



Federação das Indústrias do Estado da Bahia

SENAI CIMATEC

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM

COMPUTACIONAL E TECNOLOGIA INDUSTRIAL

Mestrado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial

RÔMULO LEMOS BULHÕES

**EMPREGO DO PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO PARA PRIORIZAÇÃO
DE REGIÕES PARA INSTALAÇÃO DE USINAS EÓLICAS E SOLARES
FOVOLTAICAS COM ESTUDO DE CASO NO ESTADO DA BAHIA**

Salvador

2017

RÔMULO LEMOS BULHÕES

**EMPREGO DO PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO PARA PRIORIZAÇÃO
DE REGIÕES PARA INSTALAÇÃO DE USINAS EÓLICAS E SOLARES
FOTOVOLTAICAS COM ESTUDO DE CASO NO ESTADO DA BAHIA**

Projeto de Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial, Curso de Mestrado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial.

Área de conhecimento: Interdisciplinar

Orientador: Prof. Dr. Alex Álisson Bandeira Santos

Coorientador: Prof. Dr. Eudemario de Souza Santana

Salvador

2017

Ficha catalográfica elaborada pelo Centro Universitário SENAI CIMATEC

B933e Bulhões, Rômulo Lemos

Emprego do processo analítico hierárquico para priorização de regiões para instalação de usinas eólicas e solares fotovoltaicas com estudo de caso no estado da Bahia / Rômulo Lemos Bulhões. – Salvador, 2017.

167 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Alex Álisson Bandeira Santos.

Coorientador: Prof. Dr. Eudemario Souza de Santana.

Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial) – Programa de Pós-Graduação, Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2017.

Inclui referências.

1. Usina eólica. 2. Usina solar fotovoltaica. 3. Energia renovável. 4. Método multicritério de escolha. 5. Processo analítico hierárquico. I. Centro Universitário SENAI CIMATEC. II. Santos, Alex Álisson Bandeira. III. Santana, Eudemario Souza de. IV. Título.

CDD: 621.312136

SENAI CIMATEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM
COMPUTACIONAL E TECNOLOGIA INDUSTRIAL
Mestrado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial

A Banca Examinadora, constituída pelos professores abaixo listados, leram e recomendam o projeto de dissertação de mestrado, intitulado “Emprego do Processo Analítico Hierárquico para Priorização de Regiões para Instalação de Usinas Eólicas e Solares Fotovoltaicas com Estudo de Caso no Estado da Bahia”, apresentada no dia 30 de Agosto de 2017, como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial**.

Orientador:

Prof. Dr. Alex Álisson Bandeira Santos
SENAI CIMATEC

Coorientador:

Prof. Dr. Eudemario Souza de Santana
SENAI CIMATEC

Membro externo da banca:

Prof. Dr. Daniel Barbosa
UFBA

Membro externo da banca:

Prof. Dr. Irênio de Jesus Silva Junior
IFBA – Campus Santo Amaro

Agradecimentos

Agradeço a Deus por ter me dado oportunidade de começar e concluir esse trabalho.

Aos meus pais, pelo incentivo e pela torcida durante toda essa jornada.

À minha noiva, Andressa, pela compreensão nos momentos em que não pude lhe dar a atenção devida.

Aos meus orientadores, Alex Álisson e Eudemario por acreditarem em meu trabalho e pelos serviços de consultoria que foram prestados.

A Marcelo Cairo e João Pedro Souza, pelo auxílio no cálculo dos índices por meio dos mapas.

A Arthur Uchôa, Danilo Ledo, Frederico Cesário, João Victor, José Alexandre, Marco Maron, Patrick Fontoura, Paulo Neves, Rafael Valverde, Ramon Dias, Sérgio Pitombo, Turan Dias, meus orientadores, e todos aqueles que responderam o questionário que foi proposto, pois sem esses também não seriam alcançados os resultados parciais e finais.

E a todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho.

Resumo

A geração de eletricidade por meio de fontes renováveis surge como uma das possíveis soluções para atender à crescente demanda por energia elétrica no país e no mundo, no médio e longo prazo. Acrescido a isso, é eminente a necessidade de produzir-se energia limpa, com pouca ou nenhuma emissão de poluentes e de gases causadores de efeito estufa. Devido a esses fatores, é notória a tendência de crescimento de usinas eólicas e solares, sendo o Brasil um país com grande riqueza desses recursos. Entretanto, a vasta dimensão territorial e baixa qualidade de infraestrutura são elementos, dentre outros, que dificultam para tomadas de decisões eficazes que acelerem o crescimento desse segmento. Com vistas a auxiliar então órgãos governamentais, agências regulamentadoras e outros grandes *players* dessa área, propõe-se nesse trabalho a utilização de um método multicritério de escolha, denominado Processo Analítico Hierárquico para auxiliá-los na tomada de decisão, a fim de se escolher regiões prioritárias para implantação de usinas eólicas e solares fotovoltaicas. O foco desse trabalho encontra-se no estado da Bahia, sendo que foram selecionadas 27 territórios para avaliação de prioridade de instalação. Para hierarquização desses territórios escolhidos, fez-se uso de ferramentas computacionais, sendo as principais delas o Matlab, para construção do algoritmo computacional, o Excel, para extração das informações que são dados de entrada do programa, e o AutoCAD, para elaboração de indicadores por meio de sobreposição de mapas.

Palavras-Chave: Método multicritério de escolha, Processo Analítico Hierárquico, Usina Eólica, Usina Solar Fotovoltaica, Energia Renovável.

Abstract

The generation of electricity through renewable sources appears as one of the possible solutions to meet the growing demand for electricity in the country and in the world, in the medium and long term. In addition, the need to produce clean energy, with little or no emission of pollutants and greenhouse gases, is eminent. Due to these factors, the growth trend of wind and solar power plants is notorious, Brazil being a country with great wealth of these resources. However, the vast territorial dimension and low quality of infrastructure are elements, among others, that make it difficult for effective decisions in order to accelerate the growth of this segment. In order to assist government agencies, regulatory agencies and other major players in this area, we propose the use of a multicriteria method of choice, called Analytic Hierarchy Process (AHP) to assist them in decision-making, in order to choose regions for implementation of wind and solar photovoltaic plants. The focus of this work is in the state of Bahia, and 27 territories were selected for the evaluation of installation priority. For the hierarchy of these chosen territories, computational tools were used, the main ones being Matlab, for the construction of the computational algorithm, Excel, for extracting the information that is input data of the program, and AutoCAD, for elaboration of indicators through overlapping maps.

Keywords: Multicriteria method of choice, Analytic Hierarchy Process (AHP), Wind Farm, Solar Photovoltaic Plant, Renewable Energy.

Sumário

CAPÍTULO I	16
1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1. MOTIVAÇÃO.....	16
1.2. OBJETIVO.....	18
1.2.1. Objetivo Geral.....	18
1.2.2. Objetivos Específicos.....	18
1.3. METODOLOGIA.....	19
1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	20
CAPÍTULO II	22
2. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	22
2.1. INTRODUÇÃO.....	22
2.2. MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA.....	22
2.2.1. OFERTA DE ENERGIA SEGUNDO BALANÇO ENERGÉTICO DA BAHIA DE 2014.....	24
2.3. ESTADO DA ARTE.....	25
2.4. RESUMO DO CAPÍTULO.....	30
CAPÍTULO III	32
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	32
3.1. INTRODUÇÃO.....	32
3.2. TEORIA DO PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO (AHP).....	32
3.3. RESUMO DO CAPÍTULO.....	43
CAPÍTULO IV	44
4. METODOLOGIA EMPREGADA PARA A CONSTRUÇÃO DO ALGORITMO AHP.....	44
4.1. INTRODUÇÃO.....	44
4.2. CRITÉRIOS, SUBCRITÉRIOS E ALTERNATIVAS.....	44
4.3. O ALGORITMO.....	58
4.4. RESUMO DO CAPÍTULO.....	69
CAPÍTULO V	70
5. DADOS DA BAHIA.....	70
5.1. INTRODUÇÃO.....	70
5.2. TERRITÓRIOS DE IDENTIDADE.....	70
5.3. CRITÉRIO SOCIAL.....	75

5.4. CRITÉRIO ECONÔMICO.....	75
5.5. ÁREA X INCIDÊNCIA SOLAR	77
5.6. ÁREA X VELOCIDADE EÓLICA.....	80
5.7. MAPA DE ROSA DOS VENTOS	84
5.8. ÁREA POR HABITANTE.....	86
5.9. ÁREAS ÚTIL PARA INSTALAÇÃO DE USINAS.....	86
5.10. DENSIDADES DAS RODOVIAS/FERROVIAS NOS TERRITÓRIOS DE IDENTIDADE.....	90
5.11. DENSIDADES DE LINHAS DE TRANSMISSÃO NOS TERRITÓRIOS DE IDENTIDADE.....	92
5.12. RESUMO DO CAPÍTULO	95
CAPÍTULO VI	97
6. RESULTADOS.....	97
6.1. INTRODUÇÃO	97
6.2. MAPA DE PRIORIDADES DE USINAS EÓLICAS DE ELEVADA POTÊNCIA COM GERADORES DE EIXO HORIZONTAL – VENTOS ≥ 7 M/S.....	98
6.3. MAPA DE PRIORIDADES DE USINAS EÓLICAS DE ELEVADA POTÊNCIA COM GERADORES DE EIXO HORIZONTAL – VENTOS ≥ 5 M/S E $\leq 6,5$ M/S.....	104
6.4. MAPA DE PRIORIDADES DE USINAS EÓLICAS DE POTÊNCIA INTERMEDIÁRIA COM GERADORES DE EIXO HORIZONTAL – VENTOS ≥ 7 M/S	106
6.5. MAPA DE PRIORIDADES DE USINAS EÓLICAS DE POTÊNCIA INTERMEDIÁRIA COM GERADORES DE EIXO HORIZONTAL - VENTOS ≥ 5 M/S E $\leq 6,5$ M/S	108
6.6. MAPA DE PRIORIDADES DE USINAS EÓLICAS DE POTÊNCIA INTERMEDIÁRIA COM GERADORES DE EIXO VERTICAL – VENTOS ≥ 7 M/S.....	111
6.7. MAPA DE PRIORIDADES DE USINAS EÓLICAS DE POTÊNCIA INTERMEDIÁRIA COM GERADORES DE EIXO VERTICAL - VENTOS ≥ 5 M/S E $\leq 6,5$ M/S.....	113
6.8. MAPA DE PRIORIDADES DE USINAS FOTOVOLTAICAS	115
6.9. RESUMO DO CAPÍTULO	121
CAPÍTULO VII	123
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS	123
7.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	123
7.2. TRABALHOS FUTUROS	126
REFERÊNCIAS	128
APÊNDICE A	132
APÊNDICE B	138
APÊNDICE C	154
APÊNDICE D	165

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 – Escala de Saaty.....	36
Tabela 3.2 - Matriz de Comparação - Critério Genérico - Alternativas A, B, C e D.....	37
Tabela 3.3 - Obtenção do RCI de acordo com os graus da matriz.....	39
Tabela 4.1 – Matriz de comparação dos critérios à luz do foco principal.....	59
Tabela 4.2 – Matriz de comparação dos subcritérios técnicos à luz do grupo de Critério Técnico – Potencialidade de Geração.....	61
Tabela 4.3 – Matriz de comparação dos subcritérios técnicos à luz do Critério Técnico - Infraestrutura.....	61
Tabela 4.4 – Matriz de comparação dos subcritérios técnicos à luz do Critério Técnico – Territorial.....	62
Tabela 4.5 – Prioridade média local das alternativas à luz de cada subcritério.....	63
Tabela 5.1 – Territórios de Identidade.....	71
Tabela 5.2 – Comparação percentual entre áreas calculadas e obtidas para os territórios de identidade e da Bahia.....	74
Tabela 5.3 – IFDM médio dos territórios de identidade.....	75
Tabela 5.4 – PIB Industrial e PIB total dos Territórios de Identidade.....	76
Tabela 5.5 - Incidência Média Solar Horizontal Anual dos Territórios de Identidade.....	79
Tabela 5.6 - Temperatura média dos territórios de identidade da Bahia.....	81
Tabela 5.7 - Somatório das áreas (km ²) multiplicadas pelas velocidades médias (m/s) das áreas – Valores divididos por 1000.....	83
Tabela 5.8 – Diretividade Média dos Ventos dos Territórios.....	85
Tabela 5.9 – Área por habitante (km ² /habitante) por território de identidade.....	86
Tabela 5.10 – Área disponível relativa dos Territórios de Identidade para Usinas Solares...	88
Tabela 5.11 – Área disponível relativa dos Territórios de Identidade para Usinas Eólicas....	89
Tabela 5.12 – Densidades de rodovias/ferrovias.....	92
Tabela 5.13 – Densidades de linhas de transmissão do território de identidade.....	94
Tabela 6.1 – Pesos obtidos para os critérios de acordo com a opinião dos entrevistados – Casos Eólicos.....	99
Tabela 6.2 – Pesos obtidos para os subcritérios técnicos - Potencialidade de geração – Casos Eólicos.....	100
Tabela 6.3 – Pesos obtidos para os subcritérios técnicos – Infraestrutura – Casos Eólicos.....	100
Tabela 6.4 – Pesos obtidos para os subcritérios técnicos – Territorial – Casos Eólicos.....	101
Tabela 6.5 – Prioridade Média Global de 0 a 100 - Potência Elevada – Eixo Horizontal – Ventos ≥ 7 m/s.....	101
Tabela 6.6 – Prioridade Média Global de 0 a 100 - Potência Elevada – Eixo Horizontal – Ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s.....	104
Tabela 6.7 – Prioridade Média Global de 0 a 100 - Potência Intermediária – Eixo Horizontal – Ventos ≥ 7 m/s.....	106

Tabela 6.8 – Prioridade Média Global de 0 a 100 - Potência Intermediária – Eixo Horizontal – Ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s.	109
Tabela 6.9 – Prioridade Média Global de 0 a 100 – Eixo Vertical – Ventos ≥ 7 m/s	112
Tabela 6.10 – Prioridade Média Global de 0 a 100 – Eixo Vertical – Ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s.	114
Tabela 6.11 – Pesos obtidos para os critérios de acordo com a opinião dos entrevistados – Caso Solar	116
Tabela 6.12 – Pesos obtidos para os subcritérios técnicos - Potencialidade de geração – Caso Solar	117
Tabela 6.13 – Pesos obtidos para os subcritérios técnicos - Infraestrutura – Caso Solar... ..	117
Tabela 6.14 – Pesos obtidos para os subcritérios técnicos - Territorial – Caso Solar.....	117
Tabela 6.15 – Prioridade Média Global Normalizado de 0 a 100 - Usinas Fotovoltaicas. ..	118
Tabela 6.16 – Diferenças relativas dos territórios prioritários em relação à média obtida para cada subcritério.	120

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Oferta Interna de Energia	22
Figura 3.1 – Hierarquização utilizando o método AHP	34
Figura 3.2 – Fluxograma de Funcionamento do Método AHP.....	42
Figura 4.1 – Diagrama do método AHP aplicado – Usinas Solares.....	47
Figura 4.2 – Diagrama do método AHP aplicado – Usinas Eólicas	48
Figura 4.3 – Fluxograma do Algoritmo Elaborado	68
Figura 5.1 – Mapa – Territórios de Identidade.....	72
Figura 5.2 – Mapa de Radiação Solar Global Horizontal - Média	77
Figura 5.3 – Radiação Solar Global Horizontal – Média Anual – Recorte da Bahia no Atlas Eólico brasileiro.....	78
Figura 5.4 – Mapa de Radiação Solar Global Horizontal - Média	78
Figura 5.5 – Potencial Eólico a 150 metros na Bahia.....	82
Figura 5.6 – Escala de cores – Velocidade dos Ventos.....	82
Figura 5.7 – Mapa de Diretividade dos Ventos.....	84
Figura 5.8 – Mapa dos Contornos de Unidades de Conservação (UC) para usinas solares. 87	
Figura 5.9 – Mapa das Unidades de Conservação (UC) + Rota de Pássaros	88
Figura 5.10 – Mapa de Infraestrutura da Bahia	90
Figura 5.11 – Mapa Rodoviário/Ferroviário e Mapa dos Territórios de Identidade sobrepostos	91
Figura 5.12 – Mapa de Linhas de Transmissão de 34 kV, 69 kV, 138 kV, 230 kV e 500 kV. 93	
Figura 6.1 – Classificação por cores – Priorização dos Territórios de Identidade – Potência Elevada – Eixo Horizontal - Ventos ≥ 7 m/s	103
Figura 6.2 – Classificação por cores – Priorização dos Territórios de Identidade – Potência Elevada - Eixo Horizontal - Ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s	105
Figura 6.3 – Classificação por cores – Priorização dos Territórios de Identidade – Potência Intermediária - Eixo Horizontal - Ventos ≥ 7 m/s	107
Figura 6.4 – Classificação por cores – Priorização dos Territórios de Identidade – Potência Intermediária - Eixo Horizontal - Ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s	110
Figura 6.5 – Classificação por cores – Priorização dos Territórios de Identidade – Eixo Vertical - Ventos ≥ 7 m/s	113
Figura 6.6 – Classificação por cores – Priorização dos Territórios de Identidade – Eixo Vertical - Ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s.....	115
Figura 6.7 – Classificação por cores – Priorização dos Territórios de Identidade – Usinas Solares Fotovoltaicas.....	119

Lista de Siglas

AHP	- <i>Analytic Hierarchy Process</i>
BEBA	- Balanço Energético da Bahia
BEN	- Balanço Energético Nacional
CA	- Critério Ambiental
CE	- Critério Econômico
CFE	- Consumo Final de Energia
CG	- Critério Genérico
CIA	- <i>Central Intelligence Agency</i>
CIE	- Coeficiente de Intensidade Energética
COELBA	- Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia
CS	- Critério Social
CT	- Critério Técnico
DEWI	- <i>Deutsches Windenergie-Institut</i> ou Instituto Alemão de Energia Eólica
DSSG	- <i>Decision Support Systems Glossary</i>
EPE	- Empresa de Pesquisa Energética
FAHP	- <i>Fuzzy Analytical Hierarchy Process</i>
FCM	- <i>Fuzzy Cognitive Maps</i>
FIRJAN	- Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
FJP	- Fundação João Pinheiro
FP	- Foco Principal
GLP	- Gás Liquefeito do Petróleo
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	- Índice de Consistência
IDH	- Índice de Desenvolvimento Humano
IFDM	- Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal
IPE	- Índice de <i>Performance</i> Econômica
IPEA	- Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada
IPS	- Índice de <i>Performance</i> Social
LT	- Linha de Transmissão
MC	- Matriz de Comparação
MCDA	- <i>Multi-criteria Decision Analysis</i>
MCDM	- <i>Multi-criteria Decision Making</i>
MME	- Ministério de Minas e Energia
NI	- Nível de Industrialização
OIE	- Oferta Interna de Energia
ONU	- Organização das Nações Unidas
PDE	- Plano Decenal de Energia
PDTU	- Plano de Desenvolvimento de Transporte Urbano
PIB	- Produto Interno Bruto
PMG	- Prioridade Média Global
PML	- Prioridade Média Local
PNUD	- Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD)

RC	- Razão de Consistência
RCI	- <i>Random Consistency Index</i>
RDH	- Relatório de Desenvolvimento Humano
SCA	- Sub-Critério Ambiental
SCE	- Sub-Critério Econômico
SCS	- Sub-Critério Social
SCT	- Sub-Critério Técnico
SECTI	- Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação
SEI	- Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais
SEPLAN	- Secretaria de Planejamento
SIN	- Sistema Integrado Nacional
SNUC	- Sistema Nacional de Unidades de Conservação
TEP	- Tonelada(s) equivalente(s) de petróleo
UC	- Unidades de Conservação

Lista de Símbolos

λ_{max}	=	Autovalor máximo
α_{T_n}	=	Área disponível relativa do território T_n
$\alpha_{y_{T_n}}$	=	Diretividade da rosa dos ventos y com $y = 1, 2, 3, \dots, N$ do território T_n ;
$A_{AUTOCAD_{T_n}}$	=	Área calculada do território de identidade T_n com base nos mapas e da ferramenta AutoCAD
$A_{IBGE_{T_n}}$	=	Área calculada do território de identidade T_n com dados do IBGE
A_j	=	Alternativa j com $j = 1, 2, \dots, N$
A_{T_n}	=	Área total do território T_n
$A_{u_{T_n}}$	=	Área útil para instalação das usinas do território T_n
β_{T_n}	=	Área disponível do território T_n , com $n = 1, 2, \dots, 27$.
C_{ij}	=	Comparação genérica entre dois itens utilizando escala de Saaty e com $i = 1, 2, \dots, N$ e $j = 1, 2, \dots, N$
$d_{p_{T_n}}$	=	Densidade populacional do território T_n
$d_{LT_{T_n}}$	=	Densidade de linhas de transmissão do território T_n
D_{max}	=	Número de direções máximas para as rosas dos ventos;
$D_{y_{T_n}}$	=	Número de direções da rosa dos ventos y com $y = 1, 2, 3, \dots, N$ do território T_n ;
D_{y_x}	=	Número de direções da rosa dos ventos y para uma determinada faixa de frequência;
$d_{RF_{T_n}}$	=	Densidade de rodovias e ferrovias do território T_n
$e(\%)$	=	Erro relativo das áreas calculadas
$I_{médior_{T_n}}$	=	Incidência solar média anual do território de identidade T_n
IC	=	Índice de Consistência
$IFDM_{m_{T_n}}$	=	Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal médio do território de identidade T_n
$IFDM_{x_{T_n}}$	=	Índice FIRJAN de Desenvolvimento do município de ordem x do território de identidade T_n , com $x = 1, 2, \dots, N_m$ e $n = 1, 2, \dots, 27$
$l_{F_{T_n}}$	=	Comprimento total de ferrovias do território T_n
$l_{R_{T_n}}$	=	Comprimento total de rodovias pavimentadas e não pavimentadas do território T_n ;
$l_{T_{T_n}}$	=	Comprimento total de linha de transmissão do território T_n
n	=	Ordem da matriz quadrada
N_{100A_n}	=	Nota normalizada geral de 0 a 100 da alternativa n com $n = 1, 2, \dots, 27$
N_{A_n}	=	Nota normalizada geral de 0 a 1 da alternativa n com $n = 1, 2, \dots, 27$
N_{A_N}	=	Elemento com maior magnitude da PMG
$N_{A_n-CE_{E_n}}$	=	Nota normalizada de 0 a 1 da alternativa A_n com $n=1, 2, 3, \dots, 27$ em relação ao grupo de critério econômico do especialista E_n ($n = 1, 2, \dots, N_m$)
$N_{A_n-CS_{E_n}}$	=	Nota normalizada de 0 a 1 da alternativa A_n com $n=1, 2, 3, \dots, 27$ em relação ao grupo de critério social do especialista E_n ($n = 1, 2, \dots, N_m$)
$N_{A_n-CT-Pot_{E_n}}$	=	Nota normalizada de 0 a 1 da alternativa A_n com $n=1, 2, 3, \dots, 27$ em relação ao grupo de critério técnico de potencialidade de geração do especialista E_n ($n = 1, 2, \dots, N_m$)

$N_{A_n-CT-InfE_n}$	=	Nota normalizada de 0 a 1 da alternativa A_n com $n=1,2,3,\dots,27$ em relação ao grupo de critério técnico de infraestrutura do especialista E_n ($n = 1,2, \dots, N_m$)
$N_{A_n-CT-TerE_n}$	=	Nota normalizada de 0 a 1 da alternativa A_n com $n=1,2,3,\dots,27$ em relação ao grupo de critério técnico do ponto de vista territorial do especialista E_n ($n = 1,2, \dots, N_m$)
$N_{A_n-SCS_1}$	=	Nota normalizada de 0 a 1 da alternativa A_n com $n=1,2,3,\dots,27$ em relação ao subcritério social 1
$N_{A_n-SCE_1}$	=	Nota normalizada de 0 a 1 da alternativa A_n com $n=1,2,3,\dots,27$ em relação ao subcritério econômico 1
$N_{A_n-SCT_x}$	=	Nota normalizada de 0 a 1 da alternativa A_n com $n=1,2,3,\dots,27$ em relação ao subcritério técnico x com $x = 1,2,3,4,5,6$
N_{CS-FPE_n}	=	Nota normalizada de 0 a 1 do critério social à luz do foco principal do especialista E_n ($n = 1,2, \dots, N_m$)
N_{CE-FPE_n}	=	Nota normalizada de 0 a 1 do critério econômico à luz do foco principal do especialista E_n ($n = 1,2, \dots, N_m$)
$N_{CTInf-FPE_n}$	=	Nota normalizada de 0 a 1 do critério técnico de infraestrutura à luz do foco principal do especialista E_n ($n = 1,2, \dots, N_m$)
$N_{CTPot-FPE_n}$	=	Nota normalizada de 0 a 1 do critério técnico de potencialidade de geração à luz do foco principal do especialista E_n ($n = 1,2, \dots, N_m$)
$N_{CTTer-FPE_n}$	=	Nota normalizada de 0 a 1 do critério técnico do ponto de vista territorial à luz do foco principal do especialista E_n ($n = 1,2, \dots, N_m$)
N_i	=	Nota normalizada de 0 a 1 de uma linha ou coluna, com i representando a ordem desta
N_{ij}	=	Nota normalizada de posição ij de uma matriz, com $i = 1,2, \dots, N$ e $j = 1,2, \dots, N$
$N \cdot I \cdot T_n$	=	Nível de Industrialização do território T_n
$N_{SCT_x-CT-PotE_n}$	=	Nota normalizada de 0 a 1 do subcritério técnico x , com $x = 1,2$, à luz do critério técnico de potencialidade de geração do especialista E_n ($n = 1,2, \dots, N_m$)
$N_{SCT_x-CT-InfE_n}$	=	Nota normalizada de 0 a 1 do subcritério técnico x , com $x = 1,2$, à luz do critério técnico de infraestrutura do especialista E_n ($n = 1,2, \dots, N_m$)
$N_{SCT_x-CT-TerE_n}$	=	Nota normalizada de 0 a 1 do subcritério técnico x , com $x = 1,2$, à luz do critério técnico do ponto de vista territorial do especialista E_n ($n = 1,2, \dots, N_m$)
P_{T_n}	=	Área total de unidades de conservação do território T_n , com $n = 1,2, \dots, 27$.
PIB_{INDT_n}	=	PIB industrial do território T_n
PIB_{TOTALT_n}	=	PIB total do território T_n
PMG	=	Prioridade média global geral
PMG_{100}	=	Prioridade média global com normalização de 0 a 100
PMG_{E_n}	=	Prioridade média global do especialista E_n ($n = 1,2, \dots, N_m$)
PMG_{CG}	=	Prioridade Média Global à luz de um Critério Genérico
PMG_{A_n}	=	Prioridade Média Global de uma alternativa de ordem n com $n = 1,2, \dots, N$
PML_{A-CAE_n}	=	Prioridade média local das alternativas à luz do critério ambiental do especialista E_n ($n = 1,2, \dots, N_m$)
PML_{A-CEE_n}	=	Prioridade média local das alternativas à luz do critério econômico do especialista E_n ($n = 1,2, \dots, N_m$)
PML_{A-CSE_n}	=	Prioridade média local das alternativas à luz do critério social do especialista E_n ($n = 1,2, \dots, N_m$)
PML_{A-CTE_n}	=	Prioridade média local das alternativas à luz do critério técnico do especialista E_n ($n = 1,2, \dots, N_m$)

PML_{A-SCS_1}	=	Prioridade média local das alternativas à luz do subcritério social
PML_{A-SCE_1}	=	Prioridade média local das alternativas à luz do subcritério econômico
PML_{A-SCT_x}	=	Prioridade média local das alternativas à luz do subcritério técnico $x = 1, 2, 3, 4, 5$ e 6
PML_{C_n}	=	Prioridade Média Local de um critério de ordem n com $n = 1, 2, \dots, N$
$PML_{C-FP_{E_n}}$	=	Prioridade média local dos critérios à luz do foco principal do especialista E_n ($n = 1, 2, \dots, N_m$)
PML_{FP}	=	Prioridade Média Local das alternativas à luz do foco principal (FP)
PML_{SCE-CE}	=	Prioridade Média Local do subcritério econômico à luz do critério econômico
PML_{SCS-CS}	=	Prioridade Média Local do subcritério social à luz do critério social
$PML_{SCT-CT-Inf_{E_n}}$	=	Prioridade Média Local dos subcritérios técnicos à luz do critério técnico de infraestrutura do especialista E_n ($n = 1, 2, \dots, N_m$)
$PML_{SCT-CT-Pot_{E_n}}$	=	Prioridade Média Local dos subcritérios técnicos à luz do critério técnico de potencialidade de geração do especialista E_n ($n = 1, 2, \dots, N_m$)
$PML_{SCT-CT-Ter_{E_n}}$	=	Prioridade Média Local dos subcritérios técnicos à luz do critério técnico do ponto de vista territorial do especialista E_n ($n = 1, 2, \dots, N_m$)
$Pot_{T_n solar}$	=	Potencial solar eólico médio do território T_n , medido pela multiplicação da área disponível (β_{T_n} , em km^2) do território T_n pela incidência solar (kWh/m^2) horizontal média anual
p_{xT_n}	=	População do município x do território T_n com $x = 1, 2, \dots, N_n$
RC	=	Razão de Coerência
RCI	=	<i>Random Consistency Index</i>
S_j	=	Soma dos elementos de uma linha ou coluna, com j representando a ordem desta
$\bar{\theta}_{T_n}$	=	Temperatura média do território T_n com $n = 1, 2, \dots, 27$
V_{T_n}	=	Velocidade eólica média anual a 150 metros do território T_n

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO

A energia que se encontra em suas diversas formas na natureza é chamada de energia primária. Dentre essas, podem-se citar a energia eólica, solar, hidráulica, das marés, dos combustíveis fósseis (petróleo, carvão, gás natural), geotérmica e nuclear. Essa energia pode ser classificada como renovável ou não renovável, sendo a primeira aquela cuja velocidade de reposição natural é superior¹ à sua utilização e a segunda aquela na qual a velocidade de reposição natural é inferior à sua utilização. A partir do momento em que o homem passa a intervir nessa forma de energia, transformando-a em outra, essa última é chamada de energia secundária, a exemplo da energia elétrica (SILVA, 2006).

Pode-se dizer que a matriz de energia elétrica mundial tem passado por um processo de mudança, devido ao crescimento da demanda, como o aumento populacional e o surgimento de novas indústrias. Paralelamente, o crescimento da consciência ambiental das pessoas tem aumentado e, por isso, tem-se procurado produzir energia elétrica de forma limpa, com o objetivo de ter pouca ou nenhuma produção de gases ou resíduos, e eficiente, visando o baixo custo de produção e um melhor aproveitamento energético. Por conta dos resíduos e dos gases que algumas fontes energéticas emitem e principalmente por conta da escassez de alguns recursos em momentos de crises (é o caso da crise do petróleo, na década de 70), os países têm adotado medidas para suprirem as suas necessidades energéticas através de fontes alternativas de energias elétricas (AMBIENTE, 2014).

Desta forma, o aumento da demanda energética no país está relacionado com o crescimento econômico deste. Pode-se afirmar, portanto, que a matriz energética é uma das bases que sustentam o desenvolvimento da economia, sendo esse um dos

¹ SILVA (2006) afirma que uma fonte renovável possui uma taxa de reposição superior à sua utilização, no entanto, essa afirmação pode ser relativizada. A produção de etanol oriunda da cana-de-açúcar, por exemplo, pode ter uma taxa de reposição inferior, caso o consumo seja maior.

motivos pelo qual o governo brasileiro elabora, por meio do Balanço Energético Nacional (BEN), uma análise anual do cenário energético atual do Brasil. Nesse sentido, por meio desse documento, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2015a), sob a aprovação do Ministério de Minas e Energia (MME), prevê um crescimento médio anual de 4,1% da demanda energética no país e um aumento médio de 3,5% do PIB do país, entre os períodos de 2014 a 2024, podendo-se inferir que existe uma relação direta entre essas duas grandezas.

No que tange à participação das energias renováveis na matriz energética brasileira (fontes primárias), que em 2014 era de 39,4%, passará a ter 45,2% em 2024, segundo Plano Decenal de Energia (PDE - 2015), indicando uma forte presença desse tipo de energia, nos próximos anos. Se considerado somente a geração de energia elétrica, as renováveis deverão representar algo em torno de 86% em 2024, superando a atual predominância dessas fontes (EPE, 2015b). Para exemplificar, a energia eólica (considerando somente a matriz elétrica) passará de 2%, em 2015, para 8%, em 2024. Nesse sentido, apesar da matriz energética brasileira ser predominantemente baseada em energia hidráulica, é verificado, segundo PDE de 2015, um crescimento da representatividade de outras fontes renováveis.

Dentre as muitas localidades brasileiras que possuem enorme potencial eólico e solar, destaca-se o estado da Bahia, conforme observado nos seus respectivos atlas (CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS et al., 2013; PEREIRA et al., 2006). Somado a isso, espera-se que a implantação de usinas eólicas e solares no território baiano favoreça o balanço energético deste - nos anos de 1997 a 2013 operou em déficit, segundo Balanço Energético da Bahia de 2014 (SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA, 2014) -, convertendo-o para valores de alta magnitude e positivos, além de contribuir para o desenvolvimento dos seus municípios. Antagonicamente, apesar das riquezas naturais que a Bahia possui, ocupa a 22ª posição no ranking do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) das 27 unidades da federação brasileira, ficando à frente apenas da Paraíba, Piauí, Pará, Maranhão e Alagoas, segundo o Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil 2013 (ONU, 2015).

Mesmo que um território geopolítico apresente uma alta potencialidade de geração eólica e solar, sabe-se que as complexidades e os desafios são grandes em gerenciar

empreendimentos eólicos e solares, dadas as muitas variáveis (estruturais, econômicas e sociais) envolvidas. Desse modo, o presente trabalho visa influenciar os responsáveis pelas decisões estratégicas, em especial, os órgãos governamentais, a fazerem escolhas mais criteriosas e planejadas. Com isso, este projeto de pesquisa tem o intuito de auxiliar, por meio do estabelecimento de critérios para levantamento de regiões prioritárias em um dado território geopolítico (estado, país ou continente), na implantação de empreendimentos eólicos e solares. A fim de que se obtenham resultados satisfatórios e concisos (na escolha de regiões prioritárias em um dado território geopolítico), propõe-se um modelo fazendo-se uso de uma ferramenta multicritério de escolha, denominada Processo Analítico Hierárquico (*Analytical Hierarchy Process* – AHP) considerada a mais utilizada segundo levantamento realizado na literatura (seção 2.3).

Este trabalho tem então a intenção de testar o modelo que está sendo proposto, por meio de estudos de casos realizados para o estado da Bahia, localizado no nordeste brasileiro. Foram feitos seis estudos de casos para empreendimentos eólicos (seções 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 e 6.7) e um para empreendimento solar fotovoltaico (seção 6.8),

1.2. OBJETIVO

1.2.1. Objetivo Geral

Estabelecer um modelo para seleção de regiões prioritárias para implantação de usinas eólicas e solares fotovoltaicas que possa ser utilizado pelo método multicritério AHP.

