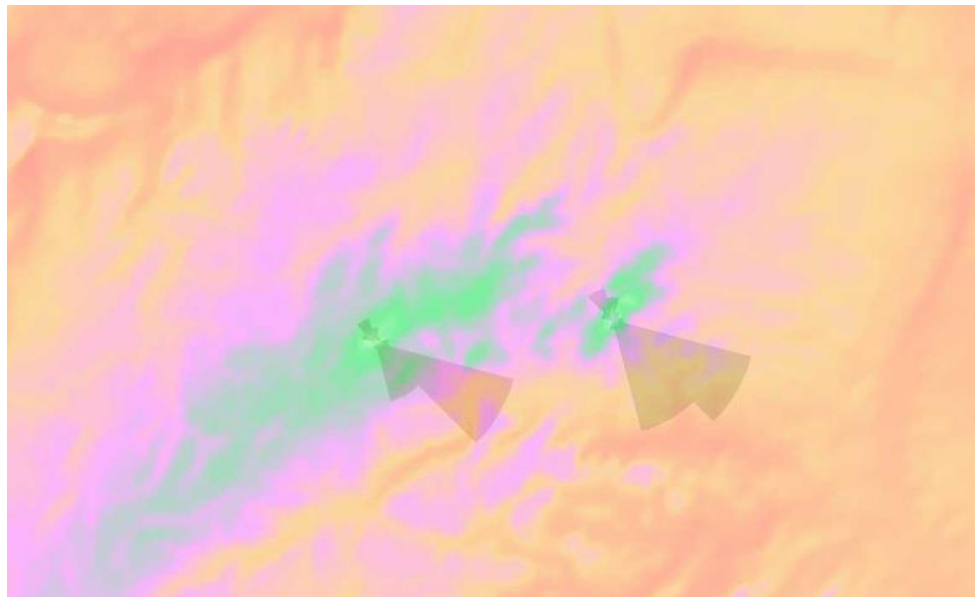
1. Quantas torres anemométricas preciso?

Qual a quantidade de torres adicionais?

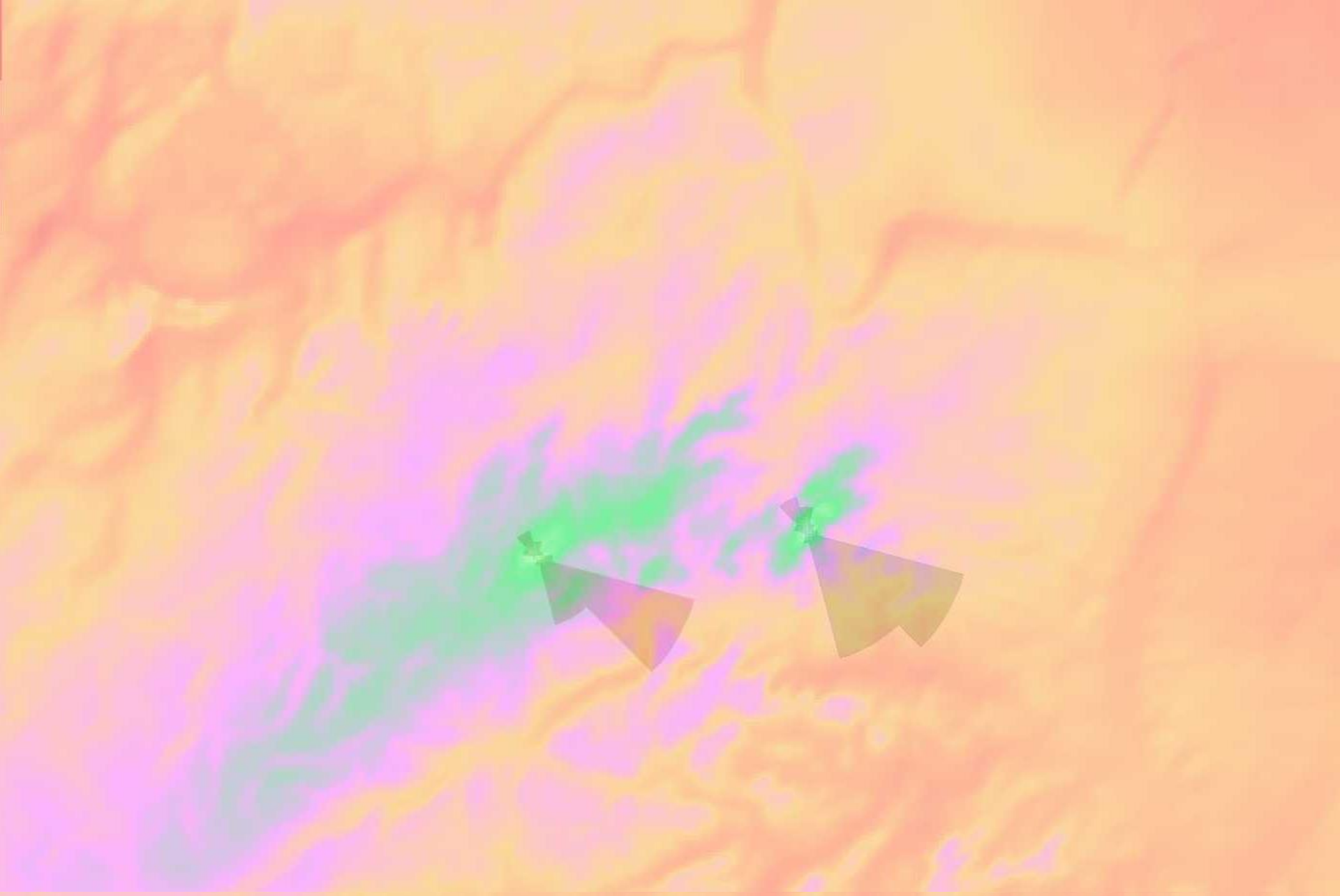
Exemplo:

Projeto em desenvolvimento
com 2 torres anemométricas

Quantas torres adicionais (e em
que posições) devem ser
instaladas para atingir o nível de
incerteza desejado para o
projeto?

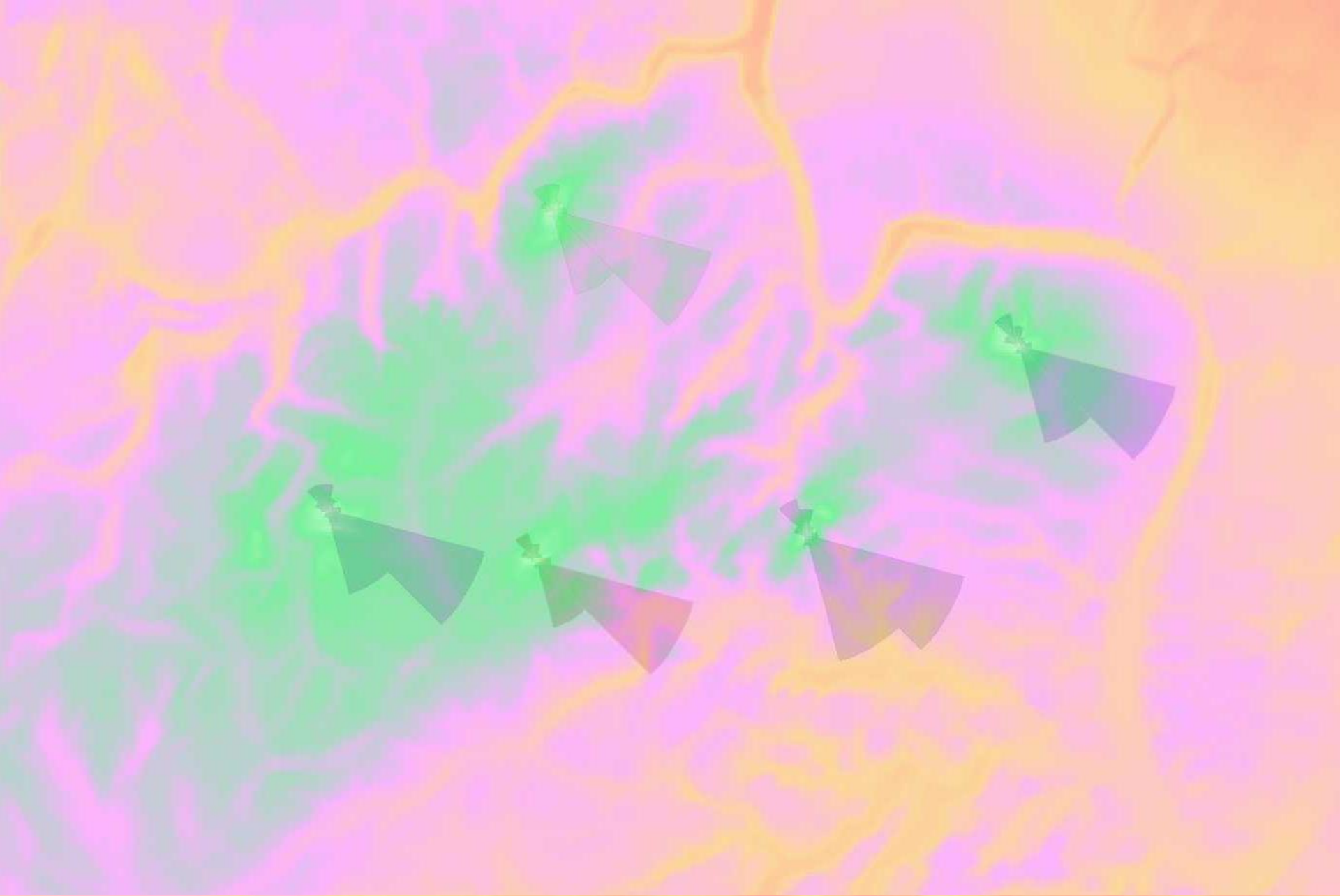








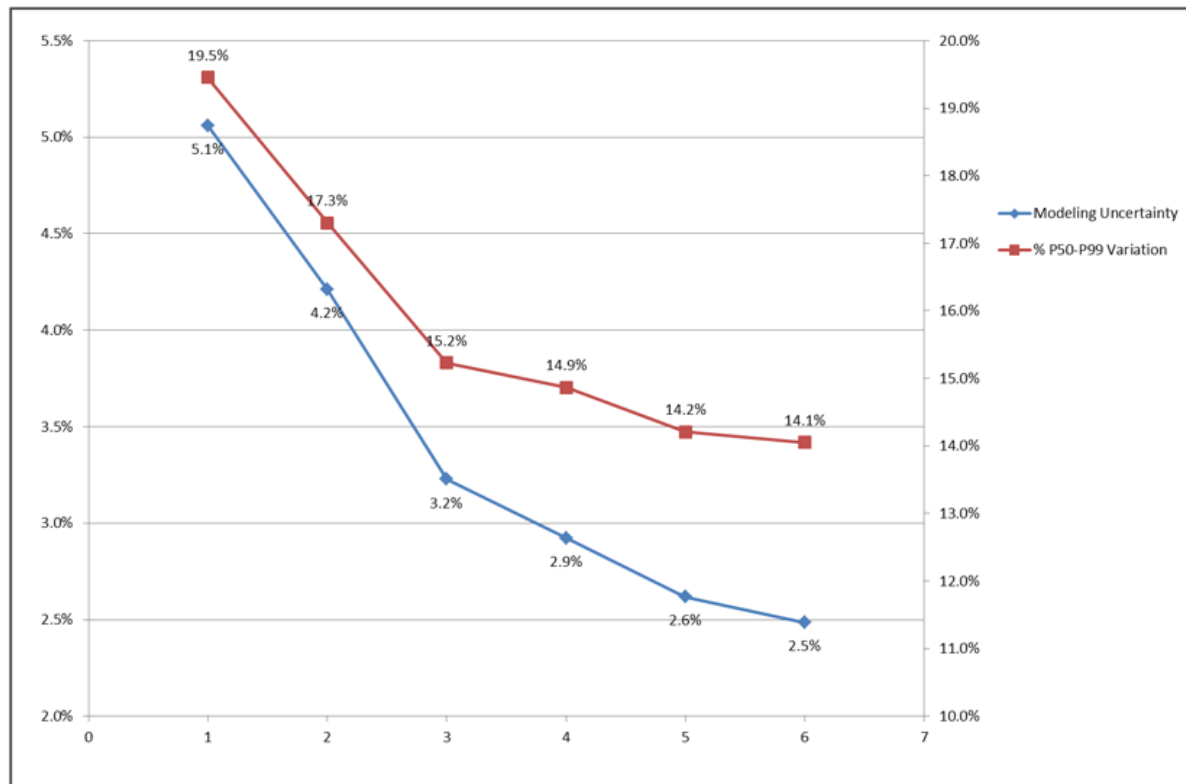






Aplicações

Quantidade de torres adicionais:



Aplicações

Campanha de medição anemométrica:

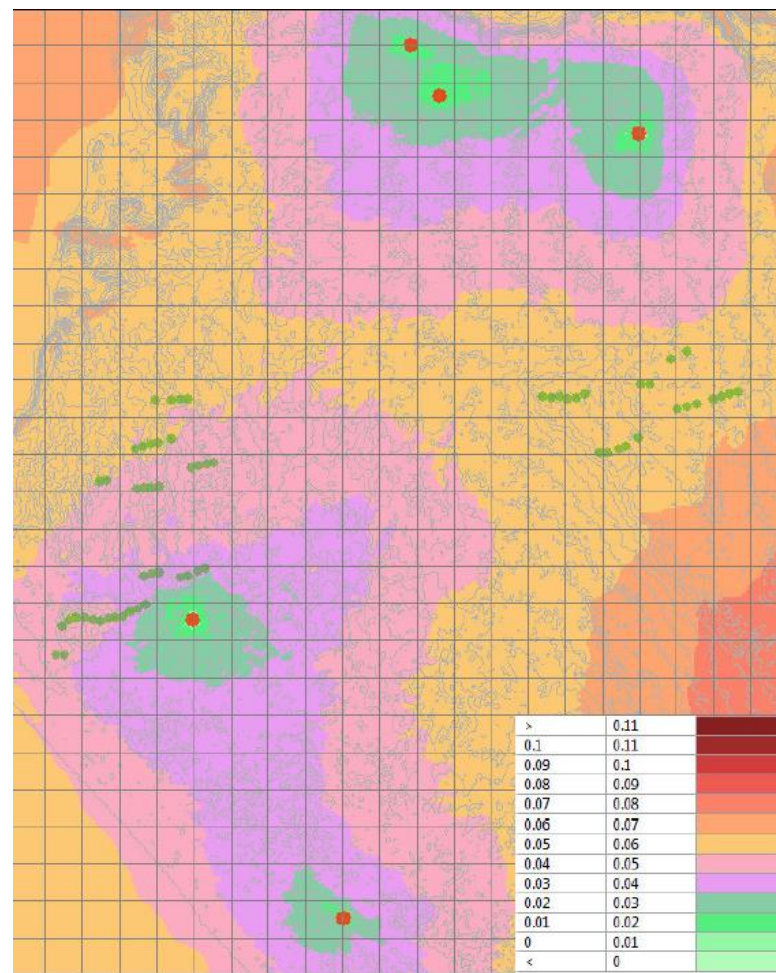
1. Qual a melhor localização para instalação?

Qual a melhor localização para instalação?

Exemplo:

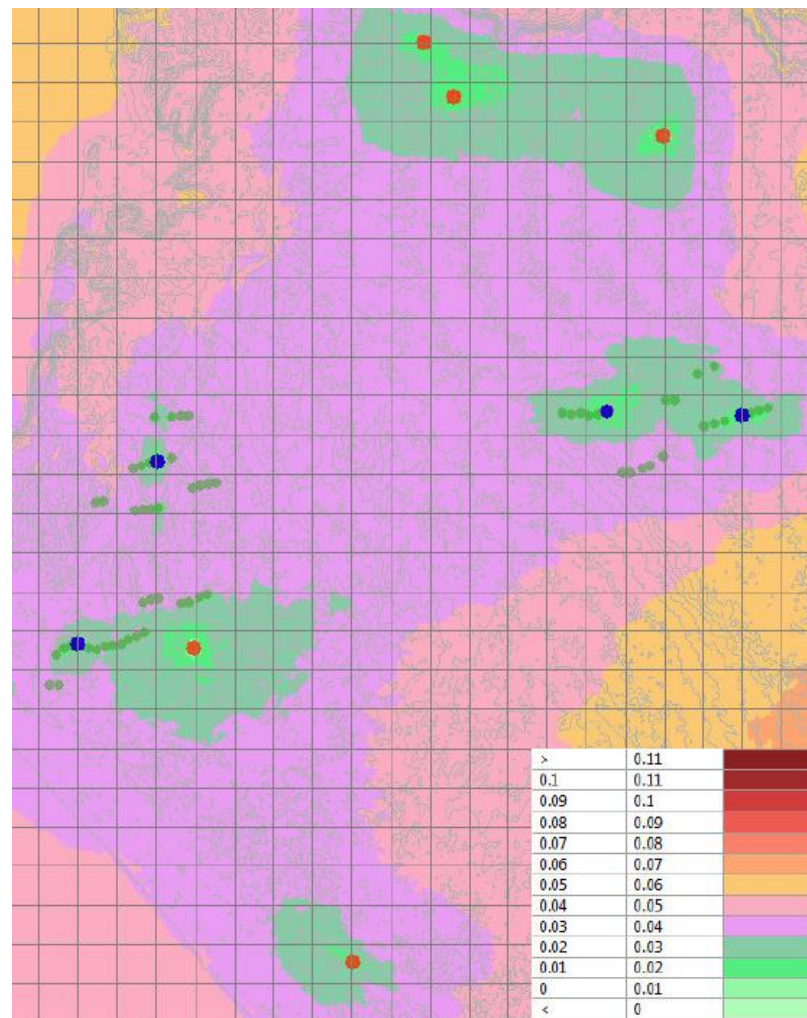
Projeto em desenvolvimento
com 5 torres anemométricas e
layout pre-definido