1.2.2. Objetivos Específicos

- a. Definir critérios que englobem aspectos econômicos, sociais, ambientais e estruturais para o modelo AHP proposto;
- b. Construir indicadores econômicos, sociais, ambientais e estruturais para os critérios escolhidos;

- c. Realizar estudo de caso em um território geopolítico (Bahia) com vistas a avaliar o modelo AHP proposto;
- d. Construir mapas de prioridades dos territórios da Bahia para os casos eólicos avaliados;
- e. Construir mapa de prioridades dos territórios da Bahia para caso solar fotovoltaico levantado.

1.3. METODOLOGIA

Conforme mencionado, este projeto de pesquisa trata do estabelecimento de critérios para escolha de regiões prioritárias para implantação de usinas eólicas e solares fotovoltaicas, além da utilização desses critérios em um método multicritério para tomada de decisão. O método escolhido foi o Processo Analítico Hierárquico ou, do inglês, *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e um estudo de caso com os dados da Bahia foi realizado.

Assim, partindo-se do objetivo principal deste trabalho, que trata do estabelecimento de um modelo para hierarquização de regiões baianas, definiram-se os critérios para implantação dessas usinas (eólicas e solares), bem como os subcritérios relacionados. Os critérios foram divididos em cinco grupos: social, econômico, técnico do ponto de vista de potencialidade de geração, técnico do ponto de vista de infraestrutura e técnico do ponto de vista de disponibilidade territorial. Cada um desses grupos de critérios possuem subcritério(s). Vale ressaltar que a ordem aqui apresentada não representa prioridade de um critério em relação a outro e que os subcritérios e as regiões escolhidos para este projeto são apresentados nos capítulos 4 e 5, respectivamente.

A comparação do grau de relevância de um critério em relação a outro (técnicos, econômico ou social), bem como de subcritérios pertencentes a um mesmo grupo, foram realizadas por pessoas da área de energias renováveis, por meio de um questionário (Apêndice A).

Além das comparações qualitativas entre os critérios e subcritérios levantados, realizadas pelas pessoas envolvidas, existem ainda os dados que dizem respeito a valores quantitativos das regiões escolhidas do estado da Bahia para esse projeto de pesquisa. Tais informações estão atreladas aos subcritérios escolhidos para esse trabalho, conforme pode ser observado também no capítulo 5.

Os *softwares* utilizados para esse trabalho, além do editor de texto WORD 2013, foram o MATLAB 2015a, Excel 2013 e AutoCAD 2016. O MATLAB foi empregado para construção do programa multicritério para tomada de decisão que hierarquiza as regiões do estado da Bahia, conforme algoritmo descrito no capítulo 4 e código fonte apresentado no apêndice B. O Excel foi utilizado para inserção dos dados das regiões baianas e opiniões dos especialistas, sendo que este fornece as informações ao primeiro programa. Salienta-se que tentou-se utilizar um programa AHP difundido, denominado Expert Choice 11, porém, conforme descrito no apêndice C, o desempenho dele não foi considerado satisfatório a fim de se comparar com o programa codificado pelo autor da presente dissertação.

E, por último, foi utilizado o AutoCAD 2016 para extração de informações imagéticas oriundas de mapas pré-existentes, por meio de sobreposição destes mapas e cálculos de alguns parâmetros. Vale ressaltar que essas novas informações que foram obtidas fazem parte de alguns subcritérios escolhidos para este trabalho (conforme pode ser observado nos capítulos 4 e 5) e essa é uma das contribuições deste trabalho.

1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esse trabalho é organizado da seguinte maneira:

No presente capítulo, de número 1, é feita uma breve contextualização e são apresentadas as motivações deste trabalho. Em seguida, são relatados o objetivo geral e os objetivos específicos deste projeto. Por último, é abordada a organização dos capítulos e das seções deste.

O **capítulo 2** retrata os cenários nacional e baiano, corroborando ainda mais a importância deste projeto de pesquisa. É importante trazer à tona tais informações,

para que o leitor possa se situar dentro do cenário atual e das projeções futuras no sentido energético para o Brasil e a Bahia. Em seguida, este capítulo apresenta o estado da arte sobre como vem sendo empregado o Processo Analítico Hierárquico (AHP) para tomada de decisões, além de outros métodos multicritérios de escolha.

O **capítulo 3** abrange a fundamentação teórica desse trabalho a respeito do método multicritério de escolha denominado de Processo Analítico Hierárquico (*Analytic Hierarchy Process* – AHP), apresentando o modo como este método é concebido e como poder utilizá-lo.

O **capítulo 4** consiste em abordar a metodologia utilizada para esse trabalho. Para isso, apresenta como o método AHP foi aplicado, os critérios e subcritérios escolhidos para a hierarquização das regiões escolhidas para a instalação das usinas eólicas e solares na Bahia, o algoritmo computacional desenvolvido, além de como foram obtidas as informações que servirão de dados de entrada para o programa elaborado.

O **capítulo 5** apresenta todas essas informações que envolvem as regiões escolhidas, além dos mapas que foram utilizados para extrair alguns desses dados e que serviram de base para a construção dos mapas finais para as usinas eólica e solar, sendo esses alguns dos objetivos específicos desse trabalho.

Os resultados das regiões (notas e mapas para priorização das instalações das usinas) são apresentados no **capítulo 6** e dispõe-se, no **capítulo 7**, das últimas considerações desse trabalho.

O texto encerra com os apêndices A, B, C e D, que apresentam, respectivamente, o questionário aplicado aos especialistas, o código-fonte do algoritmo AHP elaborado, considerações sobre o desempenho do código elaborado em comparação a um programa disponível no mercado e um levantamento dos empreendimentos eólicos e solares fotovoltaicos na Bahia e regiões vizinhas.

CAPÍTULO II

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

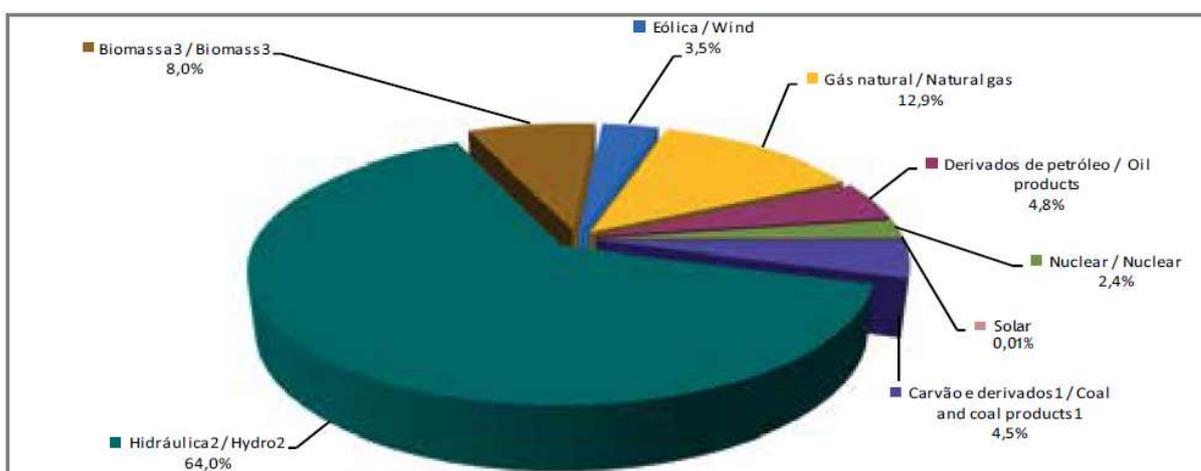
2.1. INTRODUÇÃO

Esse capítulo serve de contextualização para esse projeto de pesquisa, visto que é importante se conhecer e entender os cenários brasileiro e do estado da Bahia no que diz respeito à energia, principalmente a energia elétrica produzida por fontes renováveis dos tipos eólica e solar, além das condições econômicas e sociais dos territórios baianos e brasileiros.

2.2. MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

Para se ter uma noção do cenário energético nacional, é importante conhecer a composição da matriz energética elétrica brasileira. Nesse sentido, são apresentadas as fontes de energia primárias responsáveis pela produção de energia elétrica no país, conforme representado pela Figura 2.1.

Figura 2.1 – Oferta Interna de Energia Elétrica



Fonte: EPE (2016)

A Figura 2.1 mostra a participação percentual das fontes primárias para a produção de energia elétrica no país, em 2015. É percebido, portanto, que apesar da matriz

energética de eletricidade brasileira ser predominantemente oriunda de fontes renováveis, possui ainda uma característica fortemente hídrica, necessitando desenvolver, dentre outros recursos, o seu potencial eólico e solar, por ser uma fonte de energia limpa e renovável. Conforme apresentado pela figura, essas duas fontes energéticas foram responsáveis pela produção elétrica de 3,5% (eólica) e 0,01% (solar) em 2015 no país, segundo Balanço Energético Nacional (BEN) de 2016, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Pode-se notar que, apesar da representatividade da energia solar ser ínfima perante cenário atual, a despeito do seu potencial, a irradiação média anual varia entre 1200 e 2400 kWh/m²/ano, ao longo do território nacional. Esses valores são significativamente superiores à maioria dos países europeus, cujas estatísticas apontam intervalos entre 900 a 1250 kWh/m²/ano na Alemanha, 900 a 1650 kWh/m²/ano na França e entre 1200 a 1850 kWh/m²/ano na Espanha (EPE, 2012).

Para se ter uma noção ainda maior do potencial a ser explorado dessa fonte de energia no país, a Empresa de Pesquisa Energética (2012) comparou o potencial energético solar brasileiro com o consumo do Sistema Interligado Nacional (SIN) de 2011, verificando que o recobrimento de uma área de 2400 km², pouco mais da metade do município de Salvador-BA e região metropolitana, com painéis fotovoltaicos numa região de insolação média de 1400 kWh/m²/ano, seria suficiente para atender a demanda do SIN (EPE, 2012). Considerando uma eficiência média de 14% dos sistemas fotovoltaicos (COLLETA, 2015), isso equivaleria a 470.400 GWh.

Em se tratando de energia eólica, o potencial eólico brasileiro é muito maior que os 3,5% explorados atualmente (EPE, 2016): para dar força a essa afirmação, a revista Fator Brasil (2015) publicou resultados de um estudo realizado pelo Instituto Alemão de Energia Eólica, cujo acrônimo é DEWI (Deutsches Windenergie-Institut). Segundo essa pesquisa, o potencial eólico brasileiro é de 500 GW, considerando os últimos desenvolvimentos tecnológicos. Em 2001, quando foi lançado o primeiro Atlas Eólico Brasileiro, a estimativa era de 143 GW, instalando-se torres de até 50 metros. Atualmente, os estudos baseiam-se em alturas de até 150 metros, conforme último Atlas Eólico do estado da Bahia (2013). Vale ressaltar que, segundo Balanço Energético Nacional (BEN) de 2016, houve um aumento de 77,1% da produção de

energia eólica no país e expansão de 56% da potência eólica instalada, de 2014 para 2015. Essas informações são para corroborar o potencial de utilização dessa fonte energética para país, em especial, para a Bahia. A estimativa hoje é que o estado baiano possui capacidade de produzir 195 GW de energia elétrica decorrente de fonte eólica, a uma altura de 150 metros, segundo o Atlas Eólico da Bahia (2013).

2.2.1. OFERTA DE ENERGIA SEGUNDO BALANÇO ENERGÉTICO DA BAHIA DE 2014

A energia não renovável ainda possui uma participação predominante em relação à matriz da Oferta Interna de Energia, evoluindo a uma taxa média de 2,62% ao ano, com aumento de 51,3% para o período considerado. Em 1997, registrava 8.868.000 toneladas equivalentes de petróleo (tep), enquanto que, em 2013, passou a registrar 13.416.000 tep. Já a oferta de energia renovável apresentou uma taxa de crescimento anual de 1,51%, chegando a 27,5% ao longo da série histórica. A despeito do crescimento inferior e diminuição da participação das energias renováveis em relação às não renováveis, influenciado, dentre outros fatores, pelo decréscimo da utilização da lenha e do carvão vegetal, ao longo de 1997 a 2013, houve um aumento de mais de 550% de uso de fontes primárias renováveis, incluindo energia oriunda de biomassa, dos ventos e da radiação solar (BEBA, 2014).

A Oferta Interna de Energia (OIE) registrou taxa média de crescimento, entre 1997 e 2013, de 2,28% ao ano. O maior crescimento médio anual foi do grupo de Outras Fontes Primárias Renováveis, em 12,43% ao longo da série histórica (1997-2013), que inclui o biogás (a partir de 2011) e as energias eólica e solar (a partir de 2014) segundo Balanço Energético da Bahia de 2014, passando de 2,0% em 1997 para 9,2% em 2013. Apesar dessa forte tendência de crescimento do uso de energias renováveis e de 600 empreendimentos entre parques eólicos e solares terem sido cadastrados para o 2º Leilão de Reserva² de 2016 (2º LER/2016) na Bahia, todos os projetos para instalação de usinas eólicas e solares foram inabilitados “pela ausência de capacidade de escoamento de geração pela rede básica”, segundo Valverde

² “A contratação da energia de reserva foi criada para elevar a segurança no fornecimento de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN), com energia proveniente de usinas especialmente contratadas para esta finalidade, seja de novos empreendimentos de geração ou de empreendimentos existentes”(CCEE, 2016).

(2016). Esse último autor ainda comenta que “a situação pode ser explicada pela não entrega dos empreendimentos de transmissão na data da sua necessidade”, em que foi planejada. Ele comenta também que o atraso dessas obras de infraestrutura de linhas de transmissão pode prejudicar o suprimento de energia para a Bahia em 2018, podendo, inclusive, levar a um déficit energético, caso o regime hidrológico seja ruim.

O aumento da representatividade do setor de Outras Fontes Primárias Renováveis na OIE deveu-se, em grande parte, a dois grandes empreendimentos de Papel e Celulose (uso da Lixívia como fonte energética), nos municípios de Mucuri (1992) e Eunápolis (2005). Além disso, houve, nos anos de 2011, 2012 e 2013, a entrada de operação comercial de usinas de geração de energia elétrica que têm como base a utilização do Biogás (gás de aterro), da Energia Solar e da Energia Eólica. Para os próximos anos é possível que o grupo de Outras Fontes Primárias Renováveis continuem crescendo em um ritmo mais acelerado que outros grupos energéticos, devido, entre outros fatores, à ampliação de número de empreendimentos eólicos e solares, por causa da riqueza natural que a Bahia possui desses dois recursos e dos seus usos ainda incipientes, além do aumento da necessidade de construção de usinas que utilizam fontes renováveis produtoras de pouco ou nenhum gás causador de efeito estufa, sabendo-se que essa é uma das grandes preocupações ambientais dos tempos atuais.

2.3. ESTADO DA ARTE

Em uma situação com diversos critérios e múltiplas alternativas de escolha, é recomendado o uso de método(s) multicritério(s) para tomada de decisão (*Multicriteria Decision Making* – MCDM), que é(são) estudado(s) ou utilizado(s) por diferentes pesquisadores ou pessoas que queiram assegurar-se de terem feito escolhas com certo grau de consistência. Desse modo, nesta seção é feita uma revisão bibliográfica dos métodos em questão e dos trabalhos realizados pelos autores.

ZOPOUNIDIS e DOUMPOS (2002) realizam uma revisão de diferentes formas de classificação de análises multicritérios para tomada de decisão (*Multi-criteria Decision Analysis* – MCDA). A revisão abrange diferentes formas de classificação MCDA, diferentes aspectos do processo de desenvolvimento de modelo, bem como

aplicações do mundo real, técnicas de triagem e suas implementações em *software*. Os autores apontam ainda para futuros sistemas integrados ou mistos que irão apropriadamente aplicar diferentes modelos para processos de tomada de decisão reais.

POHEKAR e RAMACHANDRAN (2004) realizam uma revisão de mais de 90 estudos publicados a fim de analisar a aplicabilidade dos diferentes métodos multicritérios para tomada de decisão. Tais métodos foram classificados em ano e áreas de aplicação, com intuito de apresentar as tendências. Observou-se com esse trabalho que o AHP é o método mais popular, seguido das técnicas PROMETHEE e ELECTRE. Os autores do trabalho também notaram na literatura que alguns trabalhos utilizam-se de mais de um método para validação de resultados, bem como de sistemas de suporte a decisão interativos e aplicação de métodos *fuzzy* para lidar com as incertezas das informações adquiridas.

LOKEN (2007) revisa diferentes tipos (MAVT, MAUT, GP, STEM, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE) de análises de decisão multicritério (*Multi-criteria Decision Analysis – MCDA*) para a área de planejamento energético. A conclusão extraída pelo autor é que todos os métodos possuem suas vantagens e desvantagens e que os analistas divergem quais métodos são os mais adequados. O autor revisa ainda o uso de métodos combinados (AHP com PROMETHEE II, AHP com TOPSIS, AHP com GP) e sugere ainda a utilização de métodos em paralelos, aplicados separadamente, para auxiliarem na tomada de decisão.

ANANDA e HERATH (2009) revisam as contribuições dos pesquisadores da área de planejamento e manejo florestal, por meio da utilização dos métodos multicritérios para tomada de decisão (*Multi-criteria Decision Making – MCDM*), baseado em exaustiva pesquisas literárias. A revisão foca principalmente nos aspectos de aplicação, destacando fundamentos teóricos e controvérsias. Também analisa a natureza dos problemas abordados e o risco de incorporação desses métodos nos processos de tomada de decisão para a área de planejamento e gerenciamento de florestas. Mais de 60 estudos individuais foram revisados e classificados em: métodos utilizados, país de origem, números e tipos de critérios e opções avaliadas.

WANG *et al.* (2009) revisa métodos multicritérios para tomada de decisão para energias sustentáveis³, em relação à escolha dos critérios, critérios de ponderação (associados aos pesos dos critérios), avaliação e agregação final (quando as alternativas são hierarquizadas, após a aplicação de um método multicritério de escolha). Vale ressaltar que os autores citam ainda que o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) como o método MCDM abrangente mais popular e que os métodos de agregação ajudam a obter resultados racionais que auxiliam os processos de tomada de decisão para a área de energia sustentável.

MARDANI *et al.* (2015) fazem uma revisão sistemática de técnicas e abordagens MCDM em problemas de sistemas de energia sustentáveis e renováveis. Ao todo foram analisados 54 artigos publicados de 2003 a 2015 em revistas (*journals*) de alto padrão, retirados da base de dados da Web of Science. Os artigos foram classificados em dois principais grupos: (1) energias sustentáveis e (2) energias renováveis. No que tange os métodos, os artigos foram categorizados em seis grupos: (1) AHP e F-AHP; (2) ANP e VIKOR; (3) TOPSIS e F-TOPSIS; (4) PROMETHEE; (5) métodos integrados e (6) outros métodos. Esses *papers* foram revisados baseados nas nacionalidades dos autores, data de publicação, técnicas e abordagens, nome da revista (*journal*) e critérios de análise utilizados com os métodos. Os resultados desse estudo mostraram que os métodos, combinados ou não, que incluem AHP/F-AHP (grupo 1 dos métodos) são os que aparecem em maior quantidade, dentre os artigos pesquisados. Os autores afirmam ainda que, dentre o período pesquisado, 2015 foi o ano em que se publicou mais artigos sobre o tema.

TSOUTSOS *et al.* (2009) explora a utilização da metodologia multicritério para planejamento energético sustentável na ilha de Creta, na Grécia. Um conjunto de alternativas energéticas são determinadas sobre a instalação de fontes de energias renováveis e são analisadas mediante critérios econômicos, técnicos, sociais e ambientais, identificados por pessoas envolvidas na área de energias renováveis. O

³ Segundo site http://www.suapesquisa.com/energia/energia_sustentavel.htm, energia sustentável é aquela que é gerada e fornecida de modo a atender as necessidades atuais, sem comprometer a capacidade das futuras gerações de satisfazerem as suas necessidades. Essa mesma fonte cita ainda que as principais fontes de energias sustentáveis são as renováveis e limpas, com nenhum ou pouco índice de geração de gases causadores do efeito de estufa, como o CO₂.

estudo constitui uma análise exploratória com o potencial de auxiliar pessoas responsáveis por tomadas de decisão no planejamento energético regional, fornecendo a estes a possibilidade de criar classificações de alternativas de energias sustentáveis. Os autores do trabalho fazem uso dos métodos PROMETHEE I e II, a fim de traduzir as preferências dessas opções em peso, para que se possa avaliá-las.

SALMINEN *et al.* (1998) analisa os métodos multicritérios ELECTRE III, PROMETHEE I, II e SMART no contexto de quatro diferentes aplicações reais para problemas ambientais na Finlândia. O objetivo desse estudo consistiu em definir as diferenças dos métodos em questão e os resultados obtidos com estes. Segundo os autores desse trabalho, o PROMETHEE não difere muito do SMART com funções de valores lineares e, em muitos casos, isto é válido para o ELECTRE III também. Contudo, em alguns casos, os resultados podem diferenciar consideravelmente. Nesse sentido, os autores recomendam o uso de diversos métodos para o mesmo problema, sempre que possível. Quando isso não for possível de acontecer, entre os métodos estudados, aconselham o uso do ELECTRE III.

CHAOKE *et al.* (2013) se propõem a analisar critérios que visam a impactar a escolha de uma região para implantação de parques eólicos, utilizando o método AHP. Para a decisão de um local genérico mais apropriado para instalação, eles dividem os critérios em dois grupos: econômico e social. Fazendo parte do critério de grupo econômico, estão presentes oito subcritérios, que são a incidência dos ventos, as condições dos terrenos, fator prêmio, condições da rede, condições de tráfego, condições climáticas, seleção do ponto de observação e arranjo das pás eólicas. No grupo social pertencem os impactos ambientais e os impactos na economia local. Vale salientar que os autores desse trabalho não se propõem a explicar alguns dos critérios escolhidos.

HÖFER *et al.* (2014) utiliza a abordagem do processo analítico hierárquico (*Analytic Hierarchy Process* - AHP) para avaliar possíveis regiões potenciais para a implantação de parques eólicos, não levando em consideração a questão técnica da instalação pura e simplesmente, mas critérios técnico-econômicos, sócio-político e ambientais. Nesse trabalho faz-se uso de sistema de informação geográfica (*Geographic Information System* GIS) para obtenção dos dados a respeito da região de estudo

escolhida (Distrito de Aachen, Alemanha). Os critérios escolhidos para análise foram: potencial energético eólico, distância da malha rodoviária, distância da rede elétrica, declividade do terreno, distância de áreas urbanas, distância de locais de interesse, distância de ambientes naturais, tipo de cobertura do terreno e arquitetura da paisagem. A realização da comparação aos pares do grau de relevância dos critérios foi feita por especialistas.

KYRIAKARAKOS *et al.* (2014) apresenta a concepção e a implantação de uma ferramenta computacional que utiliza o método de mapas cognitivos *fuzzy* (*Fuzzy Cognitive Maps – FCM*) para área de planejamento regional de fontes de energias renováveis. Segundo os autores, esse *software* fornece ao tomador de decisão uma análise qualitativa global para instalação de uma usina (eólica, solar ou de biomassa), com esforços pequenos, levando-se em consideração cinco grupos de aspectos distintos: contexto legal, regulador e administrativo; contexto técnico; contexto financeiro; contexto social e contexto ambiental. Após o levantamento desses parâmetros, foram escolhidos os indicadores relacionados. Em seguida, foi implementado o método FCM e elaborada a plataforma computacional. Para estudo de caso, foram avaliadas a possibilidade de instalação das seguintes usinas: parque eólico em Agios Kyrillos, usina fotovoltaica em Mesoxorio e usina de biomassa em Heraklion, todas as regiões pertencentes à ilha de Creta, na Grécia.

ROJAS-ZERPA e YUSTA (2015) sabem da importância de métodos multicritérios para a área de planejamento energético. No entanto, notaram que critérios social e ambiental muitas vezes não são levados em consideração para projetos de eletrificação rural e que estes, normalmente, realizam um papel antagônico em relação a critérios técnicos e econômicos. Foram propostas treze alternativas, seis associadas com soluções ótimas multi-objetivos (ou multicritérios) pertencentes a geração descentralizada dispersa, outras seis para geração descentralizada compacta e, por último, ampliando-se a rede elétrica pública existente. Foi utilizada a combinação de dois métodos: AHP (para estimação dos critérios de preferência) e VIKOR (para seleção ou ordenamento das alternativas). Além disso, foram realizadas consultas de quatro grupos de especialistas: acadêmicos, empresas, órgãos operadores/regulamentadores e organizações não governamentais. Os resultados

revelaram que fontes alternativas de geração descentralizada compactas são melhores para eletrificação de pequenas áreas/vilas e regiões remotas.

Existe ainda outros trabalhos que fazem uso do Processo Analítico Hierárquico (*Analytic Hierarchy Process* - AHP): COSTA (2002), por exemplo, apresenta o método XXXVI Simpósio de Pesquisa Operacional. Nesse trabalho é mostrado como utilizar o método AHP e são aplicados cinco exemplos: escolha de um sistema para combate a infecção hospitalar; escolha de agência bancária para abertura de conta corrente; escolha de prestadora de serviços para transporte de materiais perigosos; escolha de alternativa tecnológica para tratamento do lixo urbano; escolha de alternativa para melhoria de um sistema de transportes.

O presente trabalho faz uso do método AHP para priorização de regiões em um território geopolítico para implantação de usinas eólicas e solares, com estudos de casos para a Bahia. Para elaboração da metodologia deste projeto de pesquisa, como a escolha dos critérios e subcritérios envolvidos, foram utilizados como base os artigos de ROJAS-ZERPA e YUSTA (2015). Coincidentemente (sem antes ter encontrado essa referência), o trabalho de HÖFER et al. (2014) possui similaridades a este que está sendo apresentado, no que diz respeito à classificação e definição dos critérios e às informações oriundas por meio de mapas. Para implantação do método AHP computacionalmente, os trabalhos de SILVA (2007), HAAS; MEIXNER, (2005) e COSTA (2002) também foram utilizados como principais referências.

2.4. RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados os cenários energéticos do Brasil e da Bahia, segundo informações oriundas predominantemente do Balanço Energético Nacional (BEN) 2015 e Balanço Energético da Bahia 2014, respectivamente. Tais aspectos são importantes para um melhor entendimento das questões energéticas baiana e brasileira. A partir dessa contextualização, pode-se dar um melhor direcionamento por onde as políticas energéticas baianas e brasileiras devem atuar.

Após a contextualização dos cenários energéticos baiano e brasileiro, foi realizado um levantamento do estado da arte dos métodos multicritério de escolha, em especial o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), por meio dos trabalhos que foram realizados nos últimos anos com a utilização destes. Percebeu-se que o método AHP é um método multicritério amplamente difundido (o mais utilizado), sendo muito aplicado em diferentes campos de atuação, incluindo aplicações em energias renováveis.

Após este capítulo de contextualização, o capítulo 3 trata da fundamentação teórica do método multicritério de escolha escolhido (método AHP), apresentando o funcionamento desta ferramenta para tomada de decisão e como esta foi concebida.

CAPÍTULO III

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. INTRODUÇÃO

Esse capítulo irá tratar do estado da arte dos métodos multicritérios de escolha, em especial do método AHP, por meio da descrição dos trabalhos recentes que foram realizados com estes. Poderá perceber-se, com isso, a vasta gama de aplicação dessas ferramentas de auxílio para tomada de decisão.

Após o levantamento bibliográfico de pesquisas recentes realizadas, entrar-se-á na teoria do método AHP, explicando a sua concepção, bem como os passos para poder utilizá-lo.

3.2. TEORIA DO PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO (AHP)

O processo de tomada de decisão faz parte do cotidiano de qualquer ser humano. Pode-se dizer que tudo realizado por este, consciente ou inconscientemente, é fruto de escolhas, sendo que, os critérios utilizados podem ser diferentes, além da forma de interpretá-los. Tais fatores, no entanto, podem levar o indivíduo a realizar decisões não satisfatórias em relação às informações que foram anteriormente adquiridas.

Segundo Saaty (2008), o inventor do método chamado Processo Analítico Hierárquico ou *Analityc Hierarchy Process (AHP)*, para realização da tomada de decisão é necessário conhecer o problema, a necessidade e a proposta da decisão, os critérios e subcritérios para realização dessas escolhas, as partes interessadas e os grupos afetados, além das ações alternativas que necessitam ser tomadas.

SILVA e BELDERRAIN, (2005) resumem a seguir como tipicamente operam os métodos de Análise de Decisão Multicritério, sendo o Processo Analítico Hierárquico (AHP – Analytic Hierarchy Process) o mais conhecido desse conjunto (segundo esses autores):

1. Definir as alternativas para escolha;
2. Definir os critérios relevantes para o problema de decisão;
3. Avaliar as alternativas em relação aos critérios;
4. Avaliar a importância relativa de cada critério;
5. Determinar a avaliação global de cada alternativa.

O Processo Analítico Hierárquico ou o *Analytic Hierarchy Process (AHP)* é uma teoria de medição por meio de comparações pareadas e conta com os julgamentos de especialistas para obter escalas de prioridades. Muitas informações, contudo, são intangíveis, ou seja, não se pode mensurá-las de maneira objetiva. O método AHP, no entanto, consegue comparar medições intangíveis em termos relativos. As comparações são realizadas utilizando uma escala absoluta de julgamento que representa quanto mais um elemento prevalece em relação a outro a respeito de um determinado atributo (SAATY, 2008).

O *Decision Support Systems Glossary (DSSG, 2016)* define o método AHP como “uma abordagem para tomada de decisão que envolve estruturação de múltiplos critérios de escolha em uma hierarquia comparando alternativas para cada critério, e determinando um *ranking* global das alternativas”. Por se tratar de um método em que as comparações paritárias são baseadas em experiência, intuição e também em dados numéricos, o AHP pode lidar com aspectos qualitativos e quantitativos em um problema de decisão (SILVA, 2007). Exemplo como esse pode ser visto em (HAAS; MEIXNER, 2005) e vai ser observado também na presente dissertação.

Existe um aspecto importante no método AHP que é a questão da inconsistência do julgamento e como mensurá-la a fim de aperfeiçoar as comparações realizadas pelo especialista (para se obter uma melhor consistência no julgamento). Essa é outra preocupação dessa técnica multicritério para tomada de decisão (SAATY, 2008). A afirmação de Silva, D. M. R., (2007), corrobora a importância desse método:

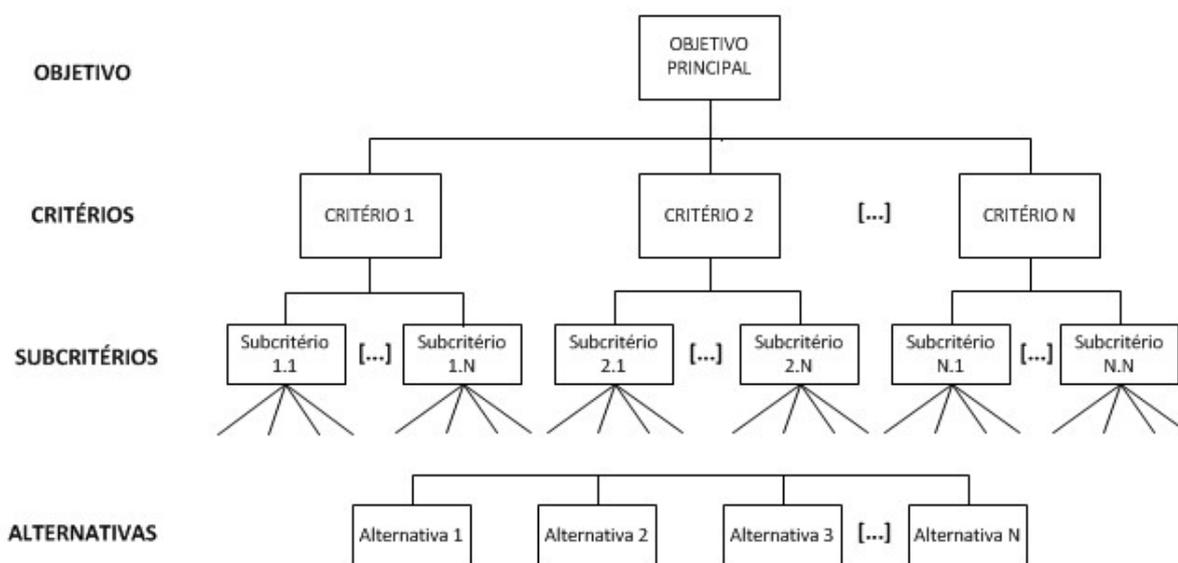
A ideia central da teoria da análise hierárquica introduzida por Saaty, é a redução do estudo de sistemas a uma sequência de comparações aos pares. A utilização do método realiza-se no processo de tomada de decisões, minimizando suas falhas.

Ainda segundo Silva, D. M. R (apud SAATY), em relação ao método AHP e o pensamento do seu criador:

Para o autor, a teoria reflete o método natural de funcionamento da mente humana, isto é, diante de um grande número de elementos (controláveis ou não), a mente os agrega segundo propriedades comuns. O cérebro repete esse processo e agrupa novamente os elementos em outro nível “mais elevado”, em função de propriedades comuns existentes nos grupos de nível imediatamente abaixo. A repetição dessa sistemática atinge o nível máximo quando este representa o objetivo do nosso processo decisório. E, assim, é formada a hierarquia, por níveis estratificados.

A hierarquia apresentada na Figura 3.1 mostra como é estruturado o método AHP.

Figura 3.1 – Hierarquização utilizando o método AHP



Fonte: O próprio autor

Conforme observado na Figura 3.1, encabeçando o diagrama, está o objetivo principal que, no caso desse trabalho, trata-se da priorização dos territórios de identidade do estado da Bahia para implantação de usinas eólicas e solares. Os critérios para escolha das alternativas que atendem estão logo abaixo deste. Subordinado a esses critérios, estão os subcritérios. É importante ressaltar que não é obrigatório haver subcritérios. Pode-se dizer que a maioria das referências pesquisadas apresentam apenas situações em que se utilizam critérios, não incluindo subcritérios. Exemplos como esse podem ser vistos em (COSTA, 2002), (HAAS; MEIXNER, 2005) e (SOUZA, 2015). No caso do presente trabalho, utilizam-se duas camadas (critérios e

subcritérios) para a escolha das alternativas (territórios a serem hierarquizados no estado da Bahia). Poder-se-ia ainda fazer-se uso de mais uma camada (sub-subcritérios, por exemplo) ou quantas fossem necessárias.

Para a realização de uma decisão de maneira organizada para gerar prioridades, é necessária a decomposição desta nas seguintes etapas (SAATY, 2008):

1. Definir o problema e determinar o tipo de conhecimento buscado;
2. Estruturar a decisão hierárquica de topo com o objetivo da decisão e então interligar esse propósito de perspectiva ampla aos níveis hierárquicos mais baixos (que normalmente são as alternativas) por meio de camadas intermediárias (critérios dos quais elementos subsequentes dependem). Segundo SILVA (apud CHAN 2004), cada nó é dividido em níveis de detalhes apropriados. Quanto mais critérios, menos importante este se torna individualmente, pois é feita uma atribuição de pesos para cada um que é inserido. É importante também haver uma averiguação da consistência e clareza entre os níveis;
3. Construir um conjunto de matrizes de comparações paritárias. Cada elemento em um nível mais elevado na hierarquia é utilizado para comparar os elementos imediatamente inferior desta com relação a este elemento superior. Por exemplo, supondo uma situação em que exista apenas uma camada de critérios (não havendo subcritérios), as alternativas são comparadas em relação a cada um dos critérios. Para cada um dos critérios existe uma matriz de comparação correspondente. Se existem n alternativas e m critérios, são produzidas m matrizes de ordem $n \times n$. Cada matriz realiza a comparação das n alternativas uma a uma (aos pares) em relação a um determinado critério. Vale ressaltar que para o preenchimento de uma matriz de ordem n , é necessária a realização de $n*(n-1)/2$ julgamentos ou comparações, pois o restante da matriz é completado com valores recíprocos (conforme explicado na Tabela 3.1), além dos unitários na diagonal principal;
4. Utilizar as prioridades obtidas pelas comparações para ponderar os elementos em um nível imediatamente abaixo. Fazer isso para cada

elemento. Então para cada elemento no nível abaixo acrescente seu valor ponderado a fim de obter sua prioridade geral ou global.

Para a realização de comparação, é necessária uma escala de números que indica o quão mais importante ou mais dominante é um elemento sobre o outro em relação a um critério ou propriedade que eles estão sendo comparados. A Tabela 3.1 apresenta essa escala (SAATY, 2008).

Tabela 3.1 – Escala de Saaty.

Valores numéricos	Termos verbais	Explicação
1	Igual Importância	Duas alternativas contribuem igualmente para o objetivo
3	Moderadamente mais importante	Experiência e julgamento favorecem levemente uma alternativa em relação à outra.
5	Fortemente mais importante	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma alternativa em relação à outra.
7	Muito fortemente mais importante	Alternativa muito fortemente favorecida em relação à outra. Sua dominância é demonstrada na prática.
9	Extremamente mais importante	A evidência favorecendo uma alternativa em relação à outra é da mais alta ordem possível de afirmação
2,4,6 e 8	Valores importantes intermediários	Quando se procura uma condição intermediária entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima	Se uma alternativa i tem um dos valores diferentes de zero acima atribuído a este quando comparado com a atividade j , então j tem um valor recíproco de quando comparado com i .	Uma suposição razoável
1,1 a 1,9	Se o grau de importância das alternativas estão muito próximas	Pode ser difícil atribuir o melhor valor, mas quando comparada com outras alternativas, a diferença entre o tamanho desses números poderia não ser percebida, apesar de ainda poder indicar a importância relativa de uma opção em relação a outra.

Fonte: Saaty (2008).

Segundo SILVA e BELDERRAIN, o método AHP possui três maneiras de obter a ordem das alternativas:

- Relativa: quando cada alternativa é comparada par a par com relação a um dado critério;
- Absoluta: situações em que as alternativas são classificadas numa escala de intensidade para um determinado critério;
- *Benchmarking*: quando uma alternativa conhecida é adicionada ao grupo de alternativas e as demais alternativas são comparadas a ela.

Vale ressaltar que nesse trabalho é utilizado uma mescla de duas situações. Uma é quando realiza-se a comparação de critérios intangíveis. Nesse caso, é utilizada a comparação relativa, baseada na escala de Saaty, conforme Tabela 3.1. No caso de critérios (subcritérios, no caso desse trabalho) tangíveis, é utilizada a comparação absoluta, pois, nesse caso, podem-se obter valores numéricos para estes quesitos, sendo que, esses dados podem ainda ser normalizadas a uma escala de 0 a 1, onde 1 representa a alternativa que possui maior magnitude para um determinado critério.

Apenas para explicar o que são valores recíprocos, apresentados na Tabela 3.1, se uma alternativa A é fortemente mais importante do que uma alternativa B, então essa comparação, conforme escala de Saaty, é igual a 5, e, por consequência, a comparação da alternativa B em relação a alternativa A equivale a $1/5$, sendo este um valor recíproco.

O exemplo da Tabela 3.2, retirado de SILVA (2007) mostra o preenchimento de uma matriz de comparação ou julgamentos (trata-se da mesma matriz) utilizando o método AHP.

Tabela 3.2 - Matriz de Comparação - Critério Genérico - Alternativas A, B, C e D.

Critério Genérico	A	B	C	D
A	1	5	6	7
B	1/5	1	4	6
C	1/6	1/4	1	4
D	1/7	1/6	1/4	1

Uma questão importante, citada anteriormente, consiste na avaliação da consistência da matriz. Sabendo-se uma quantidade básica de dados, todos os outros podem ser logicamente deduzidos. Desse modo, se A é 5 vezes mais dominante do que B (vide Tabela 3.2) e A é 6 vezes mais dominante do que C, então $A=5B$ e $A=6C$. Logo, $B/C = 6/5 =$ dominância de B em relação a C. Portanto, se o julgamento da posição $(B,C)=(2,3)$ na matriz for diferente de $6/5$, então esta é inconsistente (SILVA, 2007).

Vale salientar que em muitos trabalhos se aceitam um grau de inconsistência, desde que este não ultrapasse um determinado valor de referência, conforme pode ser observado em (SAATY, 2008), (MARINS; SOUZA; BARROS, 2009) e (VARGAS, 2010). Cabe exprimir também que o próprio autor do método propõe um Índice de Consistência (I.C.) para as matrizes de comparação, conforme equação (3.1):

$$I.C. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3.1)$$

Em que λ_{max} corresponde ao autovalor máximo de uma matriz de julgamentos genérica e n a ordem da matriz, sendo que, em uma matriz onde não há qualquer inconsistência, $\lambda_{max} = n$ e $I.C. = 0$. No caso da matriz de ordem n ser consistente, ao invés de $n*(n-1)/2$ comparações, é necessária apenas $(n-1)$ comparações paritárias, uma vez que os outros julgamentos podem ser deduzidos de maneira lógica.

Conforme observado na equação (3.2), o autovalor máximo λ_{max} é utilizado para o cálculo do índice de consistência de uma matriz de julgamentos A . O método utilizado nesse trabalho para a obtenção do autovalor máximo foi o mesmo utilizado em COSTA (2002, apud SAATY 2000), apresentado na presente seção, a partir de então. Cabe ressaltar que essa referência, oriunda de um projeto Integrado de Pesquisa do CNPQ, foi a principal fonte para a elaboração do algoritmo AHP proposto nesse trabalho.

$$\lambda_{max} = \frac{\frac{S_{P1}}{N_1} + \frac{S_{P2}}{N_2} + \frac{S_{P3}}{N_3} + \dots + \frac{S_{PN}}{N_N}}{N} \quad (3.2)$$

Sendo:

$S_{P1}, S_{P2}, \dots, S_{PN}$ = Elementos da matriz coluna auxiliar conforme apresentada em COSTA, (2002);

N_1, N_2, \dots, N_N = Elementos do vetor Prioridade Média Local (PML) do critério Genérico (ver COSTA, (2002);

N = Ordem da Matriz de Comparação (MC) em relação ao critério Genérico.

Após obtido o valor de λ_{\max} , pode-se obter o Índice de Consistência (IC) da Matriz de Comparação (MC) por meio da equação (3.1). Se o IC for maior do que um valor estabelecido entre 0 e 1, pede-se para a pessoa ou equipe refazer a avaliação das alternativas mediante aquele critério. Vale salientar, no entanto, que à medida que o grau da Matriz de Comparação aumenta, a gravidade da ocorrência de um determinado valor de IC diminui, conforme afirma COSTA (2002) e é abordado em (ROJAS-ZERPA; YUSTA, 2015) e (SAATY, 2008). Por isso, o criador do método AHP, Thomas L. Saaty, estabeleceu um outro índice chamado Razão de Consistência (RC) que está atrelado ao grau da MC, como mostra a equação (3.3):

$$RC = \frac{IC}{RCI} \quad (3.3)$$

Em que, RCI é uma sigla que vem do inglês que significa Índice de Consistência Randômico ou *Random Consistency Index* (RCI). FORMAN (1990) explica que RCI é um Índice de Consistência (IC) médio para um conjunto de julgamentos (escala de 1 a 9) para matrizes recíprocas⁴ (positivas) geradas randomicamente. A Tabela 3.3 apresenta os valores de RCI de acordo com a Matriz de Comparação.

Tabela 3.3 - Obtenção do RCI de acordo com os graus da matriz.

Grau	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RCI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

⁴ Matriz recíproca é aquela que atende à condição $a_{ji}=1/a_{ij}$, em que a_{ji} é um elemento de posição (j,i) em uma matriz (ARNALDO; MONTEVECHI, 2016).

Segundo FORMAN (1990), uma amostragem de 100 matrizes foi gerada pela *Oak Ridge Laboratory* para obtenção de cada um dos RCI. Mais tarde, a *Wharton School* obteve os índices mostrados na Tabela 3.3 com uma amostragem de 500 matrizes.

Conforme observado na Tabela 3.2, deduz-se que as prioridades médias locais (PML) são encontradas quando se comparam as alternativas à luz de um determinado critério (critério Genérico). Existe ainda a prioridade média local de critérios à luz do foco principal (PML_{C-FP}), que é obtido por meio da comparação dos critérios estabelecidos em relação ao objetivo principal, que norteia a tomada de decisão. A prioridade média global (PMG) é a última a ser encontrada, depois de serem calculadas todas as PMLs (para cada um dos critérios envolvidos), conforme multiplicação de matrizes apresentada pela equação (3.4).

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{PMG} \\ \hline \text{PMG}_{A1} \\ \hline \text{PMG}_{A2} \\ \hline \text{PMG}_{A3} \\ \hline \vdots \\ \hline \text{PMG}_{An} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline & \text{PML}_{A-C1} & \text{PML}_{A-C2} & \text{PML}_{A-C3} & \dots & \text{PML}_{A-Cn} \\ \hline \mathbf{A}_1 & N_{11} & N_{12} & N_{13} & \dots & N_{1n} \\ \hline \mathbf{A}_2 & N_{21} & N_{22} & N_{23} & \dots & N_{2n} \\ \hline \mathbf{A}_3 & N_{31} & N_{32} & N_{33} & \dots & N_{3n} \\ \hline \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \hline \mathbf{A}_n & N_{51} & N_{52} & N_{53} & \dots & N_{5n} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{PML}_{C-FP} \\ \hline P_1 \\ \hline P_2 \\ \hline P_3 \\ \hline \vdots \\ \hline P_n \\ \hline \end{array} \quad (3.4)$$

Em que:

C_j = Critério escolhido, com $j = 1, 2, 3, \dots, n$;

A_1, A_2, \dots, A_n = Alternativas;

N_{ij} = Pesos normalizados (0 a 1) das alternativas em relação a um critério C_j ;

P_1, P_2, \dots, P_n = Pesos normalizados dos critérios em relação ao foco principal (FP);

$PML_{A-C_j} = [N_{1j} \ N_{2j} \ N_{3j} \ \dots \ N_{nj}]^T$ = Vetor prioridade média local das alternativas à luz de C_j ;

$PML_{C-FP} = [P_1 \ P_2 \ P_3 \ \dots \ P_n]^T$ = Vetor prioridade média local dos critérios à luz do foco principal.

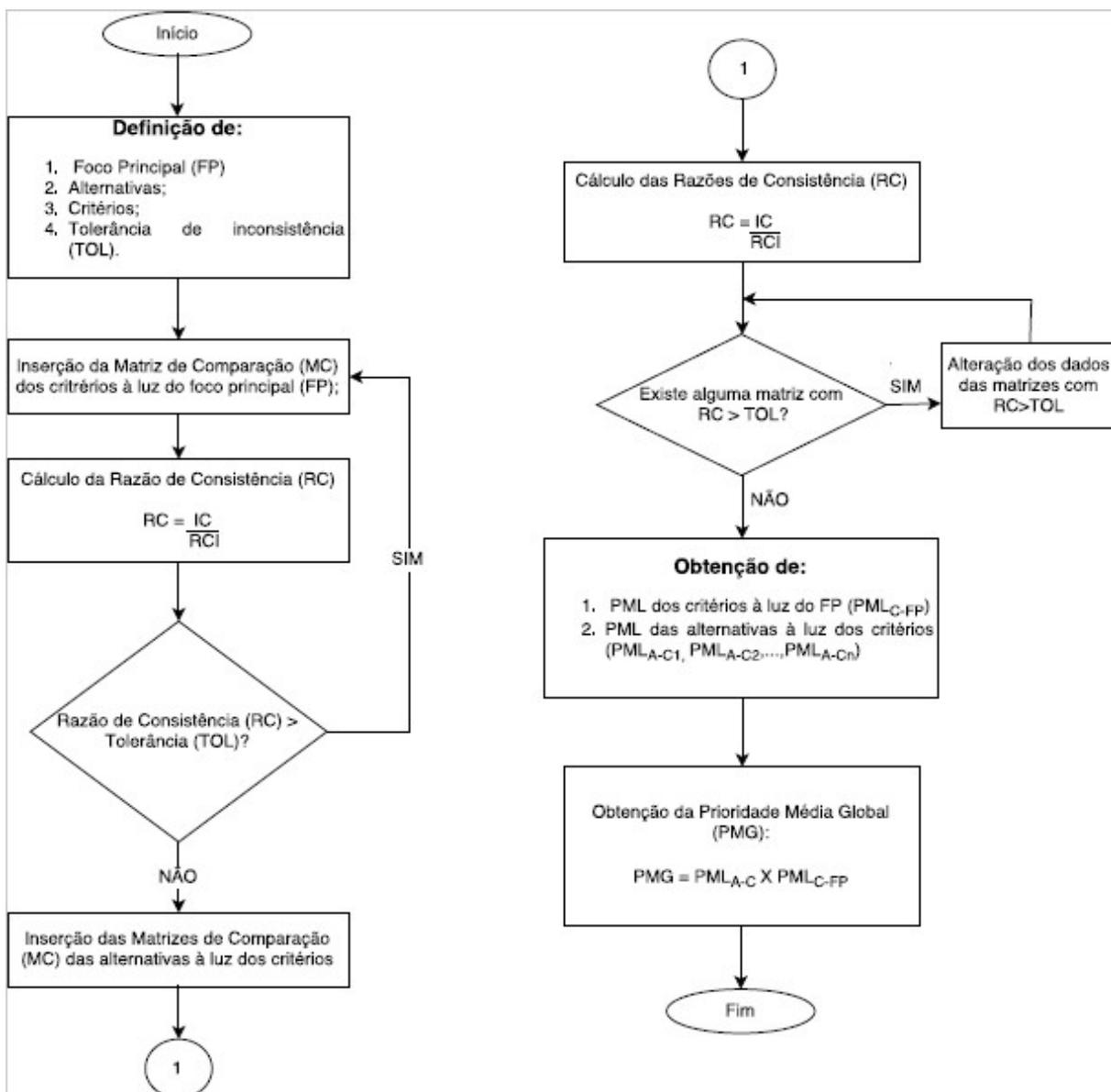
$PMG = [PMG_{A1} \ PMG_{A2} \ PMG_{A3} \ \dots \ PMG_{An}]^T$ = Vetor prioridade média global das alternativas à luz do foco principal.

Pode-se observar, conforme equação (3.4), que foi feita uma concatenação das prioridades médias locais (que são vetores colunas) das alternativas à luz dos critérios, PML_{A-C1} , $PML_{A-C2}, \dots, PML_{A-Cn}$, a fim de se obter a PMG.

Finalmente, com a prioridade média global, obtêm-se os pesos globais das alternativas à luz do foco principal. A partir desses valores, é possível decidir quais alternativas são mais viáveis de se escolher (as que tiverem maiores pesos).

Um resumo do que foi visto nesta seção é demonstrado na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Fluxograma de Funcionamento do Método AHP.



Fonte: O próprio autor

3.3. RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo, discorreu-se sobre a teoria do método AHP, explicando como essa foi concebida, bem como o seu algoritmo de utilização. Foi observado que o Processo Analítico Hierárquico ou *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é uma ferramenta multicritério de escolha poderosa para tomada de decisão, pois permite a avaliação de múltiplas alternativas, por meio do ranqueamento destas, utilizando-se critérios objetivos (numéricos) para cada uma das opções (alternativas) disponíveis, além de comparações paritárias dos critérios realizadas por pessoas, normalmente especialistas de uma determinada área.

CAPÍTULO IV

4. METODOLOGIA EMPREGADA PARA A CONSTRUÇÃO DO ALGORITMO AHP

4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentado o algoritmo do método AHP e seu emprego para mapeamento de territórios de identidade prioritários no estado da Bahia para possível implantação de usinas eólicas e solares. A hierarquização dos territórios de identidade (alternativas), que são dados de entrada do algoritmo, é feita com base no emprego de critérios e subcritérios que são avaliados por especialistas através de notas numa escala previamente definida (escala de Saaty). As informações relativas ao objetivo principal, critérios, subcritérios, alternativas serão tratadas na seção 4.2 do presente capítulo, enquanto que a seção 4.3 vai abordar sobre o algoritmo computacional que foi desenvolvido.

É aconselhável que tenha-se lido a seção 3.2 desse trabalho para entender melhor alguns conceitos que serão abordados neste capítulo, em especial, os discutidos na seção 4.3.

4.2. CRITÉRIOS, SUBCRITÉRIOS E ALTERNATIVAS

Como foi citado na seção 1.2, esse trabalho consiste no estabelecimento de critérios para seleção de regiões prioritárias para implantação de usinas eólicas e solares fotovoltaicas que possam ser utilizados pelo método multicritério AHP. O foco desse trabalho encontra-se no estado da Bahia (BA), sendo que as regiões escolhidas para avaliação de prioridade para instalação de usinas foram as mesmas que o governo da BA escolheu para criação de suas políticas públicas (GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA, [s.d.]; SEPLAN-BA, [s.d.]). Tais regiões, que ao todo são 27, são denominadas de territórios de identidade. O conceito de território de identidade pode ser melhor compreendido na seção 5.2.

Conforme citado na seção 1.3, foi entregue um questionário, que é mostrado no Apêndice A, a pessoas relacionadas cujas atividades profissionais tenham relação com as áreas de energias eólica e solar.

Os critérios e subcritérios escolhidos para definir as regiões prioritárias para implantação de usinas eólicas e solares são listados a seguir e apresentados no diagramas da Figura 4.1 (Usinas Solares) e Figura 4.2 (Usinas Eólicas):

Critérios – Usinas Solares Fotovoltaicas

a. Critério Social - CS

Subcritério:

a.1. Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM) médio.

b. Critério Econômico - CE

Subcritério:

b.1. Nível de Industrialização;

c. Critério Técnico - CT - Potencialidade de Geração:

Subcritérios:

c.1. Área x Incidência Solar Horizontal Média Anual;

c.2. Temperatura;

d. Critério Técnico – CT - Disponibilidade Territorial

d.1. Densidade populacional;

d.2. Área útil para instalação de usinas;

e. Critério Técnico – CT - Infraestrutura

e.1. Densidade de malhas rodoviária e ferroviária;

e.2. Densidade de linhas de transmissão.

Critérios – Usinas Eólicas

a. Critério Social - CS

Subcritério:

a.1. Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM) médio;

b. Critério Econômico - CE

Subcritério:

b.1. Nível de Industrialização;

c. Critério Técnico - CT - Potencialidade de Geração:

Subcritérios:

- c.1. Área x Velocidade média anual dos ventos em alturas de 150 m;
- c.2. Diretividade dos ventos (Somente para turbinas de eixo horizontal);

d. Critério Técnico – CT - Disponibilidade Territorial

- d.1. Densidade Populacional;
- d.2. Área útil para instalação de usinas;

e. Critério Técnico – CT - Infraestrutura

- e.1. Densidade de malhas rodoviária e ferroviária;
- e.2. Densidade de linhas de transmissão.

Como foi citado nesta seção, os critérios priorização das regiões são: social, econômico e técnicos, do ponto de vista de potencialidade de geração, disponibilidade territorial e infraestrutura. Pertencendo a um critério, existe um ou mais subcritério. Cada especialista compara paritariamente, por meio da escala de Saaty (Tabela 3.1), o grau de relevância que um critério tem em relação aos demais, bem como realiza comparação paritária de subcritérios que pertencem ao mesmo grupo de critério. Mais detalhes sobre essas comparações podem ser lidos na seção 4.3 do presente capítulo.

O grupo de critério social contém apenas o Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal⁵ (IFDM) como subcritério. O motivo pelo qual escolheu-se esse índice como subcritério social é devido à facilidade de obtenção dessas informações junto à Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN) e ao fato de ter atualização relativamente rápida (a FIRJAN se propunha a atualizar anualmente, segundo próprio site), diferentemente de índices mais populares como o IDH, fornecido pelo PNUD, órgão da ONU, cuja base de dados é dependente do Censo Demográfico, que ocorre, geralmente, a cada 10 anos (SEI, 2014)⁶

⁵ “O IFDM – Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal – é um estudo do Sistema FIRJAN que acompanha anualmente o desenvolvimento socioeconômico de todos os mais de 5 mil municípios brasileiros em três áreas de atuação: Emprego & renda, Educação e Saúde. Criado em 2008, ele é feito, exclusivamente, com base em estatísticas públicas oficiais, disponibilizadas pelos ministérios do Trabalho, Educação e Saúde” (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - FIRJAN)

⁶ Inicialmente, pensou-se em utilizar o Índice de Performance Social (IPS), oferecido pela Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI), como subcritério social. Entretanto, este índice aparentemente deixou de ser atualizado (os últimos dados municipais conseguidos para este indicador são de 2006).

Figura 4.1 – Diagrama do método AHP aplicado – Usinas Solares.

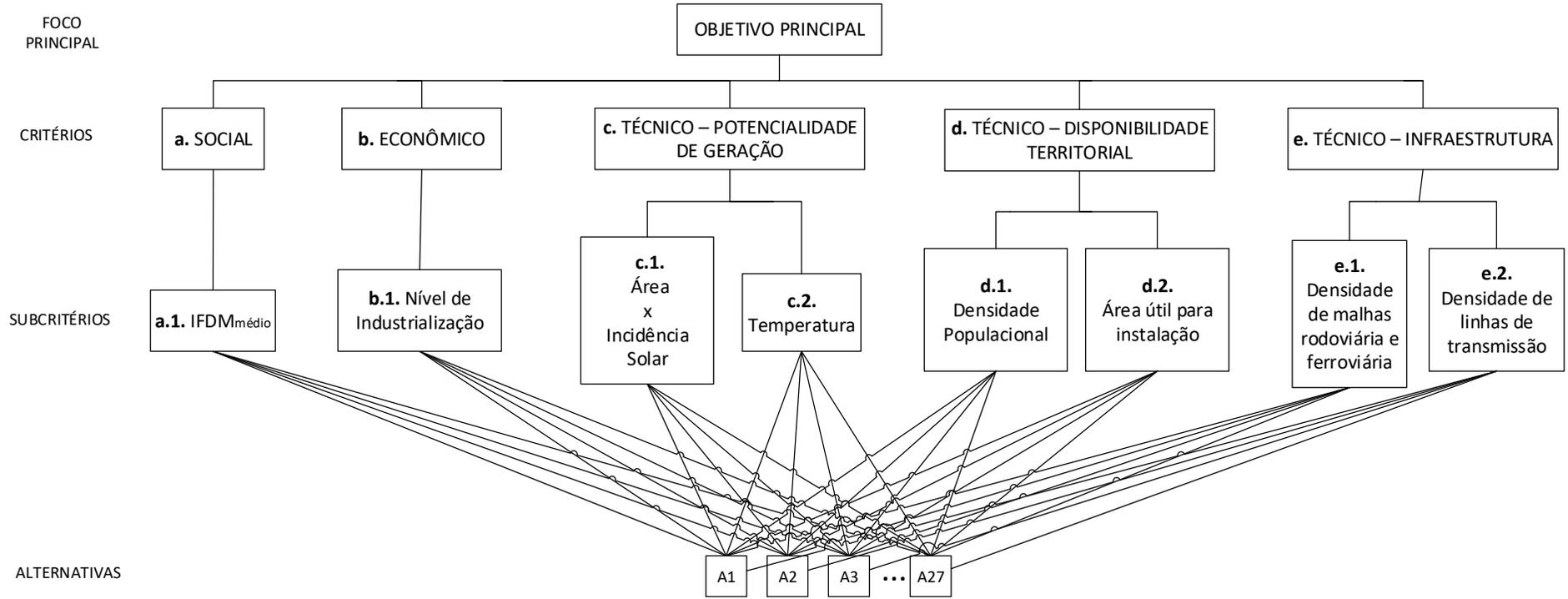
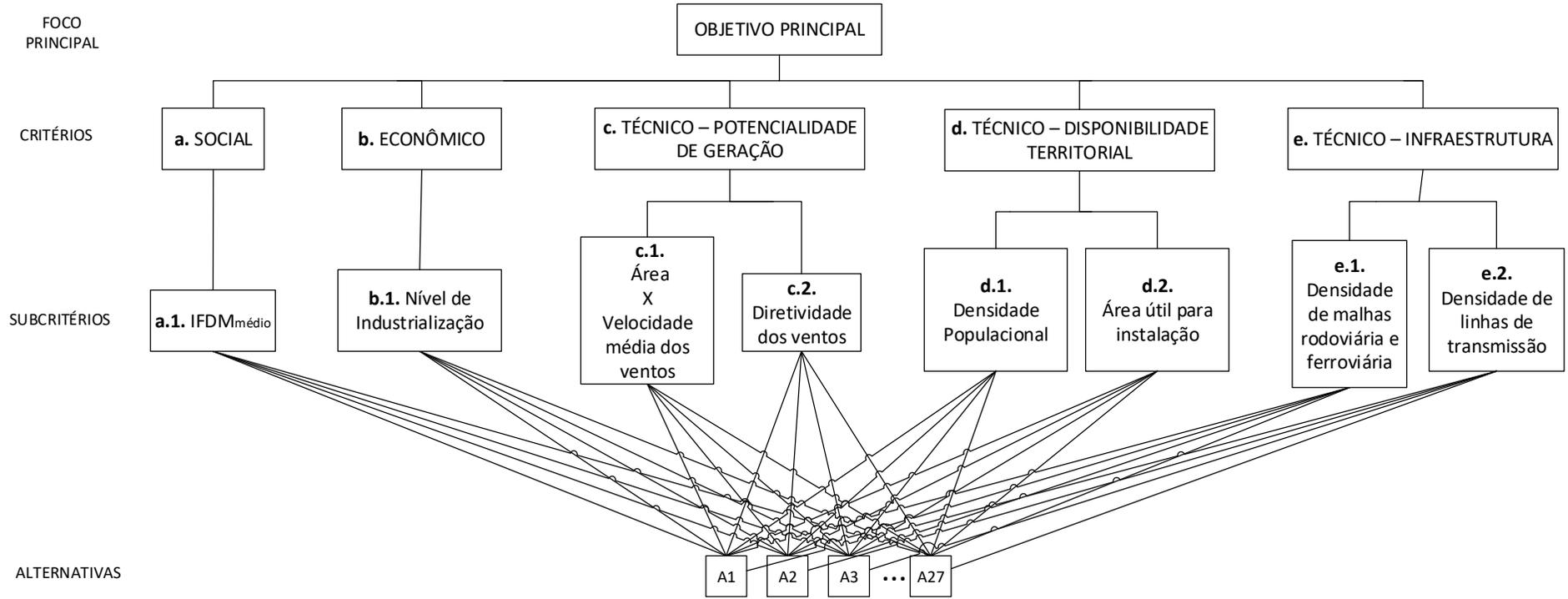


Figura 4.2 – Diagrama do método AHP aplicado – Usinas Eólicas.



Para o cálculo do Índice FIRJAN de Desenvolvimento de cada território de identidade, utilizou-se o IFDM oferecido pela FIRJAN para obtenção de um valor médio para cada região (território de identidade), por meio de uma média aritmética ponderada, conforme apresentado pela equação (4.1).

$$IFDM_{mT_n} = \frac{IFDM_{1T_n} p_{1T_n} + IFDM_{2T_n} p_{2T_n} + \dots + IFDM_{N_nT_n} p_{N_nT_n}}{p_{T_n}} \quad (4.1)$$

Em que:

N_n = Número de municípios de um território T_n (com $n = 1, 2, \dots, 27$).

$IFDM_{1T_n}, IFDM_{2T_n}, \dots, IFDM_{N_nT_n}$ = IFDM dos municípios pertencentes ao território

T_n ;

$p_{1T_n}, p_{2T_n}, \dots, p_{N_nT_n}$ = Populações dos municípios do território T_n ;

$p_{T_n} = p_{1T_n} + p_{2T_n} + \dots + p_{N_nT_n}$ = População total do território T_n .

No grupo de critério econômico, faz parte o subcritério **nível de industrialização (N.I.)**. Para conhecimento do nível de industrialização de uma região (território de identidade), foi utilizado um índice que mede a relação do PIB Industrial com o PIB Total de cada território, conforme equação (4.2).

$$N.I.T_n (\%) = \frac{PIB_{INDT_n}}{PIB_{TOTALT_n}} \times 100\% \quad (4.2)$$

Para **usinas solares**, no grupo de **critérios técnicos do ponto de vista de potencialidade de geração**, existem dois subcritérios que são **incidência solar global horizontal média anual** (kwh/m²) e a **temperatura** (itens **c.1** e **c.2** da Figura 4.1), que são, segundo LYNN et al. (2013), os principais fatores que afetam a eficiência de conversão da energia solar em eletricidade. Foi escolhida a **radiação solar global horizontal**, pois a EPE (2013) afirma ser a de maior interesse para aproveitamento fotovoltaico.

O cálculo de temperatura média é apresentado pela equação (4.3).

$$\bar{\theta}_{T_n} = \frac{\theta_{1T_n} A_{1T_n} + \theta_{2T_n} A_{2T_n} + \dots + \theta_{N_n T_n} A_{N_n T_n}}{\beta_{T_n}} \quad (4.3)$$

Em que:

$\bar{\theta}_{T_n}$ = Velocidade média de ventos do território T_n com $n = 1, 2, 3, \dots, 27$;

$A_{1T_n}, A_{2T_n}, \dots, A_{N_n T_n}$ = Áreas selecionadas do território T_n ;

β_{T_n} = Área disponível (sem as unidades de conservação) do território T_n ;

Para o cálculo da incidência ou **radiação solar horizontal média anual** de cada território de identidade, foram utilizados o Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2006) e o mapa de Territórios de Identidade (SEI, 2015) como referência e o *software* AutoCAD 2016 para sobrepô-los e se obter os somatórios das áreas selecionadas dos territórios vezes as respectivas incidências solares médias aproximadas. A equação (4.4) mostra como foi feito o cálculo de **área x incidência solar** de cada território:

$$Pot_{T_n solar} = I_{médior_{T_n}} \cdot \beta_{T_n} = I_{médior_{T_n}} (A_{T_n} - P_{T_n}) \quad (4.4)$$

Em que:

n = Número identificador dos territórios de identidade com $n = 1, 2, 3, \dots, N_n$, sendo que, no presente trabalho, $N_n = 27$;

$I_{médior_{T_n}}$ = Incidência solar horizontal média do território T_n , desconsiderando unidades de conservação (U.C.);

β_{T_n} = Área disponível do território T_n ;

A_{T_n} = Área do território T_n ;

P_{T_n} = Área total das unidades de conservação do território T_n ;

Para **usinas eólicas**, no grupo de **critérios técnicos do ponto de vista de potencialidade de geração**, estão os subcritérios velocidade média anual dos ventos (m/s) para altura de 150 metros e diretividade dos ventos (itens **d.1** e **d.2** da Figura 4.1 e da Figura 4.2). A diretividade dos ventos foi a métrica utilizada para

medir a uniformidade da direção dos ventos, sendo que, quanto mais os ventos de uma determinada região apontam para uma direção, maior é a sua diretividade.

Para o cálculo de **área x velocidade média anual dos ventos para altura de 150 m** para cada território de identidade, foram utilizados o Atlas Eólico da Bahia (CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS et al., 2013) e o mapa de Territórios de Identidade (SEI, 2015) como referência e o *software* AutoCAD 2016 para obtenção da média ponderada de incidência solar aproximada de cada região escolhida (território de identidade), conforme equação (4.5):

$$\sum_{i=1}^{N_n} V_i \cdot A_{i_{T_n}} = V_{1_{T_n}} A_{1_{T_n}} + V_{2_{T_n}} A_{2_{T_n}} + \dots + V_{N_{nT_n}} A_{N_{nT_n}} \quad (4.5)$$

Em que:

V_{T_n} = Velocidade média dos ventos do território T_n com $n = 1,2,3, \dots, 27$;

$A_{1_{T_n}}, A_{2_{T_n}}, \dots, A_{N_{nT_n}}$ = Áreas selecionadas do território T_n ;

$V_{1_{T_n}}, V_{2_{T_n}}, \dots, V_{N_{nT_n}}$ = Incidência solar das respectivas áreas do território T_n ;

$A_{T_n} = A_{1_{T_n}} + A_{2_{T_n}} + \dots + A_{N_{nT_n}}$ = Área total do território de identidade T_n .

Vale ressaltar que nem toda área dentro de cada território vai ser selecionada para os cálculos. Áreas de unidades de conservação (UC), por exemplo, não serão consideradas como área disponível (em que se pode instalar usina eólica ou solar), conforme vai ser explicado com mais detalhes na sequência, quando for tratado do subcritério **área útil para instalação de usinas**.

É importante considerar também, como será visto no capítulo 6 de resultados, que foram realizados estudos de casos específicos para determinadas faixas de velocidades (ventos maiores ou iguais a 7 m/s - **seções 6.2 e 6.4** e ventos maiores ou iguais a 5,5 m/s e menores ou iguais a 6,5 m/s – **seções 6.3 e 6.5**). Mais detalhes podem ser observados nas seções citadas.