Aonde devo instalar 4 torres
adicionais de forma a minimizar
as incertezas da modelagem do
vento?



Qual a melhor localização para instalação?

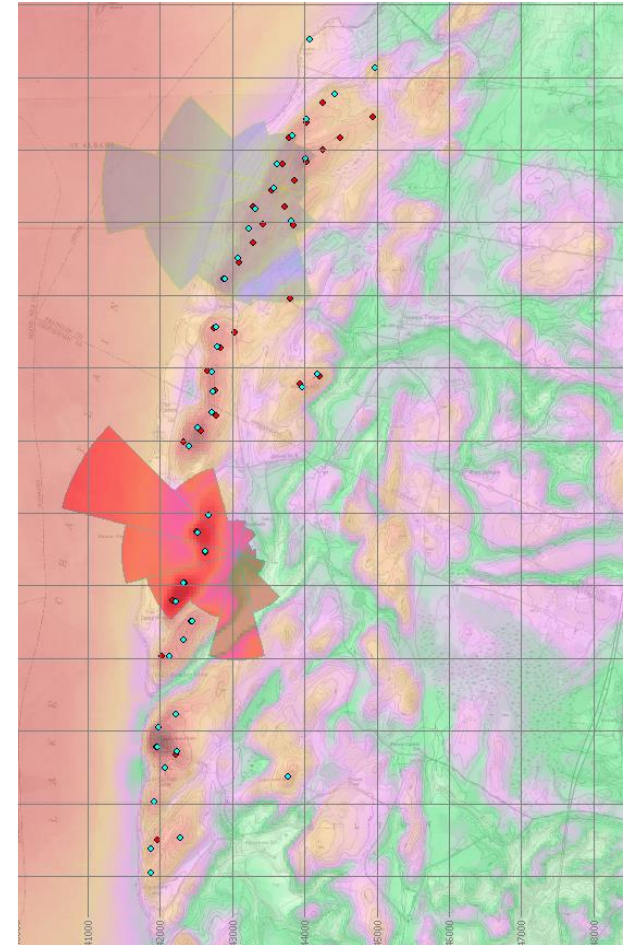
Project		Initial situation (5 Masts)	Final situation (9 Masts)
Farm 1	Mean uncertainty	4.5%	2.9%
	Uncertainty higher than 4%	78%	0%
Farm 2	Mean uncertainty	5.5%	2.4%
	Uncertainty higher than 4%	100%	0%
Total	Mean uncertainty	4.9%	2.7%
	Uncertainty higher than 4%	85.5%	0.0%



Aplicações

Otimização de Layout:

Quantity	P50 Layout	P99 Layout	Difference
P50 Mean Speed (m/s)	7.45	7.40	-0.7%
P99 Mean Speed (m/s)	5.83	5.94	1.9%
P50 Net Energy (GWh)	189.9	186.2	-1.9%
P99 Net Energy (GWh)	130.3	132.2	1.5%



UL RENOVÁVEIS

ALEXANDRE DE LEMOS PEREIRA
BRASIL

alexandre.pereira@ul.com