Para o cálculo da **diretividade dos ventos**, necessitou-se do AutoCAD e do mapa Rosa de Ventos (frequências x direções) presente em CAMARGO SCHUBERT

ENGENHEIROS ASSOCIADOS *et al.* (2013), utilizando-se para o cálculo a equação (4.6).

$$\alpha_{yT_n} = \frac{D_{max}}{D_{yT_n}} \cdot \frac{p_1 \cdot D_{y_1} + p_2 \cdot D_{y_2} + p_3 \cdot D_{y_3} + p_4 \cdot D_{y_4} + p_5 \cdot D_{y_5} + p_6 \cdot D_{y_6}}{D_{yT_n}} \quad (4.6)$$

Em que:

α_{yT_n} = Diretividade da rosa dos ventos y com $y = 1, 2, 3 \dots N$ do território T_n ;

D_{max} = Número de direções máximas para as rosas dos ventos;

D_{yT_n} = Número de direções da rosa dos ventos y com $y = 1, 2, 3 \dots N$ do território T_n ;

D_{y_1} = Número de direções da rosa dos ventos y com frequência $D_1 \leq 10\%$;

D_{y_2} = Número de direções da rosa dos ventos y com frequência $10\% < D_2 \leq 20\%$;

D_{y_3} = Número de direções da rosa dos ventos y com frequência $20\% < D_3 \leq 30\%$;

D_{y_4} = Número de direções da rosa dos ventos y com frequência $30\% < D_4 \leq 40\%$;

D_{y_5} = Número de direções da rosa dos ventos y com frequência $40\% < D_5 \leq 50\%$;

D_{y_6} = Número de direções da rosa dos ventos y com frequência $D_6 > 50\%$;

p_1 = Peso para a quantidade de direções com frequência $D_1 \leq 10\%$;

p_2 = Peso para a quantidade de direções com frequência $10\% < D_2 \leq 20\%$;

p_3 = Peso para a quantidade de direções com frequência $20\% < D_3 \leq 30\%$;

p_4 = Peso para a quantidade de direções com frequência $30\% < D_4 \leq 40\%$;

p_5 = Peso para a quantidade de direções com frequência $40\% < D_5 \leq 50\%$;

p_6 = Peso para a quantidade de direções com frequência $D_6 > 50\%$;

Os pesos utilizados para esse trabalho foram: $p_1 = 1$; $p_2 = 10$; $p_3 = 100$; $p_4 = 1.000$; $p_5 = 10.000$; $p_6 = 100.000$.

Após o cálculo da diretividade de cada uma Rosa dos Ventos de um território T_n , é feita uma média com todas as rosas dos ventos pertencentes ao território em questão.

Vale ressaltar que o subcritério **diretividade dos ventos** foi utilizado apenas para os resultados com turbinas eólicas de eixo horizontal (seções 6.2, 6.3, 6.4 e 6.5),

sendo excluído na análise de turbinas de eixo vertical, considerando-se com pouca ou nenhuma relevância para essa situação.

No caso de **usinas eólicas e solares**, no grupo de **critérios técnicos do ponto de vista de disponibilidade territorial**, estão os subcritérios **densidade populacional** e **área útil relativa** (sem unidades de conservação), itens d.1 e d.2 da Figura 4.1 e da Figura 4.2.

No que se refere à densidade populacional, as usinas eólicas e solares devem ser preferencialmente instaladas em lugares com baixa densidade populacional, ou seja, alto índice de área por habitante, pois é melhor sob o ponto de vista técnico, já que há maior flexibilidade para seleção do melhor local de alocação dos equipamentos e tem menor impacto no convívio/relações sociais. Por isso, foi utilizado **área por habitante** (inverso da densidade populacional) como dado de entrada do algoritmo AHP em vez de densidade populacional.

A **área por habitante (km²/hab)** é obtida por meio de informações fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2016) e pela SEI (2015). O IBGE oferece os dados populacionais e áreas de todos os municípios do estado da Bahia e a SEI disponibiliza a relação de municípios pertencentes a cada um dos territórios de identidade. Com isso, calcula-se, a **área por habitante (km²/hab)** conforme equação (4.7):

$$d_{pT_n} = \frac{A_{T_n}}{p_{1T_n} + p_{2T_n} + \dots + p_{N_{nT_n}}} \quad (4.7)$$

Em que:

$p_{1T_n}, p_{2T_n}, \dots, p_{N_{nT_n}}$ = População dos municípios pertencentes ao território T_n .

O subcritério utilizado em que se leva em consideração o aspecto de preservação ambiental é aquele denominado **área útil para instalação de usinas**, que visa

desconsiderar as áreas de unidades de conservação (UC)⁷ como áreas úteis, conforme apresentado na equação (4.8).

$$A_{uT_n} = (\alpha_{T_n}) \cdot (\beta_{T_n}) = \left(\frac{A_{T_n} - P_{T_n}}{A_{T_n}} \right) \cdot (A_{T_n} - P_{T_n}) \quad (4.8)$$

Em que:

$\beta_{T_n} = (A_{T_n} - P_{T_n})$ = Área disponível do território T_n , com $n = 1, 2, \dots, 27$. Diferença entre a área total do território T_n pela área total de preservação do referido território.

$\alpha_{T_n} = \left(\frac{A_{T_n} - P_{T_n}}{A_{T_n}} \right)$ = Área disponível relativa do território T_n . Relação entre área disponível pela área total do território T_n , com $n = 1, 2, \dots, 27$.

P_{T_n} = Área total de unidades de conservação do território T_n , com $n = 1, 2, \dots, 27$, incluindo áreas de rotas de pássaros, para o caso de usinas eólicas.

A_{T_n} = Área do território T_n com $n = 1, 2, \dots, 27$;

A área disponível, denominada neste trabalho, é a diferença entre a área total do território (A_{T_n}) e a área total de todas as unidades conservação (UC) pertencentes a este território (P_{T_n}). Vale ressaltar que a área útil aqui definida não é sinônimo de área própria para implantação das usinas, pois grandes regiões é que são avaliadas, sendo necessário estudo posterior para identificação do local mais adequado para projeto e construção da usina. Saliente-se também que a área útil não leva em consideração regiões que estão povoados ou habitadas. Para contemplar de alguma forma essa questão, utilizou-se a métrica **área por habitante (km²/hab)**, apresentada pela equação (4.8).

Cabe ainda ressaltar que a **área disponível** ($\beta_{T_n} = A_{T_n} - P_{T_n}$) rejeitaria somente as áreas de unidade de conservação dos territórios, não excluindo áreas no entorno das UC. Sabe-se, no entanto que, pelo artigo 2º, inciso XVIII da Lei do SNUC (Lei nº 9.985/2000), a implantação de um empreendimento precisa levar em

⁷ “Unidade de conservação (UC) é a denominação dada pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) (Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000) às áreas naturais passíveis de proteção por suas características especiais” (OECD, 2013)

consideração uma área chamada de **Zona de Amortecimento** (ZA, também conhecida como “Zona Tampão”) (OEKO, 2014), que é uma área localizada no “entorno de uma unidade de conservação, onde as atividades humanas estão sujeitas a normas e restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre a unidade” (ALEGRE, [s.d.] apud Lei Federal nº 9.985/2000). Desse modo, o subcritério **área útil para instalação de usinas** utiliza um fator depreciativo (α_{T_n}), que minimiza a área disponível absoluta ($\beta_{T_n} = A_{T_n} - P_{T_n}$) do território.

Sendo assim, um território com **área disponível** maior do que outro não significa que terá uma **área útil** maior, pois se este possuir uma área total de unidade de conservação muito grande, isso poderá impactar em sua **área útil**. Tomando-se como exemplo um território com 2000 km² e 40% de área total de unidade de conservação, utilizando a equação (4.8), esse território terá uma área útil de 720 km², enquanto que um território com 1000 km² (metade da área anterior) e 10% de área de UC possuirá 810 km², possuindo uma área útil maior do que o primeiro território.

É importante ressaltar que, no presente trabalho, a abordagem utilizada serve como estudo preliminar para identificar territórios de identidade de maior interesse, hierarquizadas pelo algoritmo AHP, para o caso de usinas eólicas e solares fotovoltaicas. Para outras formas de geração diferentes da fotovoltaica e eólica, outros critérios devem ser avaliados.

No caso de usinas solares, as áreas de preservação ambiental consideradas foram todas as unidades de conservação (UC) que o território de identidade possui. No caso de parques eólicos, além de ter se levado em consideração todas UC existentes, foi incluída no cálculo da área de preservação a área onde aves migratórias costumam passar (rotas de pássaros), mesmo que sazonalmente durante o ano. Portanto, para o cálculo **área útil para instalação de usinas**, foram utilizados o mapa de Território de Identidade, disponibilizado pela SEI (2015), o mapa de unidades de conservação, retirado de CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS et al. (2013) e o mapa de rota de pássaros (somente para usinas eólicas), extraído de OLIVEIRA et al. (2014).

Considerando-se os casos de usinas solar fotovoltaica e eólica, no grupo critério técnico sob o ponto de vista de infraestrutura, tem-se os subcritérios **densidade de malhas rodoviária e ferroviária e densidade de linhas de transmissão**, cujas métricas foram adquiridas por meio de densidade de comprimento por área. Presume-se que quanto maior a aproximação das usinas às malhas rodoviária e ferroviária, melhor em termos de facilidade de transporte de estruturas e equipamentos a serem instalados nas usinas durante a fase de montagem, principalmente no caso de usinas eólicas, que possuem equipamentos de grandes dimensões (torres, pás, naceles, etc).

Para inferir a **densidade das malhas rodoviária e ferroviária e de linhas de transmissão**, de uma dada região, foram utilizados o Mapa de Infraestrutura da Bahia, disponível no Atlas Eólico da Bahia, elaborado por CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS *et al.* (2013) e o mapa de Território de Identidade, disponibilizado pela SEI (2015). O critério estabelecido para avaliação da disponibilidade das malhas rodoviária e ferroviária dos territórios de identidade foi realizado por meio de densidade, ou seja, da relação do comprimento total das rodovias e ferrovias que cruzam o território de identidade pela área deste, conforme equação (4.9). É importante ressaltar que malhas hidroviárias de transporte não foram consideradas, visto que não se encontraram informações de quais hidroviárias são navegáveis ou não. A densidade das malhas rodoviária e ferroviária é dada por:

$$d_{RF_{T_n}} = \frac{l_{R_{T_n}} + l_{F_{T_n}}}{A_{T_n}} \quad (4.9)$$

Em que:

A_{T_n} = Área do território T_n , com $n = 1, 2, \dots, 27$;

$l_{R_{T_n}}$ = Comprimento total de rodovias pavimentadas e não pavimentadas do território T_n ;

$l_{F_{T_n}}$ = Comprimento total de ferrovias do território T_n .

Para cálculo da densidade de linhas de transmissão, utilizou-se a equação (4.10):

$$d_{LT_{T_n}} = \frac{l_{T_{T_n}}}{A_{T_n}} \quad (4.10)$$

Em que:

A_{T_n} = Área do território T_n , com $n = 1, 2, \dots, 27$;

$l_{T_{T_n}}$ = Comprimento total de linhas de transmissão (construídas e planejadas) do território T_n .

Os cálculos dos subcritérios técnicos pertencentes aos itens **c.1**, **c.2**, **d.2**, **e.1**, **e.2**, conforme observado na Figura 4.1 e na Figura 4.2, foram realizados com o auxílio do *software* AutoCAD 2016, por meio da utilização de informações oriundas de diferentes mapas e com a sobreposição de dois ou mais mapas para cada um desses subcritérios, a fim de que se pudesse realizar os cálculos dos índices em questão. Vale salientar que o mapa de territórios de identidade, fornecido pela SEI (2015) foi utilizado para o cálculo dos subcritérios supracitados, com o intuito de delimitar as regiões escolhidas e calcular as áreas e as métricas de cada território, a fim de que se obtivessem os índices.

O cálculo das áreas dos territórios de identidade e outras, relativas aos subcritérios, bem como a aferição dos comprimentos das linhas de transmissão, rodovias e ferrovias, requereu cuidado e atenção, visto que, para que isso ocorresse, foi necessária a obtenção do contorno⁸ de todas as regiões de interesse (territórios de identidade, áreas de incidência solar, de ventos, dentre outras) e de todas as linhas de transmissão, rodovias e ferrovias, sendo que, para todos os casos, foram utilizados mapas diferentes (sobreposições de dois ou mais mapas) conforme citado anteriormente. Vale ressaltar que essas informações tiveram que ser encontradas via AutoCAD 2016, pois os índices a que este trabalho propõe-se encontrar, divididos por territórios de identidade, estão disponíveis em **nenhuma**

⁸ Com o contorno das regiões de interesse, podem-se calcular as áreas, assim como por meio do decalque das linhas de transmissão, rodovias e ferrovias, pode-se calcular os comprimentos, com a utilização do AutoCAD 2016

das referências pesquisadas. Desse modo, essa é mais uma contribuição da presente dissertação.

A fim de que se pudesse verificar a veracidade dos índices obtidos por meio da sobreposição de contornos de mapas existentes, foi realizada uma comparação das áreas dos territórios de identidade obtidas pelo AutoCAD 2016 com a soma das áreas de todos os municípios pertencentes a cada território identidade (o maior erro percentual foi de 6,52%), sendo que as áreas municipais são oferecidas pelo IBGE (2015), conforme pode ser observado na seção 5.2. Assim, como as áreas calculadas imagetivamente estão próximas da soma dos valores oriundos do IBGE (2015), supõe-se que o cálculo dos comprimentos das linhas de transmissão, rodovias e ferrovias estejam coerentes também. Para esses últimos não se pôde realizar comparação com algum dado existente, pois não foram encontradas referências para isso.

O erro relativo das áreas é calculado conforme equação (4.11):

$$e(\%) = \frac{A_{IBGE_{T_n}} - A_{AUTOCAD_{T_n}}}{A_{IBGE_{T_n}}} \times 100\% \quad (4.11)$$

Em que:

$A_{IBGE_{T_n}}$ = Área obtida pela soma das áreas dos municípios do território T_n com $n = 1, 2, \dots, 27$, conforme dados do IBGE (2015);

$A_{AUTOCAD_{T_n}}$ = Área do território T_n calculada imagetivamente com o *software* AutoCAD.

4.3. O ALGORITMO

No que diz respeito aos critérios, cada especialista compara paritariamente o grau de relevância dos critérios conforme escala de Saaty (Tabela 3.1), a fim de se encontrar a matriz de comparação (MC) dos critérios de cada um dos especialistas, à luz do foco principal, conforme apresentado Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Matriz de comparação dos critérios à luz do foco principal

Foco Principal (FP)	Critério Social (CS)	Critério Econômico (CE)	Critério Técnico - Potencialidade de Geração (CT _{Pot})	Critério Técnico - Infraestrutura (CT _{Inf})	Critério Técnico - Territorial (CT _{Ter})
Critério Social (CS)	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅
Critério Econômico (CE)	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄	C ₂₅
Critério Técnico - Potencialidade de Geração (CT _{Pot})	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	C ₃₄	C ₃₅
Critério Técnico - Infraestrutura (CT _{Inf})	C ₄₁	C ₄₂	C ₄₃	C ₄₄	C ₄₅
Critério Técnico - Territorial (CT _{Ter})	C ₅₁	C ₅₂	C ₅₃	C ₅₄	C ₅₅

Em que:

C_{ij} = Comparações paritárias realizadas do especialista, com $i = 1, 2, \dots, N_x$ e $j = 1, 2, \dots, N_x$, sendo N_x o número de critérios. No presente trabalho $N_x = 5$ conforme observado na Tabela 4.1.

Vale salientar que, para cada Matriz de Comparação (MC), gerada por meio das comparações paritárias de um especialista (incluindo comparações paritárias de subcritérios técnicos, conforme observado mais adiante), é obtida a razão de consistência (RC) desta, conforme equação (3.3), para averiguar se a RC é menor do que um valor tolerável. Caso exista alguma MC cuja RC seja menor do que um valor estabelecido, todas as opiniões do especialista são descartadas da amostra de entrevistados.

Para cada um dos especialistas, a partir da comparação dos critérios à luz do foco principal, é obtida o vetor prioridade média local (PML) dos critérios, conforme apresentado na equação (4.12):

$$PML_{C-FPE_n} = \begin{bmatrix} N_{CS-FPE_n} \\ N_{CE-FPE_n} \\ N_{CTPot-FPE_n} \\ N_{CTInf-FPE_n} \\ N_{CTTer-FPE_n} \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

Em que:

PML_{C-FPE_n} = Vetor prioridade média local dos critérios à luz do foco principal do especialista E_n ($n = 1, 2, \dots, N_m$);

$N_{CS-FPE_n}, N_{CE-FPE_n}, N_{CTPot-FPE_n}, N_{CTInf-FPE_n}, N_{CTTer-FPE_n}$ = Notas normalizadas de 0 a 1 dos critérios à luz do foco principal do especialista E_n ($n = 1, 2, \dots, N_m$), com $N_{CS-FPE_n} + N_{CE-FPE_n} + N_{CTPot-FPE_n} + N_{CTInf-FPE_n} + N_{CTTer-FPE_n} = 1$.

As notas normalizadas, obtidas para todos os vetores prioridades médias locais (PML) e prioridade média global (PMG) que forem aqui citadas, se referem a valores de 0 a 1 para cada elemento do vetor PML ou PMG, sendo que a soma dos elementos de um vetor PML ou PMG é igual a 1.

É pedido também ao especialista que compare paritariamente os subcritérios pertencentes a um mesmo critério, quando existir mais de um. Neste caso, somente os grupos de critério técnico (sob os pontos de vista de potencialidade de geração, infraestrutura e territorial) possuem mais de um subcritério. A Tabela 4.2, Tabela 4.3 e Tabela 4.4 apresentam a MC para os subcritérios técnicos à luz dos seus respectivos grupos de critérios técnicos, a partir das comparações paritárias feitas por um especialista qualquer.

A partir da Tabela 4.2, Tabela 4.3 e Tabela 4.4, são gerados os vetores PML dos subcritérios técnicos (SCT) à luz dos grupos de critérios técnicos - Potencialidade de Geração, Infraestrutura e Territorial - aos quais estes pertencem, conforme apresentado pelas equações (4.13) (4.14) e (4.15), respectivamente, de acordo com as comparações feitas pelo especialista.

Tabela 4.2 – Matriz de comparação dos subcritérios técnicos à luz do grupo de Critério Técnico – Potencialidade de Geração.

CRITÉRIO TÉCNICO - Potencialidade de Geração	Área x Velocidade média anual dos Ventos⁽¹⁾ / Área x Incidência Solar média anual⁽²⁾	Diretividade dos ventos⁽¹⁾ / Temperatura⁽²⁾
Área x Velocidade média anual dos Ventos⁽¹⁾ / Área x Incidência solar média anual⁽²⁾	C ₁₁	C ₁₂
Diretividade dos ventos⁽¹⁾ /Temperatura⁽²⁾	C ₂₁	C ₂₂

Notas: ⁽¹⁾Subcritério utilizado somente para usinas eólicas.

⁽²⁾Subcritério utilizado somente para usinas solares.

Tabela 4.3 – Matriz de comparação dos subcritérios técnicos à luz do Critério Técnico - Infraestrutura.

CRITÉRIO TÉCNICO - Infraestrutura	Densidades de comprimento de malhas rodoviária/ferroviária	Densidades de comprimento de linhas de transmissão
Densidades de comprimento de malhas rodoviária/ferroviária	C ₁₁	C ₁₂
Densidades de comprimento de linhas de transmissão	C ₂₁	C ₂₂

Tabela 4.4 – Matriz de comparação dos subcritérios técnicos à luz do Critério Técnico – Territorial.

CRITÉRIO TÉCNICO - Territorial	Densidade Populacional	Área útil para instalação de usinas
Densidade Populacional	C ₁₁	C ₁₂
Área útil para instalação de usinas	C ₂₁	C ₂₂

$$PML_{SCT-CT-Pot_{E_n}} = \begin{bmatrix} N_{SCT_1-CT-Pot_{E_n}} \\ N_{SCT_2-CT-Pot_{E_n}} \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

$$PML_{SCT-CT-Inf_{E_n}} = \begin{bmatrix} N_{SCT_1-CT-Inf_{E_n}} \\ N_{SCT_2-CT-Inf_{E_n}} \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

$$PML_{SCT-CT-Ter_{E_n}} = \begin{bmatrix} N_{SCT_1-CT-Ter_{E_n}} \\ N_{SCT_2-CT-Ter_{E_n}} \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

Em que:

$PML_{SCT-CT-Pot_{E_n}}$ = Vetor prioridade média local dos subcritérios técnicos à luz do grupo de critério técnico de potencialidade de geração do especialista E_n ($n = 1, 2, \dots, N_m$);

$PML_{SCT-CT-Inf_{E_n}}$ = Vetor prioridade média local dos subcritérios técnicos à luz do grupo de critério técnico de infraestrutura do especialista E_n ($n = 1, 2, \dots, N_m$);

$PML_{SCT-CT-Ter_{E_n}}$ = Vetor prioridade média local dos subcritérios técnicos à luz do grupo de critério técnico do ponto de vista territorial, do especialista E_n ($n = 1, 2, \dots, N_m$);

$N_{SCT_1-CT-Pot_{E_n}}, N_{SCT_2-CT-Pot_{E_n}}$ = Notas normalizadas de 0 a 1 dos subcritérios técnicos à luz do grupo de potencialidade de geração;

$N_{SCT_1-CT-Inf_{E_n}}, N_{SCT_2-CT-Inf_{E_n}}$ = Notas normalizadas de 0 a 1 dos subcritérios técnicos à luz do grupo de infraestrutura;

$N_{SCT_1-CT-Ter_{E_n}}, N_{SCT_2-CT-Ter_{E_n}}$ = Notas normalizadas de 0 a 1 dos subcritérios técnicos à luz do grupo territorial;

Para critério que possui apenas um subcritério (caso dos critérios social, econômico e ambiental), o especialista não necessita realizar comparação, pois um subcritério possui igual importância a ele mesmo. Nesse caso, as PML do subcritério social à luz do grupo de critério social (PML_{SCS-CS}) e do subcritério econômico à luz do grupo de critério econômico (PML_{SCE-CE}) são iguais a um (1), conforme apresentado nas equações (4.16), (4.17), respectivamente:

$$PML_{SCS-CS} = 1 \quad (4.16)$$

$$PML_{SCE-CE} = 1 \quad (4.17)$$

Existem ainda as comparações paritárias das alternativas (territórios) à luz de cada um dos subcritérios. Essas por sua vez, não são realizadas por especialistas. As PML das alternativas à luz de cada um dos subcritérios são geradas por meio de informações numéricas extraídas de mapas (subcritérios técnicos) ou de dados populacionais da Bahia (subcritérios econômico e social), conforme observado no capítulo 5 desse trabalho. A Tabela 4.5 representa todas as prioridades médias locais das alternativas para cada um dos subcritérios.

Tabela 4.5 – Prioridade média local das alternativas à luz de cada subcritério

	PMLA-SCS1	PMLA-SCE1	PMLA-SCT1	PMLA-SCT2	PMLA-SCT3	PMLA-SCT4	PMLA-SCT5	PMLA-SCT6
A1	$N_{A_1-SCS_1}$	$N_{A_1-SCE_1}$	$N_{A_1-SCT_1}$	$N_{A_1-SCT_2}$	$N_{A_1-SCT_3}$	$N_{A_1-SCT_4}$	$N_{A_1-SCT_5}$	$N_{A_1-SCT_6}$
A2	$N_{A_2-SCS_1}$	$N_{A_2-SCE_1}$	$N_{A_2-SCT_1}$	$N_{A_2-SCT_2}$	$N_{A_2-SCT_3}$	$N_{A_2-SCT_4}$	$N_{A_2-SCT_5}$	$N_{A_2-SCT_6}$
A3	$N_{A_3-SCS_1}$	$N_{A_3-SCE_1}$	$N_{A_3-SCT_1}$	$N_{A_3-SCT_2}$	$N_{A_3-SCT_3}$	$N_{A_3-SCT_4}$	$N_{A_3-SCT_5}$	$N_{A_3-SCT_6}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A27	$N_{A_{27}-SCS_1}$	$N_{A_{27}-SCE_1}$	$N_{A_{27}-SCT_1}$	$N_{A_{27}-SCT_2}$	$N_{A_{27}-SCT_3}$	$N_{A_{27}-SCT_4}$	$N_{A_{27}-SCT_5}$	$N_{A_{27}-SCT_6}$

Em que:

$N_{A_1-SCS_1}, N_{A_2-SCS_1}, \dots, N_{A_{27}-SCS_1}$ = Notas normalizadas de 0 a 1 das alternativas (regiões) em relação ao subcritério social;

$N_{A_1-SCE_1}, N_{A_2-SCE_1}, \dots, N_{A_{27}-SCE_1}$ = Notas normalizadas de 0 a 1 das alternativas (regiões) em relação ao subcritério econômico;

$N_{A_1-SCT_{n_1}}, N_{A_2-SCT_{n_1}}, \dots, N_{A_{27}-SCT_{n_1}}$ = Notas normalizadas de 0 a 1 das alternativas (regiões) em relação aos subcritérios critérios técnicos com $n_1 = 1, 2, 3, 4, 5, 6$;

Depois de calculado o vetor PML das alternativas à luz dos subcritérios e o vetor PML dos subcritérios em relação aos critérios, é necessário calcular o vetor PML das alternativas à luz dos grupos de critérios. A prioridade média local das alternativas à luz do critério social (CS) do especialista E_n ($n = 1, 2, \dots, N_m$) é calculada conforme equação (4.18):

$$PML_{A-CS_{E_n}} = PML_{A-SCS_1} \times PML_{SCS-} = \begin{bmatrix} N_{A_1-CS_{E_n}} \\ N_{A_2-CS_{E_n}} \\ N_{A_3-CS_{E_n}} \\ \vdots \\ N_{A_{27}-CS_{E_n}} \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

Neste caso, como o vetor $PML_{SCS-CS} = 1$ (pois existe apenas um subcritério), a prioridade média local das alternativas à luz do critério social (vetor $PML_{A-CS_{E_n}}$) é igual à prioridade média local das alternativas à luz do subcritério social (vetor PML_{A-SCS_1}) e, neste caso, o vetor $PML_{A-CS_{E_n}}$ vai ser igual para todos os especialistas, pois depende apenas do subcritério social escolhido (IFDM médio, neste caso) para as alternativas (territórios), não dependendo de opiniões de especialistas.

A prioridade média local das alternativas à luz do grupo de critério econômico (CE) do especialista E_n ($n = 1, 2, \dots, N_m$) é calculada conforme equação (4.19).

$$PML_{A-CE_{E_n}} = PML_{A-SCE_1} \times PML_{SCE-CE} = \begin{bmatrix} N_{A_1-CE_{E_n}} \\ N_{A_2-CE_{E_n}} \\ N_{A_3-CE_{E_n}} \\ \vdots \\ N_{A_{27}-CE_{E_n}} \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

Como $PML_{SCE-CE} = 1$ (pois existe apenas um subcritério pertencente ao grupo de critério econômico), então $PML_{A-CE_{E_n}} = PML_{A-SCE_1}$. Sabendo-se que PML_{A-SCE_1} depende somente do indicador econômico escolhido, ficando isento de opiniões de especialistas, $PML_{A-CE_{E_n}}$ vai ser o mesmo para todos os entrevistados.

A prioridade média local das alternativas à luz dos grupos de critérios técnicos (CT) do ponto de vista de potencialidade de geração, infraestrutura e territorial do especialista E_n ($n = 1, 2, \dots, N_m$) são calculadas conforme equações (4.20), (4.21) e (4.22), respectivamente:

$$\begin{array}{|c|} \hline \mathbf{PML}_{A-CT-PotE_n} \\ \hline N_{A_1-CT-PotE_n} \\ \hline N_{A_2-CT-PotE_n} \\ \hline \vdots \\ \hline N_{A_{27}-CT-PotE_n} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|} \hline \mathbf{PML}_{A-SCT1} & \mathbf{PML}_{A-SCT2} \\ \hline N_{A_1-SCT1} & N_{A_1-SCT2} \\ \hline N_{A_2-SCT1} & N_{A_2-SCT2} \\ \hline \vdots & \vdots \\ \hline N_{A_{27}-SCT1} & N_{A_{27}-SCT2} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \mathbf{PML}_{SCT-CT-PotE_n} \\ \hline N_{SCT1-CT-PotE_n} \\ \hline N_{SCT2-CT-PotE_n} \\ \hline \end{array} \quad (4.20)$$

$$\begin{array}{|c|} \hline \mathbf{PML}_{A-CT-InfE_n} \\ \hline N_{A_1-CT-InfE_n} \\ \hline N_{A_2-CT-InfE_n} \\ \hline \vdots \\ \hline N_{A_{27}-CT-InfE_n} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|} \hline \mathbf{PML}_{A-SCT3} & \mathbf{PML}_{A-SCT4} \\ \hline N_{A_1-SCT3} & N_{A_1-SCT4} \\ \hline N_{A_2-SCT3} & N_{A_2-SCT4} \\ \hline \vdots & \vdots \\ \hline N_{A_{27}-SCT3} & N_{A_{27}-SCT4} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \mathbf{PML}_{SCT-CT-InfE_n} \\ \hline N_{SCT3-CT-InfE_n} \\ \hline N_{SCT4-CT-InfE_n} \\ \hline \end{array} \quad (4.21)$$

$$\begin{array}{|c|} \hline \mathbf{PML}_{A-CT-TerE_n} \\ \hline N_{A_1-CT-TerE_n} \\ \hline N_{A_2-CT-TerE_n} \\ \hline \vdots \\ \hline N_{A_{27}-CT-TerE_n} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|} \hline \mathbf{PML}_{A-SCT5} & \mathbf{PML}_{A-SCT6} \\ \hline N_{A_1-SCT5} & N_{A_1-SCT6} \\ \hline N_{A_2-SCT5} & N_{A_2-SCT6} \\ \hline \vdots & \vdots \\ \hline N_{A_{27}-SCT5} & N_{A_{27}-SCT6} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \mathbf{PML}_{SCT-CT-TerE_n} \\ \hline N_{SCT5-CT-TerE_n} \\ \hline N_{SCT6-CT-TerE_n} \\ \hline \end{array} \quad (4.22)$$

Com as prioridades médias locais das alternativas à luz dos grupos de critérios (PML_{A-CSE_n} , PML_{A-CEE_n} , $PML_{A-CT-PotE_n}$, $PML_{A-CT-InfE_n}$, $PML_{A-CT-TerE_n}$) calculadas e com a prioridade média local dos critérios à luz do foco principal também encontrada de cada um dos especialistas, PML_{C-FPE_n} – equação (4.12), pode-se encontrar a prioridade média global $PMGE_n$ para o especialista E_n ($n = 1, 2, \dots, N_m$), conforme equação (4.23):

PMG_{E_n}	PML_{A-CS}_{E_n}	PML_{A-CE}_{E_n}	PML_{A-CT-Pot}_{E_n}	PML_{A-CT-Inf}_{E_n}	PML_{A-CT-Ter}_{E_n}	PML_{C-FP}_{E_n}
$N_{A_1 E_n}$	$N_{A_1-CS E_n}$	$N_{A_1-CE E_n}$	$N_{A_1-CT-Pot E_n}$	$N_{A_1-CT-Inf E_n}$	$N_{A_1-CT-Ter E_n}$	$N_{CS-FP E_n}$
$N_{A_2 E_n}$	$N_{A_2-CS E_n}$	$N_{A_2-CE E_n}$	$N_{A_2-CT-Pot E_n}$	$N_{A_2-CT-Inf E_n}$	$N_{A_2-CT-Ter E_n}$	$N_{CE-FP E_n}$
$N_{A_3 E_n}$	$N_{A_3-CS E_n}$	$N_{A_3-CE E_n}$	$N_{A_3-CT-Pot E_n}$	$N_{A_3-CT-Inf E_n}$	$N_{A_3-CT-Ter E_n}$	$N_{CTPot-FP E_n}$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	$N_{CTInf-FP E_n}$
$N_{A_{27} E_n}$	$N_{A_{27}-CS E_n}$	$N_{A_{27}-CE E_n}$	$N_{A_{27}-CT-Pot E_n}$	$N_{A_{27}-CT-Inf E_n}$	$N_{A_{27}-CT-Ter E_n}$	$N_{CTTer-FP E_n}$

$$= \quad \times \quad (4.23)$$

Por último, com a prioridade média global de cada um dos especialistas obtida (PMG_{E_n}), obtém-se a prioridade média global (PMG), que representa a opinião dada por todos, por meio da média geométrica⁹ apresentada pela equação (4.24).

$$PMG_i = \sqrt[N_m]{PMG_{i_{E_1}} \times PMG_{i_{E_2}} \times \dots \times PMG_{i_{E_{N_m}}}} = [N_{A_i}] \quad (4.24)$$

Em que:

i = Índice que representa a linha do vetor prioridade média global (PMG), com $i = 1, 2, \dots, 27$.

N_{A_i} = Nota normalizada de 0 a 1 do território de identidade na posição i , sendo

$$N_{A_1} + N_{A_2} + \dots + N_{A_{27}} = 1;$$

N_m = Número de entrevistados.

Como percebeu-se, por meio do algoritmo computacional, que $N_{A_1}, N_{A_2}, \dots, N_{A_{27}}$ são valores pequenos e as notas normalizadas de algumas regiões podem ser próximas uma da outra, necessitando, em alguns casos, de quatro casas decimais para diferenciá-las, decidiu-se normalizar os elementos do PMG de 0 a 100, reduzindo o número de casas decimais e facilitando a visualização das regiões mais prioritárias, conforme apresentado pela equação (4.25):

⁹ A média geométrica é normalmente utilizada ao invés da média aritmética, conforme recomendações feitas pelo autor do método AHP (SAATY, 2008).

$$PMG_{100} = \frac{PMG}{N_{A_N}} \times 100 = \begin{bmatrix} N_{100A_1} \\ N_{100A_2} \\ N_{100A_3} \\ \vdots \\ N_{100A_{27}} \end{bmatrix} \quad (4.25)$$

Em que:

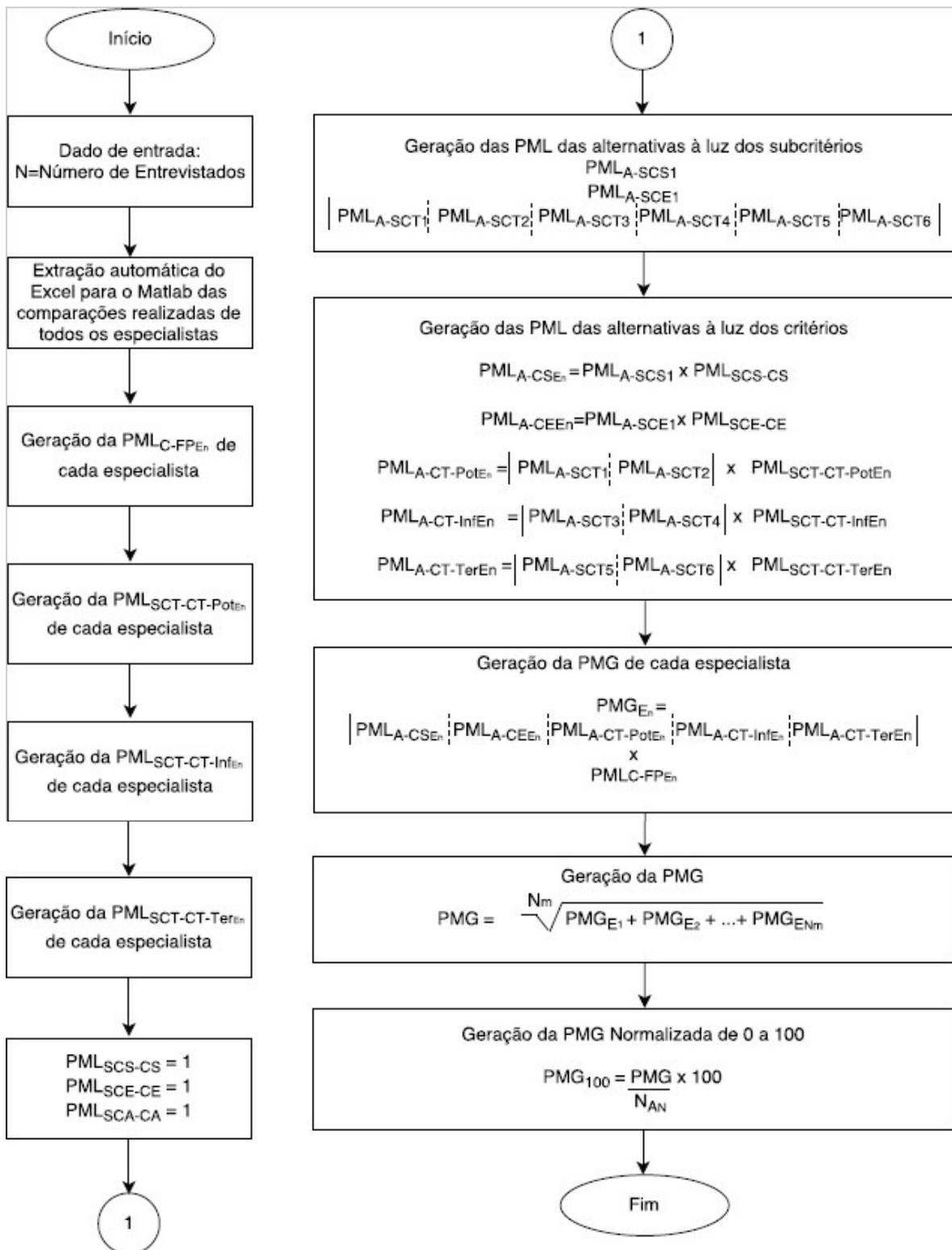
N_{A_N} = Elemento de maior magnitude da PMG da equação (4.24);

$N_{100A_1}, N_{100A_2}, \dots, N_{100A_{27}}$ = Notas normalizadas de 0 a 100 dos territórios de identidade;

$$N_{100A_1} + N_{100A_2} + \dots + N_{100A_{27}} = 100.$$

A Figura 4.3 resume a lógica do programa que foi elaborado.

Figura 4.3 – Fluxograma do Algoritmo Elaborado.



Fonte: Própria

4.4. RESUMO DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou a metodologia empregada para a hierarquização de regiões do estado da Bahia para implantação de usinas eólicas e solares, utilizando o método AHP. Inicialmente, foram apresentados os critérios e subcritérios escolhidos e discorridos sobre eles. Foram comentados também os 27 territórios escolhidos para avaliação, deixando a seção 5.2 responsável por apresentá-las com mais detalhes, exprimindo quais os nomes destas. Por último, foi dissertado sobre o algoritmo, expondo a lógica envolvida e os passos para sua elaboração.

Vale ressaltar que a metodologia que foi apresentada neste capítulo pode ser empregada para estudos estratégicos de países, considerando os estados ou províncias como regiões de interesse, ou de continentes, levando-se em consideração os países como territórios a serem avaliados. Ou seja, a metodologia proposta pode ser utilizada em escalas menores ou maiores, do ponto de vista de dimensão territorial, a depender do objeto de estudo.

CAPÍTULO V

5. DADOS DA BAHIA

5.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo são abordadas as informações estatísticas e os dados relevantes da Bahia que serão entrada para o teste do algoritmo construído com a ferramenta computacional MATLAB R2015A (vide apêndice B), a fim de que se possa hierarquizar os territórios de identidade do estado baiano com base nos critérios e subcritérios estabelecidos, assim como nas opiniões realizadas pelos especialistas.

5.2. TERRITÓRIOS DE IDENTIDADE

Segundo a Secretaria de Planejamento do Governo da Bahia (SEPLAN-BA), o território de identidade é conceituado como:

Espaço físico, geograficamente definido, geralmente contínuo, caracterizado por critérios multidimensionais, tais como o ambiente, a economia, a sociedade, a cultura, a política e as instituições, e uma população com grupos sociais relativamente distintos, que se relacionam interna e externamente por meio de processos específicos, onde se pode distinguir um ou mais elementos que indicam identidade, coesão social, cultural e territorial.

Nesse contexto, o Governo do Estado da Bahia passou a reconhecer, em 2010, como divisão territorial oficial 27 territórios de identidade para planejamento das políticas públicas do estado, constituídos a partir da especificidade de cada região (SEPLAN, [s.d.]

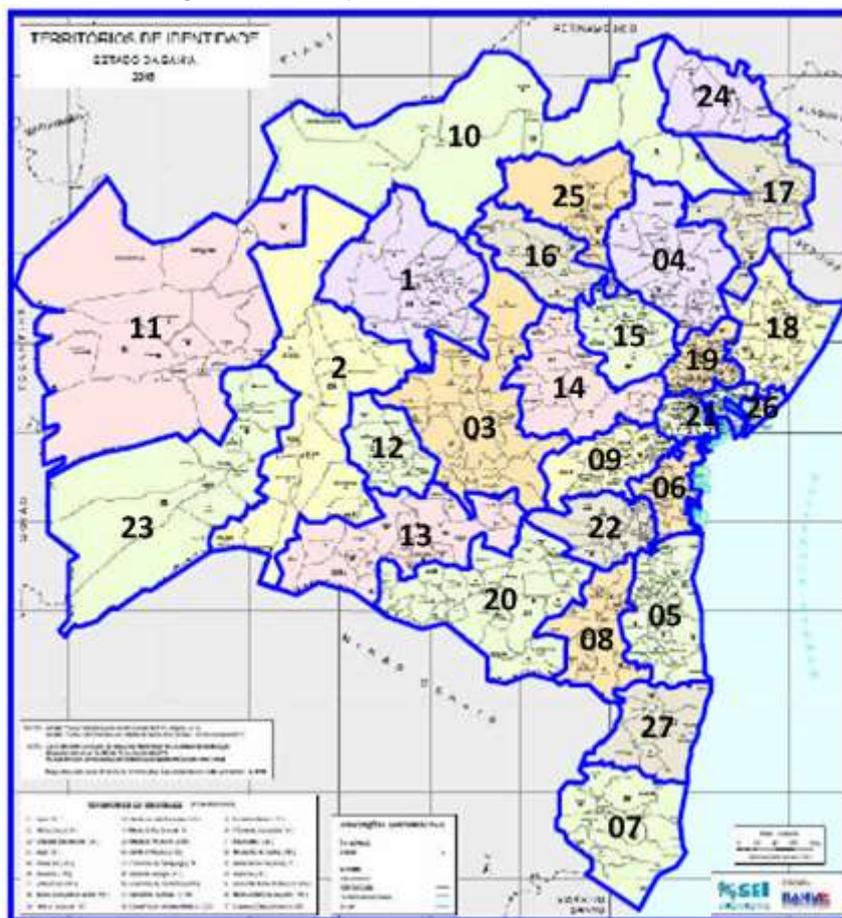
A seguir, são listados os territórios de identidade de acordo com a SEPLAN-BA e na sequência enumerada em que cada um deles é apresentado na Tabela 5.1 com suas respectivas posições geográficas mostradas no mapa da Figura 5.1.

Tabela 5.1 – Territórios de Identidade.

Número	Território de Identidade
1	Irecê
2	Velho Chico
3	Chapada Diamantina
4	Sisal
5	Litoral Sul
6	Baixo Sul
7	Extremo Sul
8	Médio Sudoeste da Bahia
9	Vale do Jiquiriçá
10	Sertão do São Francisco
11	Bacia do Rio Grande
12	Bacia do Paramirim
13	Sertão Produtivo
14	Piemonte do Paraguaçu
15	Bacia do Jacuípe
16	Piemonte da Diamantina
17	Semiário Nordeste II
18	Litoral Norte e Agreste Baiano
19	Portal do Sertão
20	Sudoeste Baiano ou Vitória da Conquista
21	Recôncavo
22	Médio Rio de Contas
23	Bacia do Rio Corrente
24	Itaparica
25	Piemonte Norte do Itapicurú
26	Região Metropolitana de Salvador
27	Costa do Descobrimento

Fonte: SEPLAN ([s.d.])

Figura 5.1 – Mapa – Territórios de Identidade.



Fonte: SEI (2015).

A Bahia possui 417 municípios, cuja classificação regional por território de identidade aos quais pertencem pode ser encontrada no site da Secretaria do Trabalho, Emprego, Renda e Esporte do governo da Bahia ou da SEI (2015).

Os contornos em azul do mapa da Figura 5.1 foram inseridos no *software* AutoCAD 2015 a fim de que se pudesse fazer a sobreposição de mapas (linhas de transmissão e territórios de identidade, por exemplo) para extrair informações oriundas destes. Esses contornos são importantes para o cálculo das áreas (em km^2), delimitação dos territórios para os cálculos dos comprimentos (em km) das linhas rodoviárias/ferroviárias (R/F) e de linhas de transmissão (LT) de cada território e, por último, cálculos das densidades (comprimento/área) de R/F e LT, conforme observado nas equações (4.9) e (4.10), respectivamente.

Saliente-se que as unidades das áreas e dos comprimentos não são relevantes para este caso em questão, pois a intenção é medir a relação entre os

comprimentos pelas áreas correspondentes (densidades). Entretanto, a fim de que se pudesse avaliar a consistência da medição realizada por meio do programa AutoCAD 2015, foram comparadas as unidades de áreas obtidas com este *software* com as áreas reais dos territórios de identidade, obtidas pela soma das áreas dos municípios, sendo essas últimas oferecidas pelo IBGE (2015). O erro percentual foi calculada conforme equação (4.11) e a Tabela 5.2 mostra as variações de áreas obtidas.

Percebe-se, pela Tabela 5.2, que os territórios em que obtiveram-se maiores discrepâncias foram os territórios de 4-Sisal e 26-Região Metropolitana de Salvador. Um dos motivos para obtenção dessa faixa de erro (um pouco acima de 5%), é devido à resolução do mapa obtido dos territórios de identidade, que, quando utilizado para o cálculo por meio do *software* AutoCAD 2015, não fica perfeitamente nítido, sendo que, para a realização dos cálculos, é necessária a realização dos contornos das áreas. Vale ressaltar que os demais territórios de identidade e a área total da Bahia estão com erros percentuais inferiores a 5%.

Tabela 5.2 – Comparação percentual entre áreas calculadas e obtidas para os territórios de identidade e da Bahia.

Número	Território de Identidade	Área (km ²) com base no IBGE (2015)	Área com base no AutoCAD 2015	Erro Percentual
1	Irecê	26.404,04	25.407,42	3,78%
2	Velho Chico	45.971,24	44.192,22	3,87%
3	Chapada Diamantina	32.760,48	31.531,98	3,75%
4	Sisal	20.292,70	18.970,13	6,52%
5	Litoral Sul	14.688,17	14.194,53	3,36%
6	Baixo Sul	8.083,11	7.659,68	5,24%
7	Extremo Sul	18.536,03	18.300,56	1,27%
8	Médio Sudoeste da Bahia	11.792,91	11.639,74	1,30%
9	Vale do Jiquiriçá	10.741,02	10.397,56	3,20%
10	Sertão do São Francisco	61.313,94	59.096,81	3,61%
11	Bacia do Rio Grande	75.814,78	73.849,83	2,59%
12	Bacia do Paramirim	8.943,07	9.072,73	-1,45%
13	Sertão Produtivo	23.595,99	23.130,03	1,97%
14	Piemonte do Paraguaçu	17.553,35	16.788,13	4,36%
15	Bacia do Jacuípe	10.726,14	10.265,41	4,30%
16	Piemonte da Diamantina	11.721,13	11.392,35	2,81%
17	Semiário Nordeste II	16.094,79	16.010,03	0,53%
18	Litoral Norte e Agreste Baiano	14.517,05	13.955,35	3,87%
19	Portal do Sertão	5.811,60	5.798,65	0,22%
20	Vitória da Conquista	27.397,75	26.961,30	1,59%
21	Recôncavo	5.268,15	5.118,10	2,84%
22	Médio Rio de Contas	9.675,85	9.277,47	4,12%
23	Bacia do Rio Corrente	45.098,55	44.673,74	0,94%
24	Itaparica	12.343,27	12.064,08	2,26%
25	Piemonte Norte do Itapicurú	14.133,05	13.541,27	4,19%
26	Região Metropolitana de Salvador	2.774,05	2.597,31	6,37%
27	Costa do Descobrimento	12.109,08	11.703,87	3,35%
ÁREA TOTAL (Km²)		564.161,29	539.930,60	4,30%

Fontes: Dados obtidos com base no IBGE (2015) e AutoCAD 2015.

5.3. CRITÉRIO SOCIAL

O Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal (IFDM) médio de cada território foi calculado conforme equação (4.1) e o resultado é apresentado na Tabela 5.3. Este é utilizado como dado de critério social.

Tabela 5.3 – IFDM médio dos territórios de identidade.

Número	Território de Identidade	IFDM Médio
1	Irecê	0,5266
2	Velho Chico	0,4917
3	Chapada Diamantina	0,5079
4	Sisal	0,4681
5	Litoral Sul	0,5353
6	Baixo Sul	0,4767
7	Extremo Sul	0,6029
8	Médio Sudoeste da Bahia	0,4888
9	Vale do Jiquiriçá	0,5051
10	Sertão do São Francisco	0,5397
11	Bacia do Rio Grande	0,6297
12	Bacia do Paramirim	0,5296
13	Sertão Produtivo	0,6212
14	Piemonte do Paraguaçu	0,4810
15	Bacia do Jacuípe	0,5006
16	Piemonte da Diamantina	0,4897
17	Semiário Nordeste II	0,5006
18	Litoral Norte e Agreste Baiano	0,5745
19	Portal do Sertão	0,6344
20	Vitória da Conquista	0,5710
21	Recôncavo	0,6083
22	Médio Rio de Contas	0,5250
23	Bacia do Rio Corrente	0,4974
24	Itaparica	0,5924
25	Piemonte Norte do Itapicurú	0,5354
26	Região Metropolitana de Salvador	0,7086
27	Costa do Descobrimento	0,6357

Fonte: Própria, com base em FIRJAN (2015).

5.4. CRITÉRIO ECONÔMICO

Para o cálculo do nível de industrialização dos territórios de identidade, que é entrada do algoritmo como critério econômico, utilizou-se a métrica relação do PIB Industrial pelo PIB

total¹⁰ de cada uma das 27 regiões escolhidas, calculado conforme equação (4.2) e são apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – PIB Industrial e PIB total dos Territórios de Identidade.

Número	Território de Identidade	PIB Industrial (R\$)	PIB Total (R\$)	Relação (PIB Industrial)/ (PIB Total)
1	Irecê	153.124,57	2.449.020,62	6,25%
2	Velho Chico	124.019,65	2.273.812,10	5,45%
3	Chapada Diamantina	195.126,44	2.446.641,88	7,98%
4	Sisal	451.809,67	3.657.011,58	12,35%
5	Litoral Sul	1.750.790,73	8.557.843,26	20,46%
6	Baixo Sul	2.163.570,75	5.614.290,79	38,54%
7	Extremo Sul	1.178.009,61	5.204.092,28	22,64%
8	Médio Sudoeste da Bahia	319.343,55	1.877.103,10	17,01%
9	Vale do Jiquiriçá	146.458,33	2.007.623,64	7,30%
10	Sertão do São Francisco	567.089,83	4.165.365,79	13,61%
11	Bacia do Rio Grande	1.255.810,76	9.701.840,81	12,94%
12	Bacia do Paramirim	37.999,38	815.563,85	4,66%
13	Sertão Produtivo	687.536,30	3.732.556,85	18,42%
14	Piemonte do Paraguaçu	168.576,01	1.899.474,68	8,87%
15	Bacia do Jacuípe	216.268,90	1.476.001,22	14,65%
16	Piemonte da Diamantina	232.733,67	1.684.090,23	13,82%
17	Semiárido Nordeste II	160.734,53	2.683.398,30	5,99%
18	Litoral Norte e Agreste Baiano	3.299.493,80	9.571.335,31	34,47%
19	Portal do Sertão	3.405.484,58	12.380.225,18	27,51%
20	Vitória da Conquista	798.737,87	6.521.015,39	12,25%
21	Recôncavo	1.500.698,92	6.038.917,24	24,85%
22	Médio Rio de Contas	584.768,26	3.290.635,53	17,77%
23	Bacia do Rio Corrente	133.533,55	2.431.748,38	5,49%
24	Itaparica	413.768,59	1.701.910,85	24,31%
25	Piemonte Norte do Itapicurú	358.602,80	1.975.403,34	18,15%
26	Região Metropolitana de Salvador	18.145.612,89	69.257.843,29	26,20%
27	Costa do Descobrimento	798.299,48	4.531.236,99	17,62%

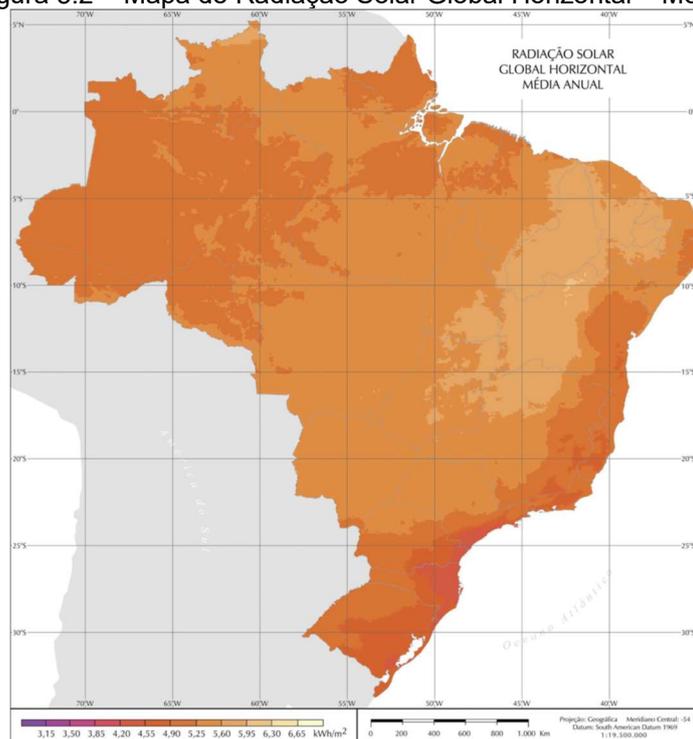
Fonte: Cálculos baseados do IBGE (2013).

¹⁰ Os valores do PIB Industrial e PIB total dos territórios foram obtidos por meio da soma dos PIB Total e Industrial de cada um dos municípios pertencentes a estes, sendo que as informações adquiridas para os cálculos foram retiradas do IBGE (2013).

5.5. ÁREA X INCIDÊNCIA SOLAR

Para obtenção da radiação¹¹ média anual horizontal (kWh/m²) do estado Bahia, foi utilizado o Atlas Brasileiro de Energia Solar de 2014, que fornece, dentre outros mapas brasileiros, o Mapa de Radiação Solar Global Horizontal – Média Anual, conforme pode ser observado na Figura 5.2.

Figura 5.2 – Mapa de Radiação Solar Global Horizontal – Média.



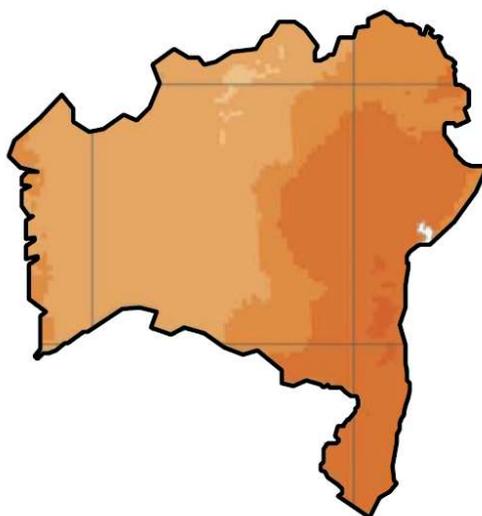
Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar de 2014.

O Atlas Brasileiro de Energia Solar de 2014 fornece também mapas de radiação solar global com médias sazonais trimestrais para os diferentes tipos de mapas de radiação oferecidos por este, a saber: radiação solar horizontal, radiação solar inclinada e radiação solar difusa. Segundo a EPE (2013), para aproveitamento fotovoltaico, a de maior interesse é a Radiação Média Global Horizontal.

¹¹ “Para fins de análise, a radiação solar que atinge a superfície terrestre pode ser decomposta em planos. No plano horizontal, a radiação global consiste na soma das componentes direta e difusa, enquanto que num plano inclinado, além das duas componentes citadas, é acrescida de uma parcela refletida na superfície e nos elementos do entorno” (EPE, 2013).

Como o Atlas Brasileiro de Energia Solar de 2014 não oferece mapas por estado, é realizado um recorte aproximado do estado baiano no Mapa de Radiação Solar Global Horizontal brasileiro (Figura 5.2) com o contorno do mapa da Figura 5.1 de Territórios de Identidade, utilizando-se ferramenta computacional AutoCAD 2015. A Figura 5.3 apresenta o mapa que foi obtido.

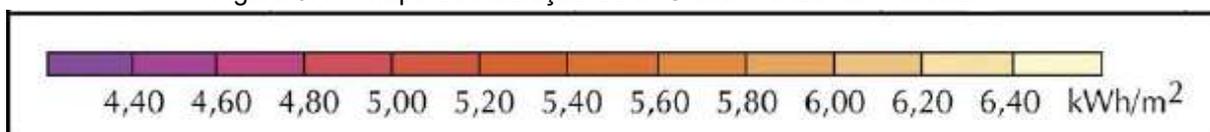
Figura 5.3 – Radiação Solar Global Horizontal – Média Anual – Recorte da Bahia no Atlas Eólico brasileiro.



Fonte: O próprio autor – Adaptado do Atlas Brasileiro de Energia Solar (2014) (PEREIRA et al., 2006).

Nos mapas do Atlas Brasileiro de Energia Solar de 2014, é apresentada uma escala de incidência solar (kWh/m^2) por cores, conforme apresentado na Figura 5.4.

Figura 5.4 – Mapa de Radiação Solar Global Horizontal – Média.



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (2014).

Por meio da escala de cores apresentada pela Figura 5.4 e do mapa da Figura 5.3, é possível calcular a energia solar incidente (radiação solar global horizontal) em cada área selecionada (excluindo as áreas de UC) em um território de identidade, sabendo-se as áreas correspondentes, conforme equação (4.4) e com o auxílio do

AutoCAD 2015, para o cálculo das áreas. A Tabela 5.5 apresenta o cálculo do indicador **Área x Incidência Solar** de cada Territórios de Identidade.

Tabela 5.5 - Incidência Média Solar Horizontal Anual dos Territórios de Identidade.

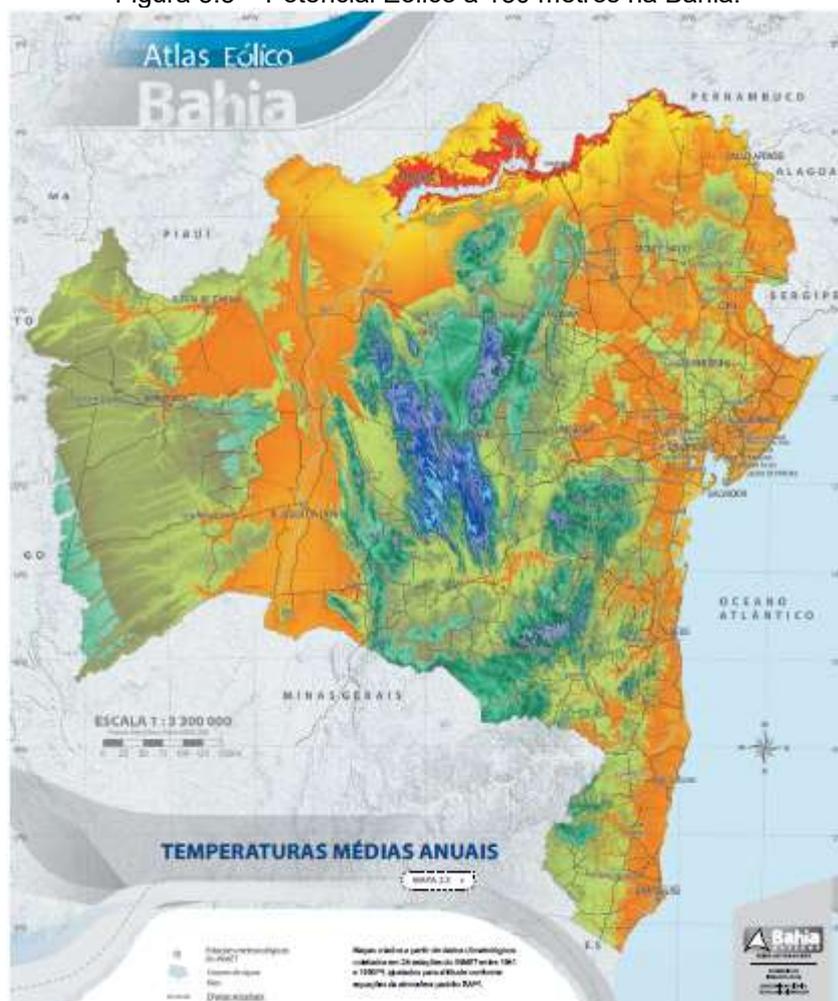
Número	Território de Identidade	Área x Incidência Solar Horizontal (em 10⁹ kWh)
1	Irecê	136,92
2	Velho Chico	218,43
3	Chapada Diamantina	55,15
4	Sisal	91,83
5	Litoral Sul	48,30
6	Baixo Sul	17,21
7	Extremo Sul	84,30
8	Médio Sudoeste da Bahia	54,28
9	Vale do Jiquiriçá	47,88
10	Sertão do São Francisco	208,80
11	Bacia do Rio Grande	324,03
12	Bacia do Paramirim	53,18
13	Sertão Produtivo	123,47
14	Piemonte do Paraguaçu	79,12
15	Bacia do Jacuípe	49,74
16	Piemonte da Diamantina	60,90
17	Semiário Nordeste II	74,48
18	Litoral Norte e Agreste Baiano	64,21
19	Portal do Sertão	27,67
20	Vitória da Conquista	144,87
21	Recôncavo	23,21
22	Médio Rio de Contas	47,19
23	Bacia do Rio Corrente	226,50
24	Itaparica	54,91
25	Piemonte Norte do Itapicurú	58,50
26	Região Metropolitana de Salvador	11,05
27	Costa do Descobrimento	52,29

Fonte: Informações baseadas do Atlas Brasileiro de Energia Solar de 2014.

5.6. MAPA DE TEMPERATURA

Nesta seção é apresentado o mapa de temperatura média anual da Bahia, na Figura 5.5, bem como as temperaturas médias obtidas nos territórios de identidade, na Tabela 5.6.

Figura 5.5 – Potencial Eólico a 150 metros na Bahia.



Fonte: Atlas Eólico da Bahia de 2013.

Os cálculos de temperatura média dos territórios de identidade são obtidos conforme equação (4.3). Entretanto, sabendo-se que a contribuição da temperatura é inversa em relação à eficiência das placas fotovoltaicas (EPE, 2012), utilizou-se o inverso da temperatura (os valores foram normalizados de 0 a 1) como dados de entrada no algoritmo AHP construído em Matlab.

Tabela 5.6 - Temperatura média dos territórios de identidade da Bahia.

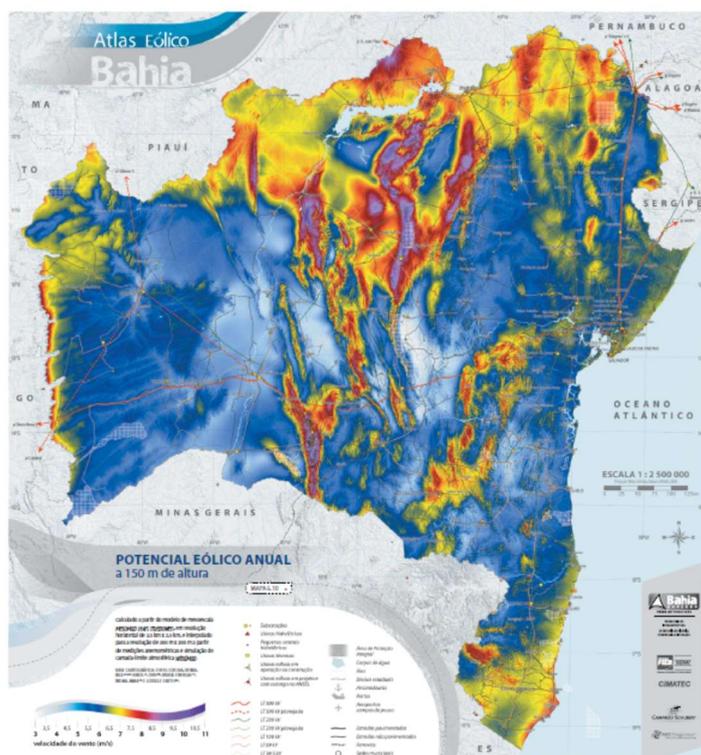
Número	Território de Identidade	Temperatura média (°C)
1	Irecê	22,0
2	Velho Chico	23,0
3	Chapa Diamantina	20,3
4	Sisal	24,4
5	Litoral Sul	23,8
6	Baixo Sul	23,5
7	Extremo Sul	23,4
8	Médio Sudoeste da Bahia	22,8
9	Vale do Jiquiriçá	21,0
10	Sertão do São Francisco	25,5
11	Bacia do Rio Grande	23,2
12	Bacia do Paramirim	21,6
13	Sertão Produtivo	23,3
14	Piemonte do Paraguaçu	23,0
15	Bacia do Jacuípe	24,1
16	Piemonte da Diamantina	22,3
17	Semiário Nordeste II	24,1
18	Litoral Norte e Agreste Baiano	24,5
19	Portal do Sertão	24,5
20	Vitória da Conquista	21,5
21	Recôncavo	24,9
22	Médio Rio de Contas	22,4
23	Bacia do Rio Corrente	23,1
24	Itaparica	25,4
25	Piemonte Norte do Itapicuru	23,5
26	Região Metropolitana de Salvador	26,0
27	Costa do Descobrimento	24,3

Fonte: Cálculos com base no Atlas Eólico da Bahia de 2013 (CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS et al., 2013).

5.7. ÁREA X VELOCIDADE EÓLICA

Para obtenção do potencial eólico médio anual do estado da Bahia, foi utilizado o Atlas Eólico da Bahia de 2013, elaborado por CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS et al. (2013) que oferece os mapas de potencial eólico brasileiro em diferentes estações do ano e também ao longo do ano. Para esse trabalho, foi utilizado o mapa de potencial eólico anual a uma altura de 150 metros, que foi a altura máxima mensurada (ver Figura 5.6). O motivo pelo qual escolheu-se essa altura ao invés de outras menores (80 m, 100 m e 120 m), é devido à tendência de instalação de torres eólicas cada vez maiores (EPE, 2013).

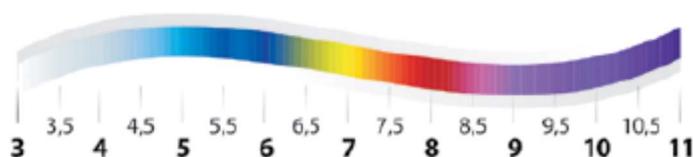
Figura 5.6 – Potencial Eólico a 150 metros na Bahia.



Fonte: Atlas Eólico da Bahia de 2013.

A Figura 5.7 apresenta a escala de cores que corresponde às velocidades médias de cada região específica do mapa da Figura 5.6.

Figura 5.7 – Escala de cores – Velocidade dos Ventos.



Fonte: Atlas Eólico da Bahia de 2013.

Como a escala de cores da Figura 5.7 possui uma gradação muito próxima de cores, de difícil identificação pelo olho humano, decidiu-se utilizá-la de forma discretizada, com identificação de cores a cada 0,5 m/s de velocidade eólica, ou seja, velocidades entre 6,5 e 7 m/s, por exemplo, deixaram de ser consideradas para o cálculo das áreas (apenas velocidades como 5,5, 6,0, 6,5 e 7,0 m/s, por exemplo, são consideradas).

Fazendo-se uso da escala de cores de velocidades de forma discretizada, utilizando-se a Figura 5.6 e com o auxílio da ferramenta computacional AutoCAD 2015, foi calculado o potencial eólico de cada território de identidade (somatório das áreas multiplicadas pelas respectivas velocidades), de acordo com a equação (4.5), para áreas com velocidade eólica média anual maiores ou iguais a 7 m/s e para aquelas com faixas de velocidades maiores ou iguais a 5,5 m/s e menores ou iguais a 6,5 m/s, conforme apresentado pela Tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Somatório das áreas (km²) multiplicadas pelas velocidades médias (m/s) das áreas – Valores divididos por 1000.

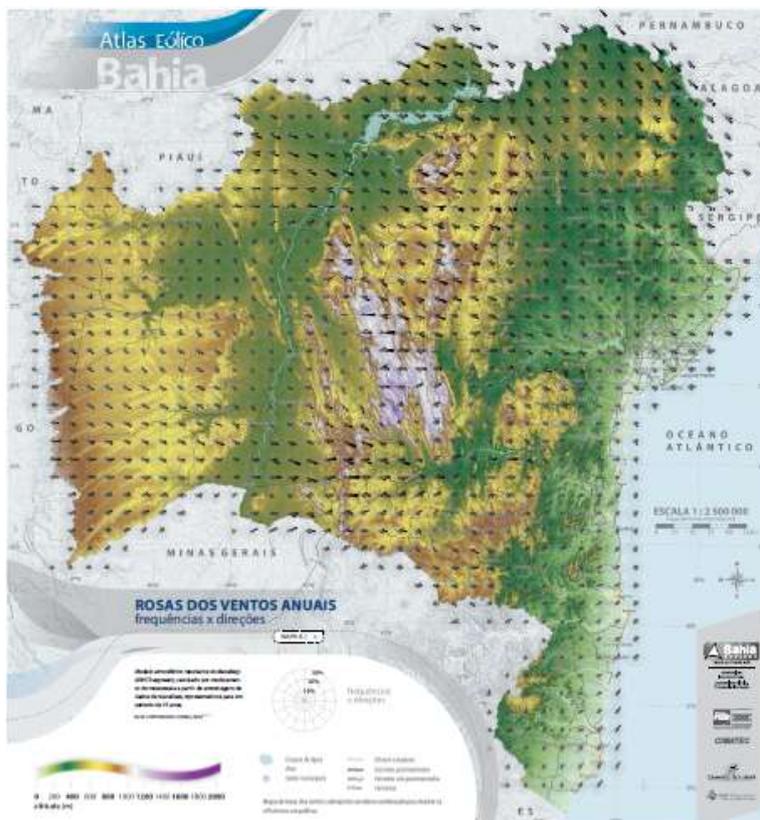
Núm	Território de Identidade	Soma	Soma
		$\sum_{i=1}^{N_n} \frac{V_i \cdot A_{i,Tn}}{1000}$ - Ventos $\geq 5,5$ e $\leq 6,5$ m/s	$\sum_{i=1}^{N_n} \frac{V_i \cdot A_{i,Tn}}{1000}$ - Ventos $\geq 7,0$ m/s
1	Irecê	16,43	159,38
2	Velho Chico	0,00	61,09
3	Chapa Diamantina	22,51	96,72
4	Sisal	107,39	10,10
5	Litoral Sul	49,08	0,00
6	Baixo Sul	28,52	0,00
7	Extremo Sul	12,25	114,55
8	Médio Sudoeste da Bahia	24,03	0,00
9	Vale do Jiquiriçá	18,69	51,29
10	Sertão do São Francisco	35,34	376,63
11	Bacia do Rio Grande	221,40	169,58
12	Bacia do Paramirim	11,70	21,66
13	Sertão Produtivo	68,05	30,96
14	Piemonte do Paraguaçu	53,15	16,98
15	Bacia do Jacuípe	73,31	0,00
16	Piemonte da Diamantina	33,38	46,27
17	Semiário Nordeste II	53,59	33,19
18	Litoral Norte e Agreste Baiano	82,68	5,41
19	Portal do Sertão	31,12	5,27
20	Vitória da Conquista	82,85	59,30
21	Recôncavo	31,61	0,00
22	Médio Rio de Contas	23,61	17,54
23	Bacia do Rio Corrente	151,39	21,17
24	Itaparica	24,86	58,97
25	Piemonte Norte do Itapicuru	34,19	50,27
26	Região Metropolitana de Salvador	8,84	0,00
27	Costa do Descobrimento	64,77	2,71

Fonte: Informações baseadas do Atlas Eólico da Bahia de 2013.

5.8. MAPA DE ROSA DOS VENTOS

A rosa dos ventos mostra a relação entre frequência e direção eólica e o Mapa de Rosa dos Ventos da Bahia, apresentado pela Figura 5.8, está disponível em CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS *et al.*, (2013), sendo utilizado nesse trabalho em conjunto com os contornos do mapa de territórios de identidade (Figura 5.1) para obtenção da diretividade dos ventos – equação (4.6) - de cada território de identidade. A criação do indicador de diretividade dos ventos, conforme apresentado pela equação (4.6) foi a forma encontrada para a medição da uniformidade da direção dos ventos. Salienta-se, contudo, que esse subcritério foi utilizado apenas para situações de turbinas eólicas de eixo horizontal (seções 6.2, 6.3, 6.4 e 6.5), em que a regularidade das direções apontadas pelos ventos é importante.

Figura 5.8 – Mapa de Diretividade dos Ventos.



Fonte: CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS *et al.* (2013).

Os valores encontrados para a diretividade dos ventos são apresentados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Diretividade Média dos Ventos dos Territórios.

Território	Território de Identidade	Diretividade média dos ventos
1	Irecê	560,45
2	Velho Chico	693,04
3	Chapada Diamantina	6113,85
4	Sisal	205,40
5	Litoral Sul	14,37
6	Baixo Sul	13,01
7	Extremo Sul	15,79
8	Médio Sudoeste da Bahia	15,39
9	Vale do Jiquiriçá	36,36
10	Sertão do São Francisco	3347,22
11	Bacia do Rio Grande	40,32
12	Bacia do Paramirim	5350,14
13	Sertão Produtivo	6419,48
14	Piemonte do Paraguaçu	304,59
15	Bacia do Jacuípe	107,09
16	Piemonte de Diamantina	2755,11
17	Semiário Nordeste II	201,86
18	Litoral Norte e Agreste Baiano	64,71
19	Portal do Sertão	51,95
20	Sudoeste Baiano ou Vitória da Conquista	131,42
21	Recôncavo	79,45
22	Médio Rio de Contas	585,89
23	Bacia do Rio Corrente	101,90
24	Itaparica	2685,91
25	Piemonte Norte do Itapicuru	1271,35
26	Metropolitano de Salvador	72,63
27	Costa do Descobrimento	11,61

Fonte: Própria, com base no Mapa de Rosa dos Ventos, disponível CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS *et al.*, (2013).

5.9. ÁREA POR HABITANTE

Foram calculadas as áreas por habitante de cada território de identidade conforme equação (4.7).

Finalmente, a área por habitante por território de identidade é apresentada na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Área por habitante (km²/habitante) por território de identidade.

Numeração	Território de Identidade	Área por habitante
1	Irecê	0,0605
2	Velho Chico	0,1137
3	Chapada Diamantina	0,0825
4	Sisal	0,0325
5	Litoral Sul	0,0186
6	Baixo Sul	0,0211
7	Extremo Sul	0,0402
8	Médio Sudoeste da Bahia	0,0447
9	Vale do Jiquiriçá	0,0331
10	Sertão do São Francisco	0,1126
11	Bacia do Rio Grande	0,1654
12	Bacia do Paramirim	0,0493
13	Sertão Produtivo	0,0490
14	Piemonte do Paraguaçu	0,0620
15	Bacia do Jacuípe	0,0430
16	Piemonte de Diamantina	0,0471
17	Semiário Nordeste II	0,0364
18	Litoral Norte e Agreste Baiano	0,0209
19	Portal do Sertão	0,0060
20	Sudoeste Baiano ou Vitória da Conquista	0,0374
21	Recôncavo	0,0084
22	Médio Rio de Contas	0,0255
23	Bacia do Rio Corrente	0,2107
24	Itaparica	0,0668
25	Piemonte Norte do Itapicuru	0,0498
26	Metropolitano de Salvador	0,0007
27	Costa do Descobrimento	0,0314

Fonte: Própria, com base nos dados do IBGE (2016).

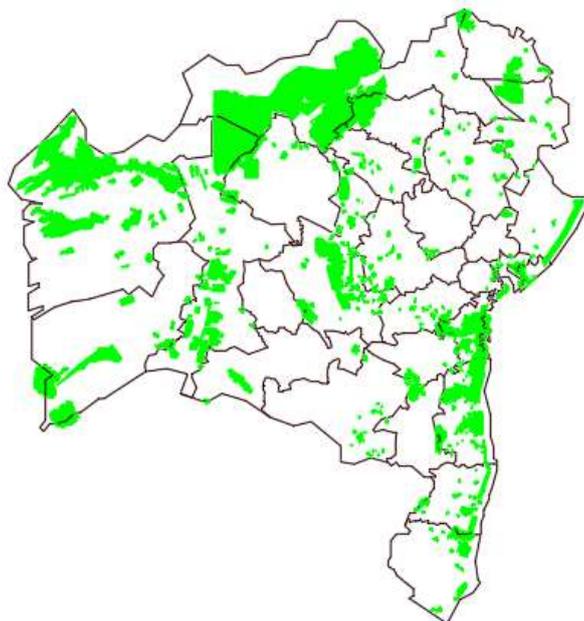
Os dados populacionais e as áreas estimadas para os cálculos da área por habitante foram retiradas do IBGE (2016).

5.10. ÁREA ÚTIL PARA INSTALAÇÃO DE USINAS

A área útil para instalação é calculada conforme equação (4.8). As discussões a respeito desse índice foram realizadas na seção 4.2.

A Figura 5.9 apresenta a sobreposição dos territórios de identidade com as delimitações das unidades de conservação (em verde), para avaliar as áreas disponíveis relativas - equação (4.8) - dos territórios de identidade, para a implantação de usinas solares.

Figura 5.9 – Mapa dos Contornos de Unidades de Conservação (UC) para usinas solares



Fonte: Própria, com base em SEI (2015) para contornos dos territórios de identidade e CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS et al., (2013) para áreas das Unidades de Conservação (UC).

A Tabela 5.10 apresenta a área útil encontrada de cada território de identidade para o caso de usinas solares, que desconsidera as áreas de rota de pássaros.

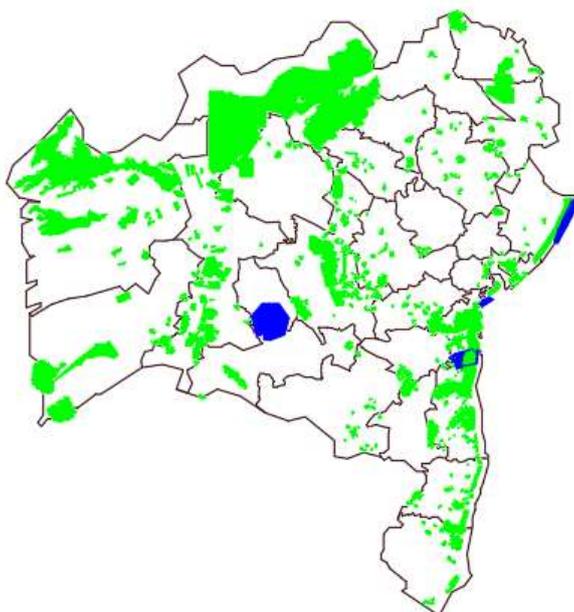
A Figura 5.10 apresenta a sobreposição dos territórios de identidade com as unidades de conservação (em verde) e rotas de pássaros na Bahia (em azul), para avaliar as áreas úteis - equação (4.8) - dos territórios de identidade, para implantação de usinas eólicas.

Tabela 5.10 – Área disponível relativa dos Territórios de Identidade para Usinas Solares.

Numeração	Território de Identidade	Área Útil para Instalação de Usinas (km ²)
1	Irecê	21.784,61
2	Velho Chico	27.201,83
3	Chapada Diamantina	3.200,14
4	Sisal	17.709,70
5	Litoral Sul	7.102,94
6	Baixo Sul	1.610,52
7	Extremo Sul	16.174,97
8	Médio Sudoeste da Bahia	10.541,32
9	Vale do Jiquiriçá	9.181,95
10	Sertão do São Francisco	23.865,05
11	Bacia do Rio Grande	46.323,65
12	Bacia do Paramirim	8.805,26
13	Sertão Produtivo	21.787,43
14	Piemonte do Paraguaçu	15.532,17
15	Bacia do Jacuípe	10.037,62
16	Piemonte de Diamantina	11.164,42
17	Semiário Nordeste II	12.715,22
18	Litoral Norte e Agreste Baiano	11.912,69
19	Portal do Sertão	5.497,95
20	Sudoeste Baiano ou Vitória da Conquista	26.016,84
21	Recôncavo	4.383,90
22	Médio Rio de Contas	8.608,99
23	Bacia do Rio Corrente	37.689,42
24	Itaparica	9.610,30
25	Piemonte Norte do Itapicuru	9.134,91
26	Metropolitano de Salvador	1.793,28
27	Costa do Descobrimento	9.731,41

Fonte: Própria, com base em SEI (2015) para territórios de identidade, em CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS *et al.* (2013) para Unidades de Conservação.

Figura 5.10 – Mapa das Unidades de Conservação (UC) + Rota de Pássaros.



Fonte: Própria, com base em SEI (2015) para contornos dos territórios de identidade, CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS *et al.*, (2013) para áreas das Unidades de Conservação (UC) e OLIVEIRA *et al.*, (2014) para rotas de pássaros.

Ressalta-se que as áreas de unidades de conservação (Figura 5.9 e Figura 5.10) e rotas de pássaros (Figura 5.10) que estiverem fora dos limites do território da Bahia não são considerados nos cálculos da equação (4.8). Essas áreas foram apresentadas para ilustrar a extensão total de cada unidade de conservação ou rota de pássaro.

Por último, a Tabela 5.11 apresenta a área útil dos territórios de identidade para o caso de usinas eólicas.

Tabela 5.11 – Área disponível relativa dos Territórios de Identidade para Usinas Eólicas.

Numeração	Território de Identidade	Área Útil para Instalação de Usinas (km²)
1	Irecê	18.964,11
2	Velho Chico	25.565,11
3	Chapada Diamantina	2.714,18
4	Sisal	17.251,04
5	Litoral Sul	6.244,61
6	Baixo Sul	1.224,63
7	Extremo Sul	16.174,97
8	Médio Sudoeste da Bahia	1.0541,32
9	Vale do Jiquiriçá	9.181,95
10	Sertão do São Francisco	21.994,86
11	Bacia do Rio Grande	46.323,65
12	Bacia do Paramirim	5.182,26
13	Sertão Produtivo	16.378,96
14	Piemonte do Paraguaçu	15.532,17
15	Bacia do Jacuípe	10.037,62
16	Piemonte de Diamantina	10.238,63
17	Semiário Nordeste II	12.715,22
18	Litoral Norte e Agreste Baiano	10.562,18
19	Portal do Sertão	5.497,95
20	Sudoeste Baiano ou Vitória da Conquista	26.016,84
21	Recôncavo	4.383,90
22	Médio Rio de Contas	8.608,99
23	Bacia do Rio Corrente	37.689,42
24	Itaparica	9.610,30
25	Piemonte Norte do Itapicuru	8.770,08
26	Metropolitano de Salvador	1.793,28
27	Costa do Descobrimento	9.731,41

Fonte: Própria, com base em SEI (2015) para territórios de identidade, em CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS *et al.* (2013) para Unidades de Conservação e OLIVEIRA *et al.* (2014) para rotas de pássaros.

5.11. DENSIDADES DAS RODOVIAS/FERROVIAS NOS TERRITÓRIOS DE IDENTIDADE

No questionário foi utilizado o termo proximidade das rodovias/ferrovias para fins de avaliação da atratividade de um empreendimento de geração de energia. Como o ponto exato de implantação da usina é *a priori* desconhecido, já que a avaliação é por sub-região (território de identidade), utilizou-se a densidade (comprimento/área) como meio para inferir a possível proximidade entre rodovias/ferrovias do empreendimento a ser instalado numa região de identidade.

A densidade das rodovias/ferrovias nas 27 regiões escolhidas foi obtida por meio da equação (4.9), sendo que o mapa utilizado para o cálculo dos comprimentos das rodovias/ferrovias pode ser encontrado em (CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS *et al.*, 2013) e em (SECTI, [s.d.]), que oferecem o Mapa de Infraestrutura da Bahia, apresentado na Figura 5.11.

Figura 5.11 – Mapa de Infraestrutura da Bahia.

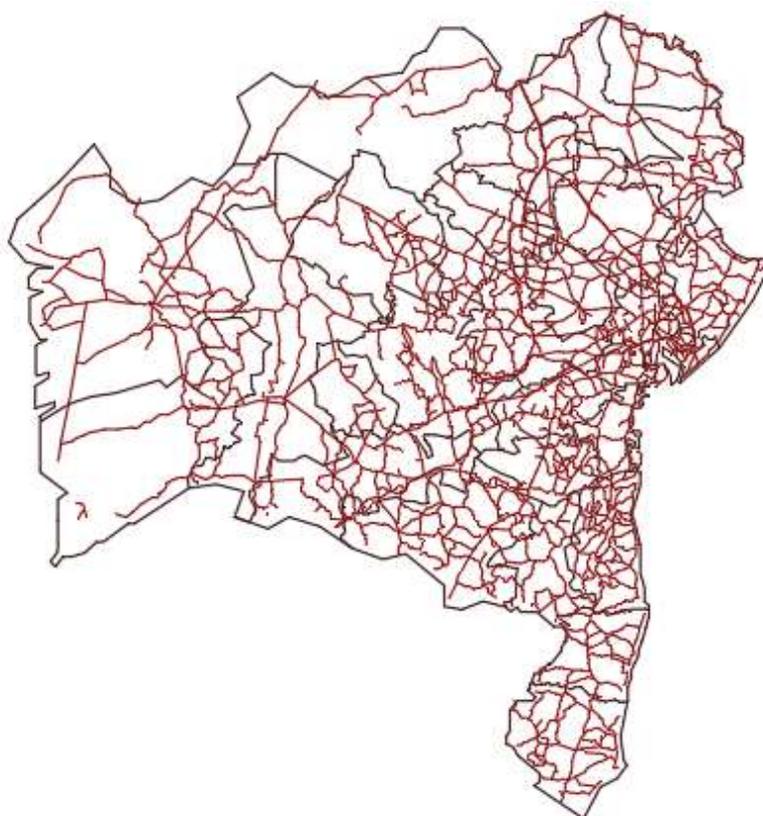


Fonte: Disponível em SECTI ([s.d.]) e CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS *et al.* (2013).

No mapa da Figura 5.11 estão inclusas rodovias pavimentadas e não pavimentadas, ferrovias, linhas de transmissão (LT) de diferentes níveis de tensão (34,5 kV, 69 kV, 138 kV, 230 kV e 500 kV), construídas e planejadas. Esse mesmo mapa é utilizado para o cálculo das densidades de linhas de transmissão (seção 5.12).

A Figura 5.12 apresenta a sobreposição dos contornos dos territórios de identidade com as linhas rodoviárias e ferroviárias.

Figura 5.12 – Mapa Rodoviário/Ferrovário e Mapa dos Territórios de Identidade sobrepostos.



Fonte: Própria, com base em SECTI ([s.d.]) e CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS *et al.* (2013).

Desse modo, com a utilização do AutoCAD 2015 para a obtenção dos comprimentos e das áreas, são calculadas as densidades (comprimento/área) das linhas rodoviárias e ferroviárias por território de identidade, conforme apresentado na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 – Densidades de rodovias/ferrovias.

Numeração	Território de Identidade	Densidade de rodovias/ferrovias (km/km²)
1	Irecê	0,04831
2	Velho Chico	0,03729
3	Chapada Diamantina	0,06447
4	Sisal	0,06980
5	Litoral Sul	0,11998
6	Baixo Sul	0,06691
7	Extremo Sul	0,07360
8	Médio Sudoeste da Bahia	0,06887
9	Vale do Jiquiriçá	0,10462
10	Sertão do São Francisco	0,02830
11	Bacia do Rio Grande	0,03802
12	Bacia do Paramirim	0,04700
13	Sertão Produtivo	0,07030
14	Piemonte do Paraguaçu	0,10359
15	Bacia do Jacuípe	0,08264
16	Piemonte de Diamantina	0,06676
17	Semiário Nordeste II	0,08158
18	Litoral Norte e Agreste Baiano	0,09621
19	Portal do Sertão	0,13440
20	Sudoeste Baiano ou Vitória da Conquista	0,06994
21	Recôncavo	0,15366
22	Médio Rio de Contas	0,08368
23	Bacia do Rio Corrente	0,02692
24	Itaparica	0,04912
25	Piemonte Norte do Itapicuru	0,06427
26	Metropolitano de Salvador	0,09765
27	Costa do Descobrimento	0,07297

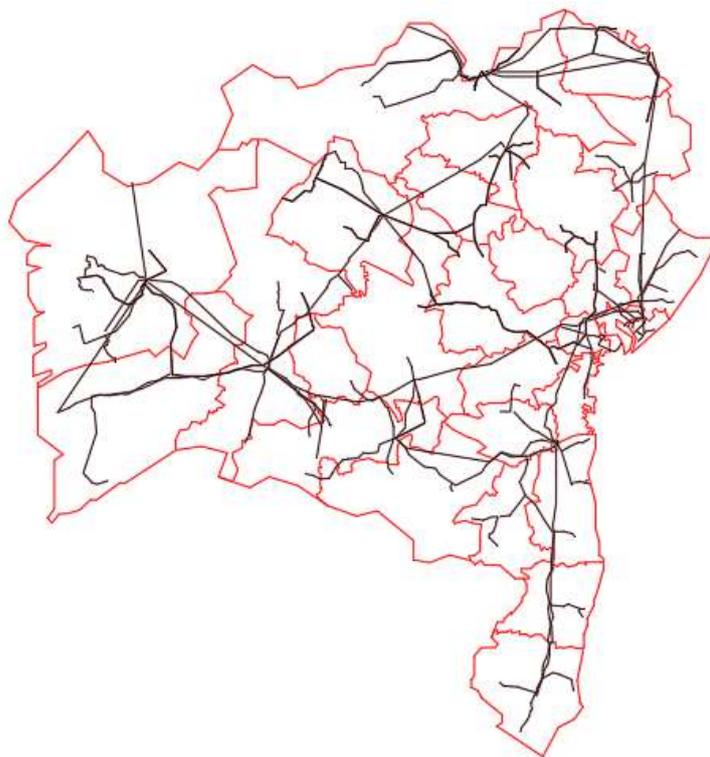
Fonte: Própria, com base em SEI (2015) para territórios de identidade e CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS *et al.* (2013) para cálculo de extensões de rodovias e ferrovias.

5.12. DENSIDADES DE LINHAS DE TRANSMISSÃO NOS TERRITÓRIOS DE IDENTIDADE

A densidade de rodovias/ferrovias em relação às 27 regiões escolhidas foi obtida por meio da equação (4.10), sendo que, o mapa utilizado para o cálculo dos comprimentos de linhas de transmissão pode ser encontrado em CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS *et al.* (2013) e em SECTI ([s.d.]), que oferecem o Mapa de Infraestrutura da Bahia, apresentado na Figura 5.11.

A Figura 5.13 apresenta a sobreposição dos contornos dos territórios de identidade com as linhas de transmissão.

Figura 5.13 – Mapa de Linhas de Transmissão de 34 kV, 69 kV, 138 kV, 230 kV e 500 kV



Fonte: Própria, baseado no Mapa de Infraestrutura disponível em (SECTI, [s.d.]) e (CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS *et al.*, 2013)

Nota-se que o mapa de linhas de transmissão da Figura 5.13 não diferencia quais linhas são de 34 kV, 69 kV, 138 kV, 230 kV ou 500 kV, embora os cálculos para usinas eólicas de média potência (>5 MW e ≤ 20 MW) e potência elevada (>20 MW) tenham utilizados faixas de níveis de tensão diferentes. Os detalhes quanto aos níveis de potência e tensão são discutidos no capítulo 6.

A Tabela 5.13 apresenta o mapa de densidade de comprimento de linhas de transmissão (km/km^2) para cada território de identidade, calculada conforme equação (4.10).

Tabela 5.13 – Densidades de linhas de transmissão do território de identidade.

Numeração	Território de Identidade	Densidade de comprimento de linhas de Transmissão (km/km ²). Níveis de Tensão maiores ou iguais a 230 kV.	Densidade de comprimento de linhas de Transmissão (km/km ²). Todos os níveis de tensão disponíveis.
1	Irecê	0,0164	0,0268
2	Velho Chico	0,0154	0,0272
3	Chapada Diamantina	0,0097	0,0213
4	Sisal	0,0074	0,0089
5	Litoral Sul	0,0136	0,0349
6	Baixo Sul	0,0162	0,0162
7	Extremo Sul	0,0119	0,0310
8	Médio Sudoeste da Bahia	0,0077	0,0221
9	Vale do Jiquiriçá	0,0213	0,0276
10	Sertão do São Francisco	0,0127	0,0270
11	Bacia do Rio Grande	0,0112	0,0171
12	Bacia do Paramirim	0,0174	0,0174
13	Sertão Produtivo	0,0258	0,0288
14	Piemonte do Paraguaçu	0,0138	0,0172
15	Bacia do Jacuípe	0,0006	0,0015
16	Piemonte de Diamantina	0,0165	0,0165
17	Semiário Nordeste II	0,0241	0,0250
18	Litoral Norte e Agreste Baiano	0,0178	0,0380
19	Portal do Sertão	0,0060	0,0358
20	Sudoeste Baiano ou Vitória da Conquista	0,0068	0,0140
21	Recôncavo	0,0952	0,1029
22	Médio Rio de Contas	0,0202	0,0393
23	Bacia do Rio Corrente	0,0137	0,0200
24	Itaparica	0,0383	0,0474
25	Piemonte Norte do Itapicuru	0,0263	0,0263
26	Metropolitano de Salvador	0,0192	0,0483
27	Costa do Descobrimento	0,0096	0,0251

Fonte: Própria, com base em SEI (2015) para territórios de identidade e CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS et al. (2013) para cálculo de extensões de linhas de transmissão.

É importante ressaltar que o mapa utilizado para os cálculos da densidade de comprimento de linhas de transmissão dos territórios de identidade não contempla

as linhas do lado de alta tensão do sistema de distribuição da Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (COELBA), que poderiam ser utilizadas para interligação das usinas eólicas e solares nas faixas de potência escolhidas, por meio das subestações.

As informações a respeito das linhas de alta tensão do sistema de distribuição da COELBA não foram encontradas na internet e não são facilmente ofertadas pela empresa, principalmente para aqueles que não são parte do seu quadro de empregados. Sendo assim, as informações a respeito das densidades de linhas de transmissão tornam-se prejudicadas e territórios de identidade que possuem alta densidade de linhas de distribuição de alta tensão acabam que diminuindo a sua posição relativa em relação aos demais, como é o caso do território 26-Metropolitano de Salvador.

Cabe ressaltar também que a baixa resolução dos tracejados das linhas de transmissão do mapa de infraestrutura de Camargo Schubert Engenheiros Associados *et al.*, (2013) dificultam os cálculos das densidades de comprimento das linhas de transmissão dos territórios de identidade. De qualquer modo, como a prioridade média global (PMG), que é a nota global dos territórios de identidade, é calculada por um conjunto de informações relativas (baseados nos critérios e subcritérios escolhidos, além das opiniões dos entrevistados especialistas) ao território, é difícil inferir o quanto a falta de informação numérica das densidades de linhas de transmissão impactaria na PMG (teria-se que fazer um estudo de análise de sensibilidade para o critério de densidade de linhas de transmissão). O objetivo de se calcular as informações das linhas de transmissão, bem como os demais dados de cada território, serve de estudo preliminar para a Bahia e teste do modelo AHP que está sendo proposto, que pode ser empregado para outros territórios geopolíticos, como estados ou países.

5.13. RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados os dados relevantes da Bahia que servirão de dados de entrada para o algoritmo computacional construído em MATLAB R2015A. Com essas informações do estado da Bahia, bem como com as opiniões dos

especialistas, pode-se fazer uso do programa elaborado a fim de se obter os resultados, conforme vão ser vistos e discutidos no capítulo 6.

Com a construção das tabelas com os dados da Bahia, é possível observar os territórios de identidade que são preponderantes para cada um dos indicadores escolhidos. Entretanto, é necessário que todos os dados de entrada (indicadores dos territórios e opiniões dos entrevistados) sejam inseridos no algoritmo computacional construído para se fazer uma análise global de como os territórios de identidade se posicionam prioritariamente em relação aos demais, como é visto no capítulo 6.

Conforme será observado, o capítulo 6 contempla sete situações distintas: seis para usinas eólicas, com variações com relação às faixas de potência instaladas, faixas de velocidade de ventos disponíveis e disposição das turbinas (eixo horizontal e eixo vertical), e uma situação para usina solar fotovoltaica.

CAPÍTULO VI

6. RESULTADOS

6.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo são mostrados os resultados utilizando o método AHP, iniciando com a apresentação dos dados encontrados para implantação de usinas eólicas, sendo ao todo seis casos para esse tipo de geração:

- a. Na seção 6.2, é apresentado um estudo de caso para parques eólicos de potência elevada com turbinas de eixo horizontal e ventos ≥ 7 m/s;
- b. Na seção 6.3 é mostrado um estudo de caso para parques eólicos de potência elevada com turbinas de eixo horizontal e ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s;
- c. Na seção 6.4 é apresentado um estudo de caso para parques eólicos de potência intermediária com turbinas de eixo horizontal e ventos ≥ 7 m/s;
- d. Na seção 6.5 é mostrado um estudo de caso para parques eólicos de potência intermediária com turbinas de eixo horizontal e ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s;
- e. Na seção 6.6 é apresentado um estudo de caso para parques eólicos de potência intermediária com turbinas de eixo vertical e ventos ≥ 7 m/s;
- f. Na seção 6.7 é mostrado um estudo de caso para parques eólicos de potência intermediária com turbinas de eixo vertical e ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s;

Os detalhes com relação à escolha dos tipos de turbinas, das potências dos parques eólicos e das faixas de velocidade dos ventos são discutidos nas seções subsequentes.

É apresentado ainda, na seção 6.8, um estudo de caso para usinas solares fotovoltaicas e, por último, é realizado o desfecho dos resultados na seção 6.9.

É importante ressaltar que foram obtidas, por meio do questionário aplicado, 11 respostas válidas (utilizando a razão de coerência de 0,10 como referência, sendo que a RC é o indicador utilizado pelo método AHP para validar as respostas dos entrevistados) para os casos de usinas eólicas e 9 para o caso de energia solar fotovoltaicas, oriundas de pessoas da área de energias renováveis.

6.2. MAPA DE PRIORIDADES DE USINAS EÓLICAS DE ELEVADA POTÊNCIA COM GERADORES DE EIXO HORIZONTAL – VENTOS ≥ 7 M/S

Segundo CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS *et al.*, (2013), “os limiares mínimos de atratividade para investimentos em geração eólica dependem dos contextos econômicos e institucionais de cada país, variando, em termos de velocidades médias anuais, entre 5,5 e 7 m/s”. Como o potencial eólico da Bahia é elevado, possuindo vastas dimensões territoriais com boa atratividade de ventos a serem explorados, decidiu-se realizar estudos de casos para velocidades eólicas iguais ou superiores a 7 m/s (seções 6.2, 6.4 e 6.6) e na faixa igual ou superior a 5,5 m/s e menor ou igual a 6,5 m/s (seções 6.3, 6.5 e 6.7). A primeira situação (ventos ≥ 7 m/s) seriam regiões a serem exploradas primeiro e o segundo caso (ventos ≥ 5 m/s e $\leq 6,5$ m/s) seriam regiões dentro dos territórios de identidade, a serem exploradas posteriormente. É importante ressaltar que a escala graduada de cores de velocidade dos ventos, apresentado por CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS *et al.*, (2013), foi discretizada de 0,5 em 0,5 m/s, pois cores muito parecidas tornaram-se difíceis de serem diferenciadas.

Segundo ALEGRÍA *et al.*, (2006), empreendimentos eólicos com média e elevada potência, que são conectados a altos níveis de tensão, são aqueles com potências acima de 50 MW, para países como a Dinamarca, Alemanha e Espanha, e, baseado no levantamento nos empreendimentos eólicos de CORRÊA (2013), acredita-se que a maioria dos parques eólicos instalados, em construção e em licitação na Bahia, sejam considerados de média e elevada potência. Por outro lado, POOLE *et al.*, (2005), que fizeram ou fazem parte da comissão regulatória de energia dos EUA (*Federal Energy Regulatory Commission* - FERC), classifica o

parque quanto à potência instalada de duas maneiras: menor ou igual a 20 MW de baixa potência e acima de 20 MW de alta potência.

Como não se encontraram informações a respeito do carregamento das linhas de transmissão da Bahia (por meio dessa informação, saberia-se com mais precisão a quantidade de potência que poderia ser interligada, em cada linha de transmissão), nem documento regulatório brasileiro ou outra referência que classifica parques ou complexos eólicos de média e de alta potência, o presente trabalho faz uso do termo média potência para faixas acima de 5 MW, pois já não engloba a minigeração distribuída, segundo ANEEL (2015), e menores ou iguais a 20 MW. Para faixas acima de 20 MW, utiliza-se o termo alta potência.

Para o caso dessa seção (6.2) e seção 6.3, ambos para parques de elevada potência, trabalhou-se apenas com linhas de transmissão maiores ou iguais a 230 kV - Baseado em Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica (PRODIST), que regula apenas linhas inferiores a 230 kV (ANEEL, 2016) -, para evitar o sobrecarregamento das linhas de transmissão (quanto maior o nível de tensão, menor a corrente injetada na linha de transmissão, para uma determinada potência) após a instalação de usinas de grande porte, visto que essas informações não foram encontradas (de carregamento das linhas de transmissão).

As comparações dos grupos de critérios (vide Figura 4.2) foram feitas por pessoas da área de energias renováveis e os pesos obtidos de cada grupo são apresentados na Tabela 6.1, de acordo com a opinião dos entrevistados.

Tabela 6.1 – Pesos obtidos para os critérios de acordo com a opinião dos entrevistados – Casos Eólicos.

Grupo Critério	Entrevistado											Média aritmética	Média Geométrica
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Técnico Pot. de Geração	0,35	0,42	0,32	0,42	0,38	0,05	0,41	0,48	0,35	0,33	0,27	0,34	0,31
Técnico Disp. Territorial	0,35	0,17	0,32	0,18	0,33	0,04	0,19	0,17	0,15	0,13	0,32	0,21	0,19
Técnico Infra.	0,21	0,25	0,11	0,27	0,12	0,12	0,28	0,21	0,35	0,08	0,27	0,21	0,19
Social	0,03	0,04	0,03	0,06	0,05	0,36	0,04	0,10	0,05	0,06	0,04	0,08	0,06
Econômico	0,07	0,11	0,21	0,06	0,12	0,43	0,09	0,04	0,09	0,41	0,10	0,16	0,12

Vale ressaltar que o algoritmo construído em Matlab fornece a *média geométrica* da prioridade média global (PMG) dos entrevistados, conforme sugerido por (SAATY, 2008), não fornecendo médias de resultados parciais. As médias apresentadas na Tabela 6.1, entretanto, servem para observar quais grupos de critérios os entrevistados elegeram como mais importantes e os seus respectivos pesos.

A Tabela 6.2, Tabela 6.3 e Tabela 6.4 apresentam as opiniões dos entrevistados com relação aos subcritérios técnicos, dos pontos de vista de **potencialidade de geração**, de **infraestrutura** e de **disponibilidade territorial**, respectivamente.

Tabela 6.2 – Pesos obtidos para os subcritérios técnicos - Potencialidade de geração – Casos Eólicos.

Subcritérios Técnicos - Potencialidade de Geração	Entrevistado											Média Aritmética	Média Geométrica
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Área x Velocidade dos ventos	0,75	0,67	0,25	0,50	0,50	0,83	0,75	0,83	0,83	0,80	0,75	0,68	0,65
Diretividade dos ventos	0,25	0,33	0,75	0,50	0,50	0,17	0,25	0,17	0,17	0,20	0,25	0,32	0,28

Tabela 6.3 – Pesos obtidos para os subcritérios técnicos – Infraestrutura – Casos Eólicos.

Subcritérios Técnicos - Infraestrutura	Entrevistado											Média Aritmética	Média Geométrica
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Densidade linhas de transmissão	0,86	0,75	0,83	0,88	0,75	0,83	0,75	0,88	0,75	0,50	0,50	0,75	0,74
Densidade de rodovias e ferrovias	0,14	0,25	0,17	0,13	0,25	0,17	0,25	0,13	0,25	0,50	0,50	0,25	0,22

Tabela 6.4 – Pesos obtidos para os subcritérios técnicos – Territorial – Casos Eólicos.

Subcritérios Técnicos - Territorial	Entrevistado											Média Aritmética	Média Geométrica
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Densidade populacional	0,50	0,33	0,17	0,50	0,17	0,83	0,50	0,17	0,67	0,75	0,17	0,43	0,36
Área útil para instalação de usinas	0,50	0,67	0,83	0,50	0,83	0,17	0,50	0,83	0,33	0,25	0,83	0,57	0,51

A Tabela 6.5 mostra a prioridade média global (PMG), com notas normalizadas de 0 a 100, dos territórios de identidade, para o caso em questão (parques eólicos de elevada potência com turbinas de eixo horizontal e velocidade média de ventos anual ≥ 7 m/s).

Tabela 6.5 – Prioridade Média Global de 0 a 100 - Potência Elevada – Eixo Horizontal – Ventos ≥ 7 m/s.

Posição no Ranking	Região	PMG ₁₀₀
1	10 - Sertão do São Francisco	100,0
2	11 - Bacia Rio Grande	71,0
3	13 - Sertão Produtivo	68,3
4	24 - Itaparica	64,9
5	03 - Chapada Diamantina	63,5
6	07 - Extremo Sul	63,2
7	21 - Recôncavo	59,6
8	18 - Litoral Norte e Agreste Baiano	57,3
9	01 - Irecê	56,6
10	19 - Portal do Sertão	56,0
11	26 - Metropolitano de Salvador	54,4
12	25 - Piemonte Norte do Itapicuru	52,5
13	16 - Piemonte de Diamantina	50,8

14	06 - Baixo Sul	49,7
15	20 - Sudoeste Baiano ou Vitória da Conquista	47,6
16	12 - Bacia do Paramirim	47,2
17	22 - Médio Rio de Contas	44,9
18	05 - Litoral Sul	44,2
19	02 - Velho Chico	43,4
20	27 - Costa do Descobrimento	42,9
21	09 - Vale do Jiquiriçá	42,5
22	23 - Bacia do Rio Corrente	39,6
23	14 - Piemonte do Paraguaçu	39,5
24	17 - Semiário Nordeste II	38,3
25	08 - Médio Sudoeste da Bahia	37,4
26	15 - Bacia do Jacuípe	36,6
27	04 - Sisal	36,0

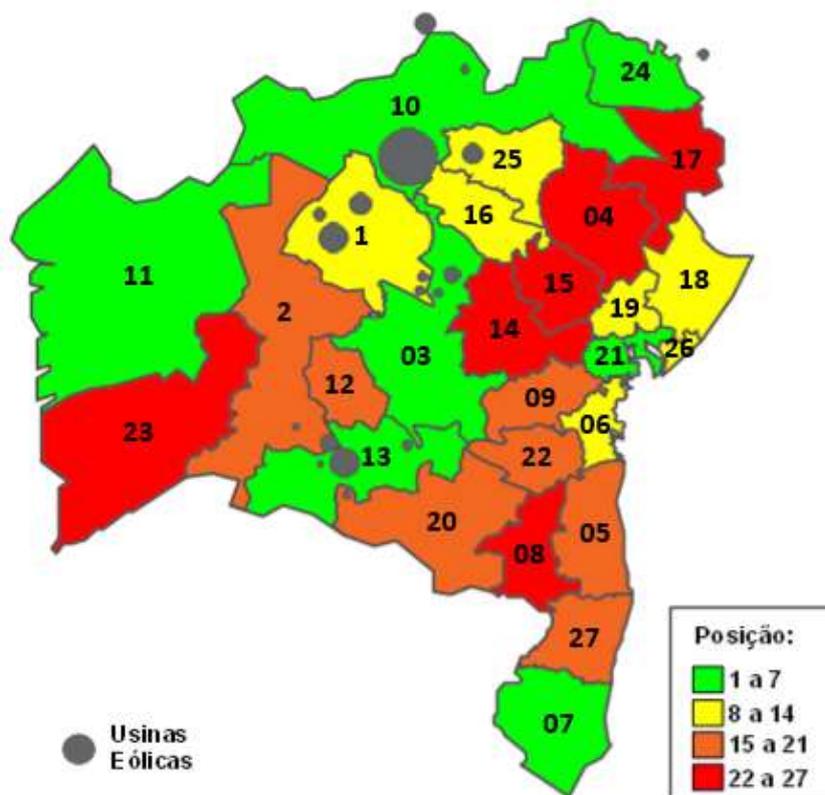
A Figura 6.1 realiza a classificação (agrupamento) por cores dos territórios de identidade, baseado na Tabela 6.5, de acordo com a posição prioritária que cada território. Os números na Figura 6.1 e dos mapas subsequentes referem-se ao território de identidade (Tabela 5.1 – Territórios de Identidade) e não à sua ordem de prioridade. Também são apresentados na Figura 6.1 os empreendimentos eólicos (representados por circunferências preenchidas pela cor cinza) já instalados, em obras ou em processos de licitação, de acordo com o site do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) do Governo Federal (2016). O tamanho das circunferências em cinza está diretamente relacionado com a quantidade de empreendimentos eólicos (instalados, em obras e em processo de licitação) em uma determinada região, e não com a potência eólica instalada, pois não foi possível a obtenção dessa informação em relação a todos os parques eólicos, principalmente aqueles que estão em processo de licitação.

O Apêndice D mostra todos os empreendimentos eólicos levantados na Bahia e nas regiões vizinhas de outros estados.

Pela posição dos territórios de identidade na Tabela 6.5 e pela classificação por cores destes na Figura 6.1, percebe-se que os sete primeiros territórios prioritários são: **10- Sertão do São Francisco, 11- Bacia do Rio Grande, 13- Sertão Produtivo, 24- Itaparica, 03- Chapada Diamantina, 07- Extremo Sul e 21- Recôncavo.**

Comparando-se com os empreendimentos eólicos levantados para o estado da Bahia, o modelo AHP proposto possui em comum os territórios **10- Sertão do São Francisco, 13- Sertão Produtivo e 03- Chapada Diamantina.** Outros territórios que necessitam de estudo posterior para um maior aprofundamento são: **11- Bacia do Rio Grande, 24- Itaparica** (vizinhos ao território 10- Sertão do São Francisco), **07- Extremo Sul e 21- Recôncavo.**

Figura 6.1 – Classificação por cores – Priorização dos Territórios de Identidade – Potência Elevada – Eixo Horizontal - Ventos ≥ 7 m/s.



O mapa de cores apresentado na Figura 6.1 foi construído para dar um direcionamento aos grandes representantes da área de energia eólica, principalmente o governo estadual, em relação aos territórios de identidade vistos como prioritários, segundo opiniões, critérios (técnicos, econômicos e sociais) e modelo estabelecidos, dando início a um planejamento das instalações de parques eólicos de grande potência com turbinas de eixo horizontal, para velocidades iguais ou superiores a 7 m/s.

Posteriores estudos necessitam ser realizados nos territórios levantados como prioritários, para escolha dos locais mais adequados para instalação dos parques eólicos, bem como realização de todos os outros trâmites necessários (licença ambiental, licitação, planejamento e construção das obras, dentre outros). Após a utilização do mapa eólico da Figura 6.1 e exploração das áreas com ventos ≥ 7 m/s para os empreendimentos eólicos citados (grande porte e turbinas de eixo horizontal), sugere-se a utilização do mapa da Figura 6.2, vista na seção 6.3.

6.3. MAPA DE PRIORIDADES DE USINAS EÓLICAS DE ELEVADA POTÊNCIA COM GERADORES DE EIXO HORIZONTAL – VENTOS $\geq 5,5$ M/S E $\leq 6,5$ M/S

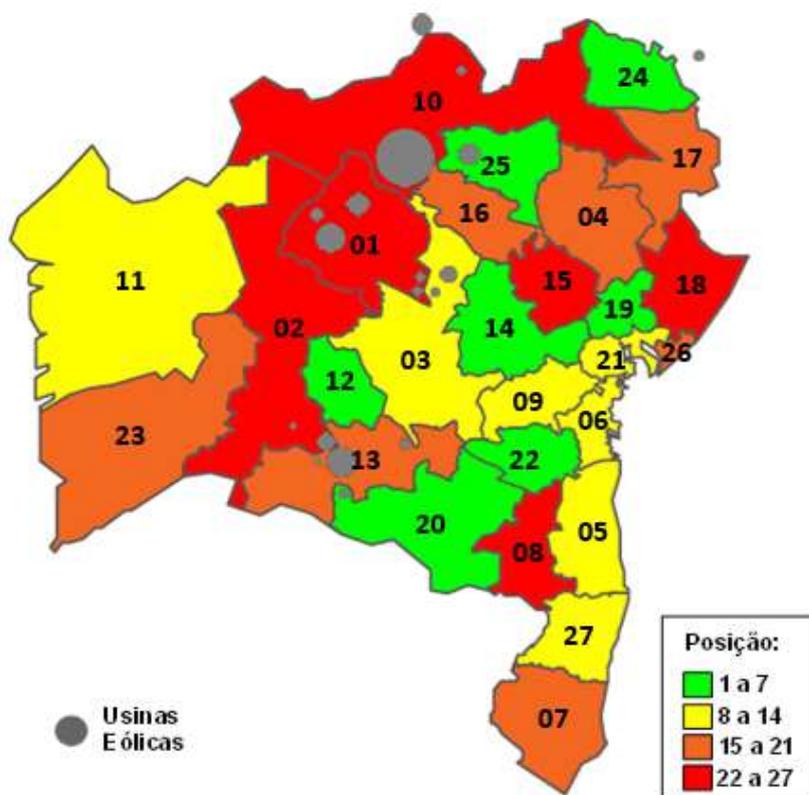
As comparações dos critérios, bem como dos subcritérios, realizados pelos entrevistados da área de energia eólica, foram apresentados e sintetizados na Tabela 6.1, Tabela 6.2, Tabela 6.3 e Tabela 6.4.

A Tabela 6.6 apresenta a prioridade média global (PMG) com normalização de 0 a 100 dos territórios de identidade para usinas eólicas de eixo horizontal geradoras de elevada potência, para ventos 5,5 m/s e $\leq 6,5$ m/s. A Figura 6.2 apresenta a classificação por cores de acordo com a prioridade desses territórios.

Tabela 6.6 – Prioridade Média Global de 0 a 100 - Potência Elevada – Eixo Horizontal – Ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s.

Posição no Ranking	Região	PMG₁₀₀
1	12 - Baía do Paramirim	100,0
2	14 - Piemonte do Paraguaçu	93,7
3	19 - Portal do Sertão	87,7
4	22 - Médio Rio de Contas	82,0
5	20 - Sudoeste Baiano ou Vitória da Conquista	76,0
6	25 - Piemonte Norte do Itapicuru	75,8
7	24 - Itaparica	74,7
8	27 - Costa do Descobrimento	70,5
9	06 - Baixo Sul	68,5
10	11 - Baía Rio Grande	67,4
11	03 - Chapada Diamantina	66,8
12	9 - Vale do Jiquiriçá	66,3
13	05 - Litoral Sul	65,7
14	21 - Recôncavo	65,0
15	04 - Sisal	64,0
16	26 - Metropolitano de Salvador	63,6
17	17 - Semiárido Nordeste II	62,0
18	07 - Extremo Sul	61,1
19	16 - Piemonte de Diamantina	60,5
20	23 - Baía do Rio Corrente	58,0
21	13 - Sertão Produtivo	57,9
22	15 - Baía do Jacuípe	57,1
23	18 - Litoral Norte e Agreste Baiano	52,6
24	08 - Médio Sudoeste da Bahia	52,1
25	10 - Sertão do São Francisco	47,6
26	01 - Irecê	46,0
27	02 - Velho Chico	43,3

Figura 6.2 – Classificação por cores – Priorização dos Territórios de Identidade – Potência Elevada - Eixo Horizontal - Ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s.



Pela Figura 6.2, baseado nas opiniões dos entrevistados, dos critérios e subcritérios selecionados e nos índices que foram calculados, os territórios tidos como prioritários são: **12- Bacia do Paramirim, 14- Piemonte do Paraguaçu, 19- Portal do Sertão, 22- Médio Rio de Contas, 20- Sudoeste Baiano ou Vitória da Conquista, 25 - Piemonte Norte do Itapicuru e 24 – Itaparica.**

Percebe-se, desse modo, que os territórios levantados como prioritários, não são os mesmos que aqueles selecionados no caso anterior (seção 6.2), para ventos ≥ 7 m/s, assim como os territórios prioritários para a presente situação (ventos $\geq 5,5$ e $\leq 6,5$) m/s são diferentes daqueles por onde vêm sendo implantados (instalados, em obras ou em processo de licitação) os empreendimentos eólicos atuais. Esse mapa, portanto, não sendo um “retrato” da situação atual, passa a ser relevante para planejamentos futuros de implantações eólicas, dando um direcionamento aos grandes tomadores de decisão desse segmento de energia renovável.

6.4. MAPA DE PRIORIDADES DE USINAS EÓLICAS DE POTÊNCIA INTERMEDIÁRIA COM GERADORES DE EIXO HORIZONTAL – VENTOS ≥ 7 M/S

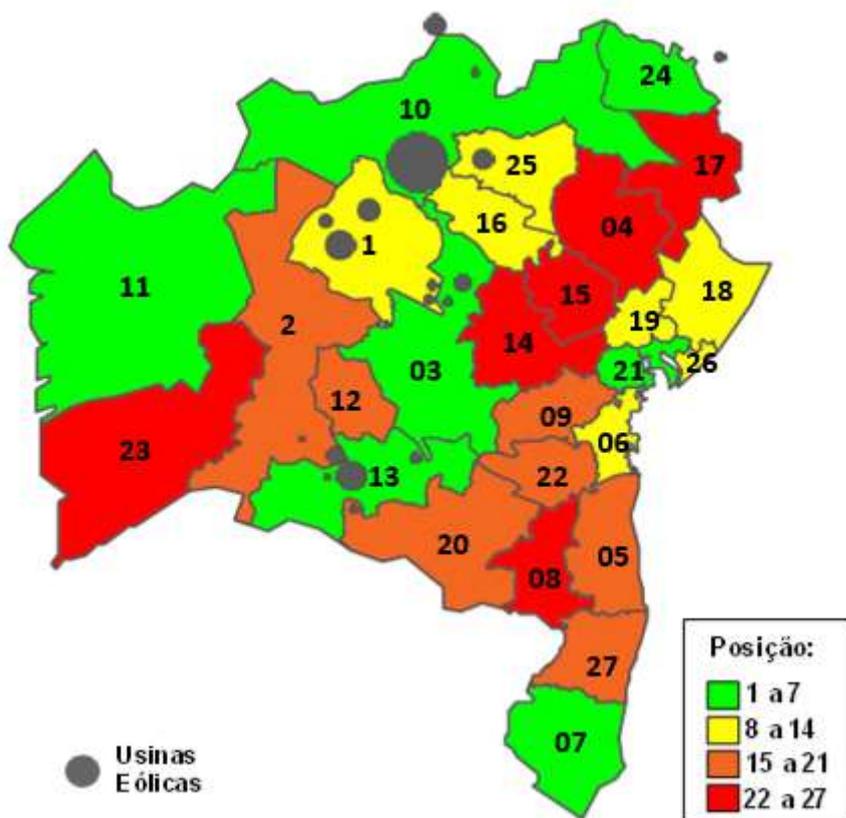
As comparações dos critérios, bem como dos subcritérios, realizados pelos entrevistados da área de energia eólica, foram apresentados e sintetizados na Tabela 6.1, Tabela 6.2, Tabela 6.3 e Tabela 6.4.

A Tabela 6.7 apresenta a prioridade média global (PMG) com normalização de 0 a 100 dos territórios de identidade para usinas eólicas de potência intermediária com geradores de eixo horizontal, para ventos ≥ 7 m/s.

Tabela 6.7 – Prioridade Média Global de 0 a 100 - Potência Intermediária – Eixo Horizontal – Ventos ≥ 7 m/s .

Posição no Ranking	Região	PMG₁₀₀
1	10 - Sertão do São Francisco	100,0
2	11 - Bacia Rio Grande	70,5
3	13 - Sertão Produtivo	67,2
4	24 - Itaparica	64,0
5	07 - Extremo Sul	63,9
6	03 - Chapada Diamantina	63,6
7	21 - Recôncavo	57,7
8	01 - Irecê	56,5
9	18 - Litoral Norte e Agreste Baiano	55,6
10	19 - Portal do Sertão	54,3
11	25 - Piemonte Norte do Itapicuru	51,2
12	26 - Metropolitano de Salvador	51,2
13	16 - Piemonte de Diamantina	49,8
14	06 - Baixo Sul	48,6
15	20 - Sudoeste Baiano ou Vitória da Conquista	47,6
16	12 - Bacia do Paramirim	45,7
17	22 - Médio Rio de Contas	45,5
18	05 - Litoral Sul	45,1
19	02 - Velho Chico	43,5
20	27 - Costa do Descobrimento	43,5
21	09 - Vale do Jiquiriçá	42,0
22	23 - Bacia do Rio Corrente	39,4
23	14 - Piemonte do Paraguaçu	39,0
24	08 - Médio Sudoeste da Bahia	38,0
25	17 - Semiário Nordeste II	37,4
26	15 - Bacia do Jacuípe	36,3
27	04 - Sisal	35,6

Figura 6.3 – Classificação por cores – Priorização dos Territórios de Identidade – Potência Intermediária - Eixo Horizontal - Ventos ≥ 7 m/s.



O mapa da Figura 6.3 (Potência intermediária, eixo horizontal, ventos ≥ 7 m/s) é o mesmo apresentado pela Figura 6.1 (Elevada potência, eixo horizontal, ventos ≥ 7 m/s). Isso mostra que o agrupamento por cores das regiões prioritárias é o mesmo, embora a ordem de prioridade entre as regiões sofra leves alterações, conforme pode ser observado pela Tabela 6.5 (Potência Elevada) e Tabela 6.7 (Potência Intermediária).

No que se refere aos dados de entrada do algoritmo (opiniões dos entrevistados, índices calculados para os territórios de identidade, de acordo com os critérios escolhidos), o que diferencia essa seção 6.4 (potências intermediárias) da seção 6.2 (elevadas potências) é com relação aos níveis de tensão estabelecidos. Como não se conseguiu obter informações quanto ao **carregamento das linhas de transmissão**, decidiu-se que para potências intermediárias utilizar-se-iam todos os níveis de tensão disponíveis pela Figura 5.11 (Mapa de Infraestrutura do estado da Bahia), estando esse mapa disponível em CAMARGO SCHUBERT

ENGENHEIROS ASSOCIADOS *et al.* (2013). Enquanto que, para elevadas potências, o cálculo das **densidades de linhas de transmissão** por território (Tabela 5.13) seria realizado somente para linhas com níveis iguais ou superiores a 230 kV. Utilizou-se esse nível de tensão como parâmetro, tomando-se como base o Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), que é responsável pela regulação de sistemas de distribuição que possuem linhas com níveis de tensão inferiores a 230 kV. A partir desse valor, o PRODIST classifica o sistema como Sistema de Distribuição de Alta Tensão (SDAT) (ANEEL, 2016), sendo, portanto, o limiar de tensão escolhido.

6.5. MAPA DE PRIORIDADES DE USINAS EÓLICAS DE POTÊNCIA INTERMEDIÁRIA COM GERADORES DE EIXO HORIZONTAL - VENTOS $\geq 5,5$ M/S E $\leq 6,5$ M/S

As comparações dos critérios, bem como dos subcritérios, realizados pelos entrevistados da área de energia eólica, foram apresentados e sintetizados na Tabela 6.1, Tabela 6.2, Tabela 6.3 e Tabela 6.4.

A Tabela 6.8 apresenta a prioridade média global (PMG) com normalização de 0 a 100 dos territórios de identidade para usinas eólicas de potência intermediária com geradores de eixo horizontal, para ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s.

A Figura 6.4 apresenta o mapa de prioridades para o estudo de caso desta seção.

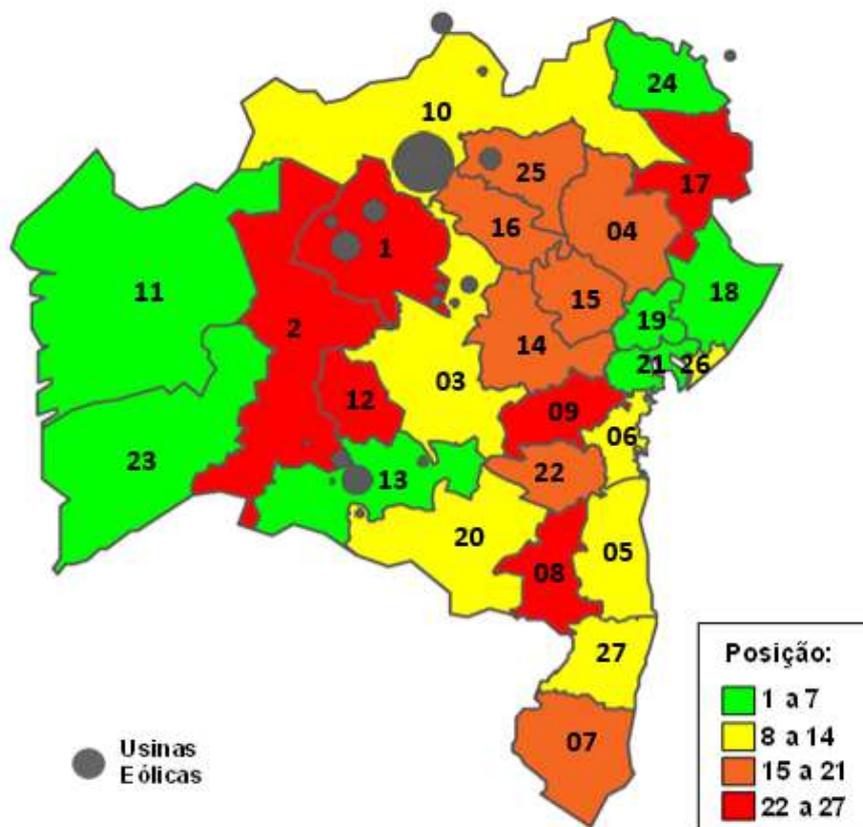
Pela Figura 6.4 e pela Tabela 6.8, percebe-se que os territórios eleitos como prioritários foram: **11- Bacia do Rio Grande, 13- Sertão Produtivo, 18- Litoral Norte e Agreste Baiano, 21 – Recôncavo, 24- Itaparica, 23- Bacia do Rio Corrente e 19- Portal do Sertão.**

Tabela 6.8 – Prioridade Média Global de 0 a 100 - Potência Intermediária – Eixo Horizontal – Ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s.

Posição no Ranking	Região	PMG₁₀₀
1	11 - Bacia Rio Grande	100,0
2	13 - Sertão Produtivo	92,8
3	18 - Litoral Norte e Agreste Baiano	86,0
4	21 - Recôncavo	80,0
5	24 - Itaparica	75,3
6	23 - Bacia do Rio Corrente	74,7
7	19 - Portal do Sertão	74,4
8	10 - Sertão do São Francisco	68,4
9	06 - Baixo Sul	67,6
10	03 - Chapada Diamantina	67,6
11	27 - Costa do Descobrimento	67,5
12	05 - Litoral Sul	67,3
13	26 - Metropolitano de Salvador	67,0

14	20 - Sudoeste Baiano ou Vitória da Conquista	65,4
15	04 - Sisal	63,7
16	07 - Extremo Sul	62,6
17	25 - Piemonte Norte do Itapicuru	62,5
18	16 - Piemonte de Diamantina	61,2
19	15 - Bacia do Jacuípe	60,3
20	22 - Médio Rio de Contas	59,2
21	14 - Piemonte do Paraguaçu	56,9
22	12 - Bacia do Paramirim	56,5
23	08 - Médio Sudoeste da Bahia	53,2
24	17 - Semiário Nordeste II	51,8
25	09 - Vale do Jiquiriçá	47,5
26	01 - Irecê	46,5
27	02 - Velho Chico	44,0

Figura 6.4 – Classificação por cores – Priorização dos Territórios de Identidade – Potência Intermediária - Eixo Horizontal - Ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s.



Os resultados mostraram que, para empreendimentos eólicos de média potência, os territórios **11- Bacia do Rio Grande**, **13- Sertão Produtivo** e **24- Itaparica** são viáveis de serem explorados tanto para velocidades eólicas médias anuais ≥ 7 m/s como para faixas de velocidade $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s. Entretanto, somente para ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s, além dos supracitados, aparece o território **23 - Bacia do Rio Corrente** (vizinho do território **11- Bacia do Rio Grande**) e aqueles nos arredores do território 23- Metropolitano de Salvador, que são: **18 - Litoral Norte e Agreste Baiano**, **19 - Portal do Sertão** e **21 - Recôncavo**.

Comparando-se com a média dos territórios, o território **23- Bacia do Rio Corrente** possui boa potencialidade eólica em termos de velocidade média anual, a menor densidade populacional entre os territórios e a segunda maior área útil para instalação (considere a equação (4.8), elementos esses que são positivos para implantação de parques eólicos. Por outro lado, os territórios nos arredores de 23- Metropolitano de Salvador, que são **18 - Litoral Norte e Agreste Baiano**, **19 -**

Portal do Sertão e 21 – Recôncavo, apesar de não possuírem alta diretividade de ventos, possuem elevados indicadores econômico e social (Nível de industrialização e IFDM, respectivamente, considerando a média dos territórios), além de possuírem alta densidade de malhas de transporte (rodoviárias e ferroviárias) e de linhas de transmissão. O território **18 - Litoral Norte** ainda possui uma boa faixa de velocidade média de ventos anual.

6.6. MAPA DE PRIORIDADES DE USINAS EÓLICAS DE POTÊNCIA INTERMEDIÁRIA COM GERADORES DE EIXO VERTICAL – VENTOS ≥ 7 M/S

As torres eólicas de eixo vertical normalmente são de menor porte do que as de eixo horizontal (BULLIS, 2013; PEREIRA, 2012). Portanto, havendo evolução tecnológica de forma que as turbinas de eixo vertical possam ser utilizadas em grandes alturas, o mapeamento proposto já oferta um primeiro estudo indicando territórios preferenciais no estado da Bahia para implantação desses tipos de empreendimentos eólicos (com turbinas de eixo vertical). Vale ressaltar também que essas costumam ser menos eficientes do que as turbinas de eixo horizontal. Um dos motivos para isso é que metade do tempo as lâminas estão se movendo contra o vento, em vez de gerar empuxo necessário para girar o gerador (BULLIS, 2013; PEREIRA, 2010).

Uma das vantagens dessa turbina, entretanto, é que, devido à disposição do seu rotor, não precisam se preocupar com as frequências e direções apontadas pelos ventos (diferentemente das turbinas de eixo horizontal). Devido a essa característica própria das turbinas de eixo vertical, o critério **diretividade dos ventos** foi utilizado somente para turbinas de eixo horizontal.

A Tabela 6.9 apresenta a prioridade média global (PMG) dos territórios de identidade, bem como a sua respectiva posição no *ranking*, enquanto que a Figura 6.5 a classificação de prioridade dos territórios por cores. Conforme observado pela Tabela 6.9 e Figura 6.5, os territórios eleitos como prioritários foram: **10- Sertão do São Francisco**, **11- Bacia do Rio Grande**, **07- Extremo Sul**, **01- Irecê**, **24- Itaparica**, **21- Recôncavo** e **18- Litoral Norte e Agreste Baiano**. Algumas desses territórios, como os de números 07, 10, 11 e 24, apareceram também em outros

casos, como aqueles das seções 6.2 e 6.4 (turbinas de eixo horizontal para velocidades médias anual ≥ 7 m/s).

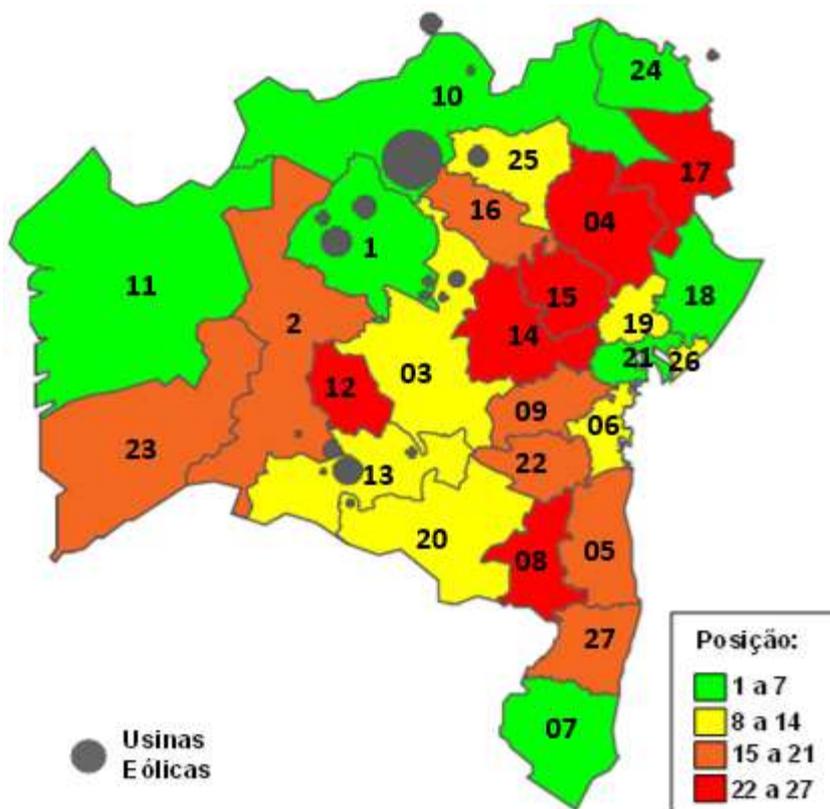
Um território que passou a vigorar entre os sete primeiros colocados (cor verde nos mapas de prioridade), foi o território **01- Irecê**, antes ocupando a oitava ou nona posição no *ranking* para turbinas eólicas de eixo horizontal com ventos ≥ 7 m/s. Vale ressaltar que os territórios **18- Litoral Norte e Agreste Baiano** e **21- Recôncavo**, eleitos também como prioritários e que estão próximos ao território 26- Metropolitano de Salvador, se beneficiam de indicadores econômico, social e densidades de linhas de transmissão e malhas de transporte acima da média.

Tabela 6.9 – Prioridade Média Global de 0 a 100 – Eixo Vertical – Ventos ≥ 7 m/s

Posição no Ranking	Região	PMG ₁₀₀
1	10 - Sertão do São Francisco	100,0
2	11 - Bacia Rio Grande	71,2
3	07 - Extremo Sul	62,2
4	01 - Irecê	56,9
5	24 - Itaparica	52,7
6	21 - Recôncavo	50,1
7	18 - Litoral Norte e Agreste Baiano	49,0
8	19 - Portal do Sertão	48,0
9	03 - Chapada Diamantina	46,2
10	26 - Metropolitano de Salvador	45,9
11	13 - Sertão Produtivo	45,1
12	20 - Sudoeste Baiano ou Vitória da Conquista	44,7
13	25 - Piemonte Norte do Itapicuru	44,6

14	06 - Baixo Sul	42,7
15	02 - Velho Chico	39,8
16	09 - Vale do Jiquiriçá	39,6
17	16 - Piemonte de Diamantina	39,5
18	05 - Litoral Sul	39,5
19	22 - Médio Rio de Contas	39,3
20	27 - Costa do Descobrimento	38,3
21	23 - Bacia do Rio Corrente	35,5
22	14 - Piemonte do Paraguaçu	34,4
23	17 - Semiário Nordeste II	34,1
24	08 - Médio Sudoeste da Bahia	33,3
25	15 - Bacia do Jacuípe	31,6
26	04 - Sisal	31,2
27	12 - Bacia do Paramirim	28,8

Figura 6.5 – Classificação por cores – Priorização dos Territórios de Identidade – Eixo Vertical - Ventos ≥ 7 m/s.



6.7. MAPA DE PRIORIDADES DE USINAS EÓLICAS DE POTÊNCIA INTERMEDIÁRIA COM GERADORES DE EIXO VERTICAL - VENTOS $\geq 5,5$ M/S E $\leq 6,5$ M/S

As comparações dos critérios, bem como dos subcritérios, realizados pelos entrevistados da área de energia eólica, foram apresentados e sintetizados na Tabela 6.1, Tabela 6.2, Tabela 6.3 e Tabela 6.4.

A Tabela 6.10 apresenta a prioridade média global (PMG) com normalização de 0 a 100 dos territórios de identidade para usinas eólicas de potência intermediária com geradores de eixo vertical, para ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s.

A Figura 6.6 apresenta o mapa de prioridades para o estudo de caso desta seção.

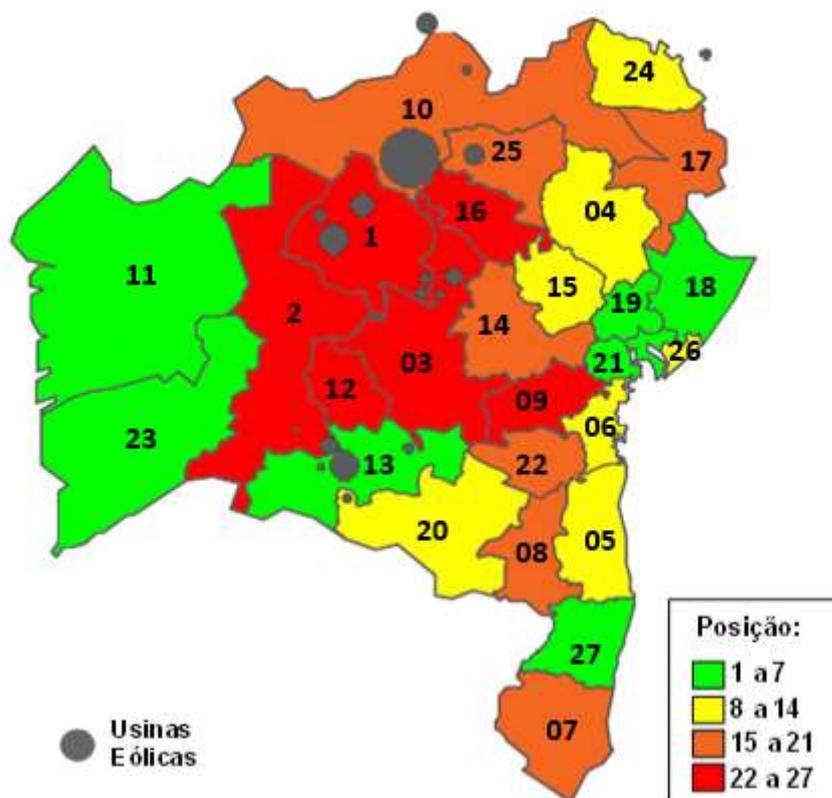
Tabela 6.10 – Prioridade Média Global de 0 a 100 – Eixo Vertical – Ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s.

Posição no Ranking	Região	PMG ₁₀₀
1	11 - Bacia Rio Grande	100,0
2	18 - Litoral Norte e Agreste Baiano	78,3
3	23 - Bacia do Rio Corrente	73,8
4	21 - Recôncavo	69,3
5	19 - Portal do Sertão	65,1
6	13 - Sertão Produtivo	64,1
7	27 - Costa do Descobrimento	61,4
8	04 - Sisal	60,6
9	20 - Sudoeste Baiano ou Vitória da Conquista	60,6
10	05 - Litoral Sul	60,2
11	06 - Baixo Sul	59,1
12	26 - Metropolitano de Salvador	58,5
13	24 - Itaparica	57,1
14	15 - Bacia do Jacuípe	55,7
15	07 - Extremo Sul	53,6
16	25 - Piemonte Norte do Itapicuru	51,4
17	14 - Piemonte do Paraguaçu	50,9
18	10 - Sertão do São Francisco	50,1
19	22 - Médio Rio de Contas	49,8
20	17 - Semiário Nordeste II	46,9
21	08 - Médio Sudoeste da Bahia	46,6
22	16 - Piemonte de Diamantina	45,8
23	09 - Vale do Jiquiriçá	41,3
24	03 - Chapada Diamantina	40,3
25	01 - Irecê	38,6
26	02 - Velho Chico	34,9
27	12 - Bacia do Paramirim	33,2

Conforme observado, os primeiros colocados foram: **11 - Bacia Rio Grande, 18 - Litoral Norte e Agreste Baiano, 23 - Bacia do Rio Corrente, 21 - Recôncavo, 19 - Portal do Sertão, 13 - Sertão Produtivo, 27 - Costa do Descobrimento.**

Comparando-se esses resultados (eixo vertical - ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s) com aqueles apresentados na seção 6.6 (eixo vertical - ventos ≥ 7 m/s), percebe-se o aparecimento de alguns territórios entre os sete primeiros colocados (em verde no mapa da Figura 6.6), que são: **23 - Bacia do Rio Corrente, 13 - Sertão Produtivo, 19 - Portal do Sertão e 27 - Costa do Descobrimento.**

Figura 6.6 – Classificação por cores – Priorização dos Territórios de Identidade – Eixo Vertical - Ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s.



Vale ressaltar que, de um modo geral, é mais vantajoso, em termos de viabilidade econômica (pois o *payback* normalmente é menor, considerando os custos de instalações iguais) do empreendimento eólico, a utilização de mapas com velocidades de ventos maiores (≥ 7 m/s). Desse modo, sugere-se como passo seguinte a utilização dos mapas com velocidades de ventos menores ($\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s), explorando-se territórios que não foram vistos como prioritários anteriormente (que não apareceram nos mapas com velocidades de ventos ≥ 7 m/s).

6.8. MAPA DE PRIORIDADES DE USINAS FOTOVOLTAICAS

Para esse estudo de caso foram considerados todos os níveis de tensão para linhas de transmissão, considerando que as usinas solares de grande porte gerem menor potência do que as usinas eólicas de elevada potência (acima de 20 MW, que foi o

referencial utilizado para esse trabalho), um dos motivos devido ainda à baixa eficiência associada aos sistemas solares, menor do que 20%, apesar da alta incidência solar na Bahia. Segundo COLLETA (2015), a média mundial de eficiência é de 14% e as melhores placas comercializadas no mundo convertem cerca de 16% da potência solar incidente. Desse modo, para o caso de usinas solares fotovoltaicas, foram considerados todos os níveis de tensão (a partir de 34 kV) para o cálculo das densidades de linhas de transmissão dos territórios de identidade.

As comparações dos grupos de critérios (vide Figura 4.1) foram feitas por pessoas da área de energias renováveis e os pesos obtidos de cada grupo são apresentados na Tabela 6.11, de acordo com a opinião dos entrevistados.

Tabela 6.11 – Pesos obtidos para os critérios de acordo com a opinião dos entrevistados – Caso Solar

Grupo Critério	Entrevistado									Média Aritmética	Média Geométrica
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Técnico Pot. de Geração	0,32	0,43	0,32	0,43	0,36	0,13	0,42	0,45	0,24	0,35	0,33
Técnico Disp. Territorial	0,28	0,13	0,32	0,28	0,32	0,13	0,15	0,15	0,36	0,24	0,22
Técnico Infra.	0,27	0,26	0,11	0,09	0,19	0,05	0,29	0,28	0,24	0,20	0,17
Econômico	0,09	0,13	0,21	0,11	0,07	0,27	0,10	0,09	0,08	0,13	0,12
Social	0,03	0,05	0,03	0,08	0,07	0,41	0,04	0,04	0,08	0,09	0,06

É importante ressaltar mais uma vez que o algoritmo construído em Matlab fornece a *média geométrica* da prioridade média global (PMG) dos entrevistados, conforme sugerido por (SAATY, 2008), não fornecendo médias de resultados parciais. As médias apresentadas na Tabela 6.11, entretanto, servem para observar quais grupos de critérios os entrevistados elegeram como mais importantes e os seus respectivos pesos.

A Tabela 6.12, Tabela 6.13 e Tabela 6.14 apresentam as opiniões dos entrevistados com relação aos subcritérios técnicos, dos pontos de vista de

potencialidade de geração, de infraestrutura e de disponibilidade territorial, respectivamente.

Tabela 6.12 – Pesos obtidos para os subcritérios técnicos - Potencialidade de geração – Caso Solar.

Subcritérios Técnicos - Potencialidade de Geração	Entrevistado									Média Aritmética	Média Geométrica
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Área x Incidência Solar	0,75	0,83	0,83	0,75	0,90	0,90	0,50	0,88	0,83	0,80	0,79
Temperatura	0,25	0,17	0,17	0,25	0,10	0,10	0,50	0,13	0,17	0,20	0,18

Tabela 6.13 – Pesos obtidos para os subcritérios técnicos - Infraestrutura – Caso Solar.

Subcritérios Técnicos - Infraestrutura	Entrevistado									Média Aritmética	Média Geométrica
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Densidade de linhas de transmissão	0,86	0,75	0,83	0,88	0,75	0,90	0,25	0,83	0,86	0,77	0,73
Densidade de rodovias e ferrovias	0,14	0,25	0,17	0,13	0,25	0,10	0,75	0,17	0,14	0,23	0,19

Tabela 6.14 – Pesos obtidos para os subcritérios técnicos - Territorial – Caso Solar.

Subcritérios Técnicos - Territorial	Entrevistado									Média Aritmética	Média Geométrica
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Densidade Populacional	0,50	0,20	0,17	0,50	0,17	0,50	0,25	0,17	0,17	0,29	0,26
Área útil para instalação de usinas	0,50	0,80	0,83	0,50	0,83	0,50	0,75	0,83	0,83	0,71	0,69

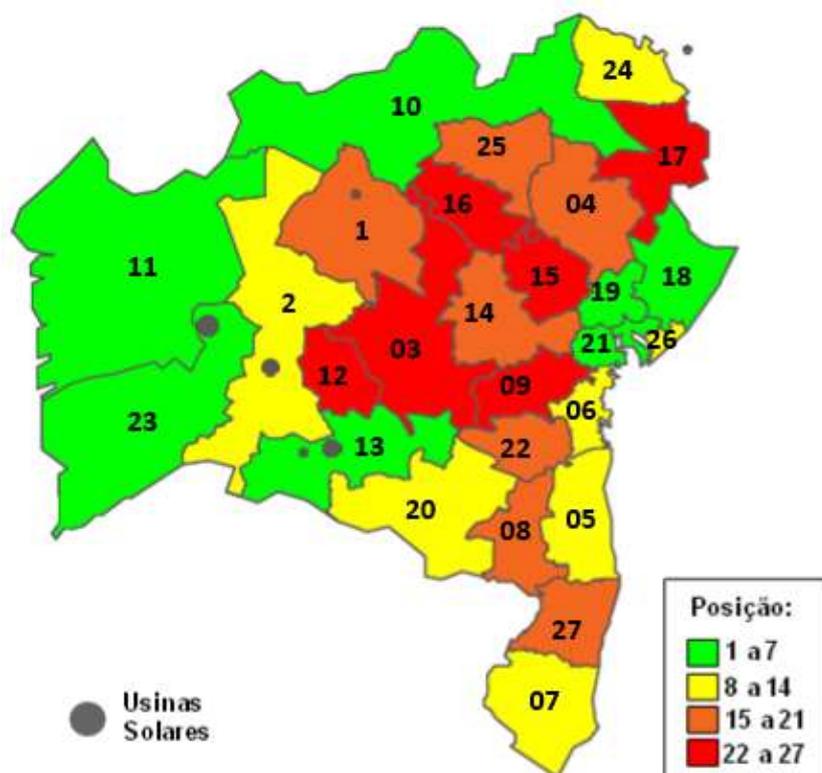
A Tabela 6.15 e Figura 6.7 e apresentam os resultados para usinas solares fotovoltaicas.

Tabela 6.15 – Prioridade Média Global Normalizado de 0 a 100 - Usinas Fotovoltaicas.

Posição no Ranking	Região	PMG₁₀₀
1	11 - Bacia Rio Grande	100,0
2	18 - Litoral Norte e Agreste Baiano	81,0
3	10 - Sertão do São Francisco	76,5
4	23 - Bacia do Rio Corrente	75,7
5	13 - Sertão Produtivo	75,7
6	19 - Portal do Sertão	75,4
7	21 - Recôncavo	74,4
8	07 - Extremo Sul	73,8
9	26 - Metropolitano de Salvador	70,1
10	20 - Sudoeste Baiano ou Vitória da Conquista	69,8
11	06 - Baixo Sul	69,5
12	02 - Velho Chico	69,1
13	24 - Itaparica	68,8
14	05 - Litoral Sul	66,0

15	27 - Costa do Descobrimento	64,0
16	25 - Piemonte Norte do Itapicuru	61,2
17	01 - Irecê	60,4
18	22 - Médio Rio de Contas	60,2
19	08 - Médio Sudoeste da Bahia	58,8
20	14 - Piemonte do Paraguaçu	58,1
21	04 - Sisal	57,4
22	15 - Bacia do Jacuípe	56,1
23	16 - Piemonte de Diamantina	55,9
24	09 - Vale do Jiquiriçá	51,7
25	17 - Semiário Nordeste II	51,5
26	03 - Chapada Diamantina	51,2
27	12 - Bacia do Paramirim	45,6

Figura 6.7 – Classificação por cores – Priorização dos Territórios de Identidade – Usinas Solares Fotovoltaicas.



Conforme observado pela Tabela 6.15 e Figura 6.7, os territórios prioritários foram: **11 - Bacia Rio Grande, 18 - Litoral Norte e Agreste Baiano, 10 - Sertão do São Francisco, 23 - Bacia do Rio Corrente, 13 - Sertão Produtivo, 19 - Portal do Sertão e 21 - Recôncavo.**

A Tabela 6.16 apresenta uma comparação dos territórios de identidade prioritários em relação à média obtida em relação a cada um dos subcritérios.

Percebe-se que os territórios de identidade prioritários possuem pontos fortes e fracos distintos, se comparados com a média territorial obtida para cada subcritério escolhido. Desse modo, baseando-se na Tabela 6.16 e lembrando-se também que as opiniões dos entrevistados (Tabela 6.12, Tabela 6.13 e Tabela 6.14) são algo relevante para esse trabalho, conclui-se que esses territórios alcançaram as sete primeiras colocações devido à um conjunto de fatores, não podendo-se atribuir somente a uma causa exclusiva.

Tabela 6.16 – Diferenças relativas dos territórios prioritários em relação à média obtida para cada subcritério.

Subcritério Avaliado	Territórios Prioritários						
	11- Bacia do Rio Grande	18- Litoral Norte e Agreste Baiano	10- Sertão de São Francisco	23- Bacia do Rio Corrente	13- Sertão Produtivo	19- Portal do Sertão	21- Recôncavo
IFDM _{médio}	15,0%	5,0%	-1,4%	-9,1%	13,5%	15,9%	11,1%
Nível Industrial	-20,5%	111,7%	-16,4%	-66,3%	13,1%	69,0%	52,6%
Área x Incidência Solar	258,8%	-28,9%	131,2%	150,8%	36,7%	-69,4%	-74,3%
Temperatura	0,6%	-5,0%	-8,5%	0,8%	0,1%	-4,9%	-6,3%
Área por Habitante	203,9%	-61,6%	106,9%	287,2%	-10,0%	-89,0%	-84,6%
Área útil para instalação	221,4%	-17,3%	65,6%	161,5%	51,2%	-61,9%	-69,6%
Densidade de Malhas de Transporte	-49,2%	28,5%	-62,2%	-64,0%	-6,1%	79,6%	105,3%
Densidade de Linhas de Transmissão	-39,6%	34,4%	-4,4%	-29,3%	1,8%	26,4%	263,7%

A Tabela 6.16, contudo, é um importante recurso para auxiliar os gestores governamentais a se nortear melhor sobre os fatores técnicos, econômicos e sociais que devem ser priorizados em suas políticas públicas. Os territórios **11- Bacia do Rio Grande**, **18- Litoral Norte e Agreste Baiano** e **23- Bacia do Rio Corrente**, por exemplo, necessitam de um apoio maior em infraestrutura (densidades de malhas de transporte e linhas de transmissão), para que estes se tornem ainda mais propícios para a implantação de empreendimentos solares

de grande porte. O mesmo pode-se pensar para territórios que não estão entre as sete primeiras colocações.

Sabendo-se que os esforços desse trabalho são para avaliar grandes áreas (nesse caso os territórios de identidade) e não escolha de locais específicos para instalação de parques eólicos e solares fotovoltaicos, posteriores estudos devem ser realizados para avaliação de terrenos adequados para implantação desses empreendimentos, dentro de cada território de identidade. É importante ressaltar também que os resultados de prioridades encontrados são algo temporários, devendo ser constantemente avaliados, visto que dependem de indicadores que podem sofrer alterações, como é o caso de densidade de malhas de transporte e de linhas de transmissão.

6.9. RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foram mostrados os resultados do algoritmo AHP implantando, sendo que o objetivo principal deste foi apresentar a hierarquização das regiões do estado da Bahia para implantação de usinas eólicas e solares, de acordo com opiniões de especialistas, dados estatísticos e informações das regiões.

Foram apresentados seis estudos de casos para parques eólicos, com variações quanto à potência instalada (médias ou elevadas potências), faixa de velocidade média anual dos ventos e tipo de turbinas instaladas (eixo vertical ou horizontal), e um estudo de caso para implantação de empreendimentos solares fotovoltaicos.

Percebeu-se que esses mapas possuem resultados em comum (elevadas e médias potências, com ventos ≥ 7 m/s, por exemplo, possuem o mesmo mapa), bem como diferenças entre si (para resultados com ventos ≥ 7 m/s e ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s, por exemplo). Para usinas eólicas com a mesma classificação em relação à potência (elevada ou média) e ao tipo de turbina (horizontal ou vertical), sugere-se a utilização de um mapa primeiro (normalmente os que possuem ventos ≥ 7 m/s), em seguida o outro (ventos $\geq 5,5$ m/s $\leq 6,5$ m/s).

Notou-se que os territórios prioritários, para o caso de empreendimentos solares fotovoltaicos, alçaram as primeiras colocações devido a um conjunto de subcritérios específicos individualmente para cada um deles, bem como as opiniões dos entrevistados, que atribuem pesos para os critérios e subcritérios.

Conclui-se que, para situações em que se tem uma quantidade grande de alternativas, bem como uma quantidade elevada de critérios envolvidos, o método AHP se torna um importante recurso para tomadas de decisões mais eficazes e coerentes, pois tende a refletir a forma natural de pensamento humano quando se tem grande número de variáveis a serem processadas, por meio de agrupamento dos elementos (critérios e alternativas) envolvidos segundo suas propriedades comuns.

CAPÍTULO VII

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

7.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foi empregada a metodologia AHP para avaliação multicritério de escolha, a fim de que se fizesse um levantamento de regiões prioritárias para implantação de parques eólicos e solares fotovoltaicos, com o intuito de auxiliar órgãos públicos e instituições privadas na escolha de locais mais adequados para instalação desses tipos de usinas. Incluíram-se aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais por meio dos critérios que foram escolhidos.

É importante lembrar que na presente dissertação foram realizados estudos de casos para os territórios de identidade do estado da Bahia, que são definições geográficas definidas pelo governo do estado para implantação de políticas públicas. Desse modo, este trabalho não se propôs à definição de locais específicos para instalação de usinas dentro dos territórios levantados como prioritários. Por esse motivo e estendendo a sua aplicação, essa mesma metodologia pode ser utilizada para estudos estratégicos de outros estados, países ou continente. Nota-se ainda que, para formas de geração diferentes da fotovoltaica e solar, outros critérios devem ser adotados.

Os resultados apresentados na seção 6.2 (usinas eólicas de alta capacidade instalada) e 6.4 (usinas eólica de potência instalada intermediária), para velocidades médias eólicas anuais maiores ou iguais a 7 m/s, mostram que o modelo AHP apresentou territórios prioritários em comum com aqueles normalmente escolhidos para implantação de empreendimentos eólicos (instalados, em obras ou planejados). É o caso do **10- Sertão do São Francisco**, **13- Sertão Produtivo** e **03- Chapada Diamantina**. Entretanto, de acordo com as opiniões dos especialistas e os subcritérios escolhidos, o modelo AHP proposto sugere inserção de novos territórios de identidade para estudo e análise, com vistas a observado pelo órgãos componentes novas oportunidades de inserção de empreendimentos eólicos. É o caso dos territórios **11- Bacia do Rio Grande**, **24- Itaparica**, **07- Extremo Sul** e **21- Recôncavo**.

Além da divisão dos parques eólicos quanto às potências instaladas (média ou elevada potência) para alguns dos estudos de casos escolhidos, foi realizado uma segregação das faixas de velocidades de ventos, consideradas como boas ou ótimas. CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS *et al.*, (2013) cita que os limiares mínimos de velocidades médias anuais estão entre 5,5 e 7 m/s em termos de atratividades econômicas dos empreendimentos eólicos, a depender dos contextos econômicos e institucionais de cada país. Desse modo, este trabalho propôs-se a fazer estudos de dois casos específicos, para sistemas eólicos: ventos ≥ 7 m/s, seções 6.2, 6.4 e 6.6, e ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s, para os casos das seções 6.3, 6.5 e 6.7 (o limite superior para a segunda situação não foi 7 m/s, porque as velocidades dos ventos foram discretizadas, conforme explicado na seção 5.6).

Para o mesmo tipo de potência instalada (média ou alta) e tipo de disposição das turbinas (horizontal ou vertical), a ideia foi obter mapas prioritários para serem explorados em um primeiro instante (ventos ≥ 7 m/s) e em momentos subsequentes ou posteriores (ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s), tornando-se, de certo modo, complementares. Os resultados mostraram-se úteis, quando percebeu-se que novos territórios prioritários surgiam para ventos $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s, apesar de alguns se manterem (aparecerem nos dois casos), mostrando que possuem potencial eólico para ventos ≥ 7 m/s, quanto para $\geq 5,5$ m/s e $\leq 6,5$ m/s. Como exemplo de território que aparece em mais de uma faixa de velocidade está **24- Itaparica**, para os casos de parques com aerogeradores de eixo horizontal e o território **11- Bacia do Rio Grande**, para usinas com turbinas de eixo vertical.

Com relação aos níveis de tensão escolhidos, para usinas ou complexos eólicos com elevada potência instalada (> 20 MW), sabendo-se que não foram encontradas informações quanto ao dimensionamento das linhas de transmissão, foram utilizados apenas níveis de tensões ≥ 230 kV (utilizando-se tensões mais elevadas, diminuem-se as chances o sobrecarregamento das linhas de transmissão) e, para aqueles empreendimentos eólicos considerados neste trabalho como de média potência (> 5 MW e ≤ 20 MW), utilizaram-se todos os níveis de tensão (a partir de 34 kV).

Entretanto, essa diferenciação dos níveis de tensão não surtiram efeitos para os mapas de prioridades (Figura 6.1 e Figura 6.3) das seções 6.2 e 6.4 (parques com turbinas de eixo horizontal, potências diferentes, mas com mesma faixa de velocidade – ventos ≥ 7 m/s), embora a ordem de prioridade dos territórios tiveram leves alterações. Isso mostrou que pequenas variações nas densidades das linhas de transmissão (quando mudaram-se os níveis de tensão escolhidos), não foram percebidos pelo modelo proposto, baseado também nas opiniões do entrevistados.

Nos casos de usinas eólicas com geradores de eixo vertical, o subcritério **diretividade dos ventos** não foi levado em consideração, acreditando-se que este subcritério tem influência nula em termos de potencialidade de geração. Conforme citado em BULLIS (2013) e PEREIRA (2010), as turbinas eólicas de eixo vertical possuem menor porte do que as de eixo horizontal, além de possuir uma menor eficiência. Portanto, os estudos de caso realizados para esses tipos de usinas (com turbinas de eixo vertical), foram considerados de média potência e foram utilizados todos os níveis de tensão de linhas de transmissão disponíveis (a partir de 34 kV).

Apesar das turbinas eólicas de eixo vertical serem de menor porte do que as de eixo horizontal, o estudo foi feito para velocidades eólicas a 150 metros de altura. Portanto, havendo evolução tecnológica de forma que as turbinas de eixo vertical possam ser utilizadas em grandes alturas, os mapas prioritários propostos já oferecem um primeiro estudo indicando territórios preferenciais no estado baiano para implantação desses tipos de empreendimentos eólicos.

Para o estudo de caso de empreendimentos solares fotovoltaicos (seção 6.8), os territórios escolhidos foram: **11 - Bacia Rio Grande, 18 - Litoral Norte e Agreste Baiano, 10 - Sertão do São Francisco, 23 - Bacia do Rio Corrente, 13 - Sertão Produtivo, 19 - Portal do Sertão e 21 – Recôncavo**. A fim de que se pudesse ter uma melhor compreensão porque estes foram eleitos como prioritários, foi elaborada uma tabela comparativa (Tabela 6.16) dos indicadores obtidos por estes em comparação com a média obtida com todos territórios, para cada um dos subcritérios escolhidos. Percebeu-se que, apesar desses ocuparem as primeiras sete posições, os motivos pelos quais cada um desses

ocuparam uma das sete colocações são diferentes, não atribuídos a indicadores em comum. Notou-se também que ainda poderiam-se amplificar a importância de alguns deles, principalmente daqueles que possuem índices de infraestrutura (densidades de transporte e linhas de transmissão) abaixo da média. É o caso de **11- Bacia do Rio Grande**, **10- Sertão de São Francisco** e **23- Bacia do Rio Corrente**. O mesmo pode ser realizado para territórios que não estão entre as sete primeiras colocações.

Desse modo, é importante lembrar que alguns dos dados numéricos (critérios de infraestrutura e disponibilidade territorial, por exemplo) não são algo definitivos, podendo haver melhora ou piora das condições estruturais, econômicas e sociais das localidades, fazendo com que a ordem de prioridade dos territórios possam ser alterados. Portanto, o algoritmo AHP construído deve ser simulado periodicamente para estudos estratégicos.

7.2. TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, tem-se:

- a) **Utilização do modelo sugerido em outros cenários:** O modelo AHP proposto foi aplicado apenas para o estado da Bahia. Esse mesmo modelo pode ser testado e aplicado em outros estados, ou em países e continentes;
- b) **Agrupamento dos subcritérios de forma diferente:** Sabendo-se que os entrevistados elegeram o grupo de critério técnico do ponto de vista de potencialidade de geração como o mais importante e os grupos econômico e social como menos relevantes, poder-se-ia majorar a importância dos subcritérios técnicos de potencialidade de geração (**área x velocidade eólica e diretividade dos ventos**), já que eles em um mesmo grupo perdem a importância relativa, enquanto que, pelo próprio método AHP, os subcritérios econômico e social em grupos separados tornam-se mais relevantes;

- c) **Teste de sensibilidade dos subcritérios:** Desse modo, poder-se-ia saber como a variação de um subcritério ou opinião de um único especialista influencia na prioridade média global (PMG) do conjunto de entrevistados;
- d) **Utilização de um novo método multicritérios de escolha:** Para fins de comparação com o resultado encontrado com o algoritmo AHP, sugere-se a utilização de um novo método de escolha, como o Mapa Cognitivo Fuzzy (*Fuzzy Cognitive Map* – FCM) ou o Fuzzy-AHP (FAHP) ou *Analytical Network Process* (ANP);
- e) **Medição da correlação entre os indicadores escolhidos:** A correlação entre os subcritérios avaliados é útil para avaliar o grau de influência que um indicador possui em relação ao outro, pois isso implicitamente pode interferir na prioridade média global (PMG);
- f) **Criação de um *software* AHP genérico com boa interface gráfica (*Graphical User Interface* – GUI) e que utilize um programa de banco de dados específico:** O algoritmo construído é aplicável apenas para energias renováveis, para os casos de energias eólicas e solares fotovoltaicas. Embora não tenha sido elaborado para outros tipos de geração, pode ser adaptado a partir de mudança nos *templates* elaborados em Excel e do código-fonte construído em Matlab. Poder-se-ia aprimorar o programa fazendo-se uso de um programa de banco de dados específico, ao invés de planilhas em Excel.

REFERÊNCIAS

- ALEGRE, P. DE P. **Licenciamento Ambiental e Unidades de Conservação**. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/smam/default.php?p_secao=351>. Acesso em: 4 jun. 2017.
- ALEGRÍA, I. M. DE et al. Connection requirements for wind farms : A survey on technical requirements and regulation. v. 11, p. 1858–1872, 2006.
- AMBIENTE, M. DO M. **Energia Eólica**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/energia-eolica>>.
- ANANDA, J.; HERATH, G. A critical review of multi-criteria decision making methods with special reference to forest management and planning. **Ecological Economics**, v. 68, n. 10, p. 2535–2548, 2009.
- ANEEL. Resolução Normativa Nº 687/2015. 2015.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST Módulo 1 – Introdução. 2016.
- ARNALDO, J.; MONTEVECHI, B. ANÁLISE HIERÁRQUICA EM ANÁLISE DE INVESTIMENTOS. p. 1–10, 2016.
- BULLIS, K. **As Turbinas Verticais Vão Fazer Mais Vento ?** Disponível em: <http://www.technologyreview.com.br/read_article.aspx?id=42835>.
- CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tipos de Leilões**. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/tipos_leiloes_n_logado?_afLoop=157335289395553#%40%3F_afLoop%3D1573352893955553%26_adf.ctrl-state%3D141gpfq0d2_39>.
- CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS et al. **Atlas Eólico Bahia**, 2013.
- CHAOKE; HANCHAO, Y.; DANG, F. Application of AHP in Selection of Wind Farm ' s Location. **International Journal of Energy Science**, v. 3, n. 1, p. 18–22, 2013.
- COLLETA, D. D. **Brasil faz placa solar mais eficiente a custos menores**.
- CORRÊA, K. C. Integração de Geração Eólica na Rede Elétrica: Desafios do Brasil. p. 112–133, 2013.
- COSTA, H. G. Introdução Ao Método De Análise Hierárquica. p. 104, 2002.
- DSSG. **Analytical Hierarchy Process**. Disponível em: <<http://dssresources.com/glossary/53.php>>.
- EPE. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**,

2012.

EPE. **Energia Renovável - Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. [s.l.] Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2013. v. 53

EPE. **Projeção da Demanda de Energia Elétrica – para os próximos dez anos (2014–2023)**. 2015a.

EPE. **Plano Decenal de Energia 2024**. **Empresa de Pesquisa Energética**, p. 467, 2015b.

EPE. **Balço Energético Nacional 2016 - Ano Base 2015**, 2016. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf>

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (FIRJAN). **Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal (IFDM)**. Disponível em: <<http://www.firjan.com.br/ifdm/>>.

FEDERAL, G. **Geração de Energia Elétrica**. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/infraestrutura-energetica/geracao-de-energia-eletrica>>.

FORMAN, E. H. Random indices for incomplete pairwise comparison matrices. **European Journal of Operational Research**, v. 48, n. 1, p. 153–155, 1990.

GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA. **Consultas - Territórios de Identidade**. Disponível em: <<http://geo.dieese.org.br/bahia/territorios.php>>. Acesso em: 13 out. 2016.

HAAS, R.; MEIXNER, O. **An illustrated guide to the analytic hierarchy process**, 2005. Disponível em: <<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:An+Illustrated+Guide+to+the+Analytical+Hierarchy+Process#0>>

HÖFER, T.; YASIN SUNAK, R. M.; SIDDIQUE, H. Wind Farm Siting Using a Spatial Analytic Hierarchy Process Approach : A Case Study of the Städteregion Aachen. v. 163, n. 16, p. 1–52, 2014.

IBGE. **Cidades**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=292740>>. Acesso em: 19 out. 2016.

KYRIAKARAKOS, G. et al. A fuzzy cognitive maps decision support system for renewables local planning. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 209–222, 2014.

LOKEN, E. Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 11, n. 7, p. 1584–1595, 2007.

LYNN, P. A et al. Wiley: **Electricity from Sunlight: An Introduction to Photovoltaics** - Paul A. Lynn. **PhD Proposal**, v. 1, n. 1, p. 1–5, 2013.

MARDANI, A. et al. Sustainable and Renewable Energy: An Overview of the Application of Multiple Criteria Decision Making Techniques and Approaches. **Sustainability**, v. 7, n. 10, p. 13947–13984, 2015.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. D. O.; BARROS, M. D. S. O Uso Do Método De

Análise Hierárquica (AHP) Na Tomada De Decisões Gerenciais - Um Estudo de Caso. **XII SGPO**, p. 11, 2009.

OECD. **O que são Unidades de Conservação**. Disponível em: <<http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/27099-o-que-sao-unidades-de-conservacao/>>.

OECD. **O que é uma zona de amortecimento**. Disponível em: <<http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28754-o-que-e-uma-zona-de-amortecimento/>>. Acesso em: 4 jun. 2017.

OLIVEIRA, A. C. DE et al. Relatório Anual de Rotas e Áreas de Concentração de Aves Migratórias no Brasil. **Journal of Chemical Information and Modeling**, 2014.

ONU. **Ranking IDHM Unidades da Federação 2010**. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/atlas/ranking/Ranking-IDHM-UF-2010.aspx>>. Acesso em: 24 ago. 2016.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas Brasileiro De Energia Solar**. [s.l.: s.n.].

PEREIRA, I. Q. G. **Condições de viabilidade de microgeração eólica em zonas urbanas**. [s.l.] Universidade do Porto, 2010.

PEREIRA, R. (O E. DE S. P. **Consumo de energia cresce o dobro do avanço populacional entre 2006 e 2010**. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,consumo-de-energia-cresce-o-dobro-do-avanco-populacional-entre-2006-e-2010-imp-,825976>>. Acesso em: 25 set. 2016.

POHEKAR, S. D.; RAMACHANDRAN, M. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning - A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 8, n. 4, p. 365–381, 2004.

POOLE, B. A. et al. United States of America Federal Energy Regulatory Commission. v. 35, n. 661, 2005.

Potencial eólico do Brasil é de 500 GW, segundo DEWI. Disponível em: <http://www.revistafatorbrasil.com.br/ver_noticia.php?not=303650>. Acesso em: 7 ago. 2016.

ROJAS-ZERPA, J. C.; YUSTA, J. M. **Application of multicriteria decision methods for electric supply planning in rural and remote areas**. [s.l.] Elsevier, 2015.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83, 2008.

SALMINEN, P.; HOKKANEN, J.; LAHDELMA, R. Comparing multicriteria methods in the context of environmental problems. **European Journal of Operational Research**, v. 104, n. 3, p. 485–496, 1998.

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA. Balanço Energético da Bahia 2014 - Série: 1997-2013. p. 1997–2013, 2014.

SECTI. **Mapa de Infraestrutura da Bahia**. Disponível em:

<<http://www2.secti.ba.gov.br/atlasWEB/mapa01.html?mapa=img/mapas/mapa-1pt1>>.

SEI. Índices de Performance Econômico e Social dos Municípios Baianos 2002-2010 SEI - Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia, , 2014. Disponível em: <http://www.sei.ba.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=74&Itemid=110>

SEI. Territórios de Identidade - Estado da Bahia - 2015. Disponível em: <http://www.sei.ba.gov.br/site/geoambientais/mapas/pdf/territ_ident_2v25m_2015.pdf>.

SEPLAN-BA. Territórios de Identidade. Disponível em: <<http://www.seplan.ba.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=17>>. Acesso em: 13 out. 2016.

SILVA, D. M. R. Aplicação do Método AHP para Avaliação de Projetos Industriais. **Dissertação Mestrado Programa de PósGraduação em Engenharia Industrial da PUC-Rio**, p. 128, 2007.

SILVA, K. F. DA. **Controle e integração de centrais eólicas à rede elétrica com geradores de indução duplamente alimentados.** [s.l.] Universidade de São Paulo, 2006.

SILVA, R. M. DA; BELDERRAIN, M. C. N. Considerações sobre métodos de decisão multicritério. 2005.

SOUZA, P. P. S. DE. **Avaliação de Projetos de Sistemas de Transporte Coletivo Urbano com o Emprego do AHP.** [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

TSOUTSOS, T. et al. Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete. **Energy Policy**, v. 37, n. 5, p. 1587–1600, 2009.

VALVERDE, R. **Rafael Valverde: um novo olhar para o setor elétrico.** Disponível em: <<http://www.correio24horas.com.br/detalhe/artigo/noticia/rafael-valverde-um-novo-olhar-para-o-setor-eletrico/?cHash=8d0d98811c73aa8452b1272733089487>>. Acesso em: 13 out. 2016.

VARGAS, R. Utilizando a Programação Multicritério (AHP) Para Selecionar E Priorizar Projetos Na Gestão de Portfólio. 2010.

WANG, J. J. et al. Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 9, p. 2263–2278, 2009.

ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M. Multicriteria classification and sorting methods: A literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 138, n. 2, p. 229–246, 2002.

APÊNDICE A

QUESTIONÁRIO



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM
MODELAGEM COMPUTACIONAL
E
TECNOLOGIA INDUSTRIAL (PPG MCTI)**

Orientador: Dr. Alex Álisson Bandeira Santos
Coorientador: Dr. Eudemario Souza de Santana
Mestrando: Esp. Rômulo Lemos Bulhões

DADOS DO ENTREVISTADO

Nome	
Instituição	
Formação	
Especialização	Sim () Área:
Mestrado	Sim () Área:
Doutorado	Sim () Área:
Pós-doutorado	Sim () Área:
Área de atuação profissional	
Empresa que trabalha	

QUESTIONÁRIO PARA COLETA DE OPINIÕES DE ESPECIALISTAS

Mapear-se-ão regiões para construção de **usinas eólicas e solares** no estado da Bahia, hierarquizando as regiões de acordo com critérios, utilizando uma metodologia para que possa se estabelecer regiões prioritárias de implantação. Propõe-se que esses mapas a serem criados sirvam como referência para tomada de decisão estratégica dos grandes *players* dos setores de gerações eólica e solar, em especial, os órgãos governamentais.

O método a ser utilizado é o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), referências de [1] a [6], em que as opiniões dos especialistas entrevistados servem como base de dados para o algoritmo AHP.

O questionário está sendo entregue para pessoas relacionadas à área de energias eólica e solar. Pede-se que esses especialistas comparem os grupos de critérios escolhidos, assim como os subcritérios pertencentes a estes grupos, conforme mostrado na Figura e Figura , para os casos de instalações de usinas solares e eólicas, respectivamente.

Figura A.1 – Hierarquias do Método AHP – Usinas Solares

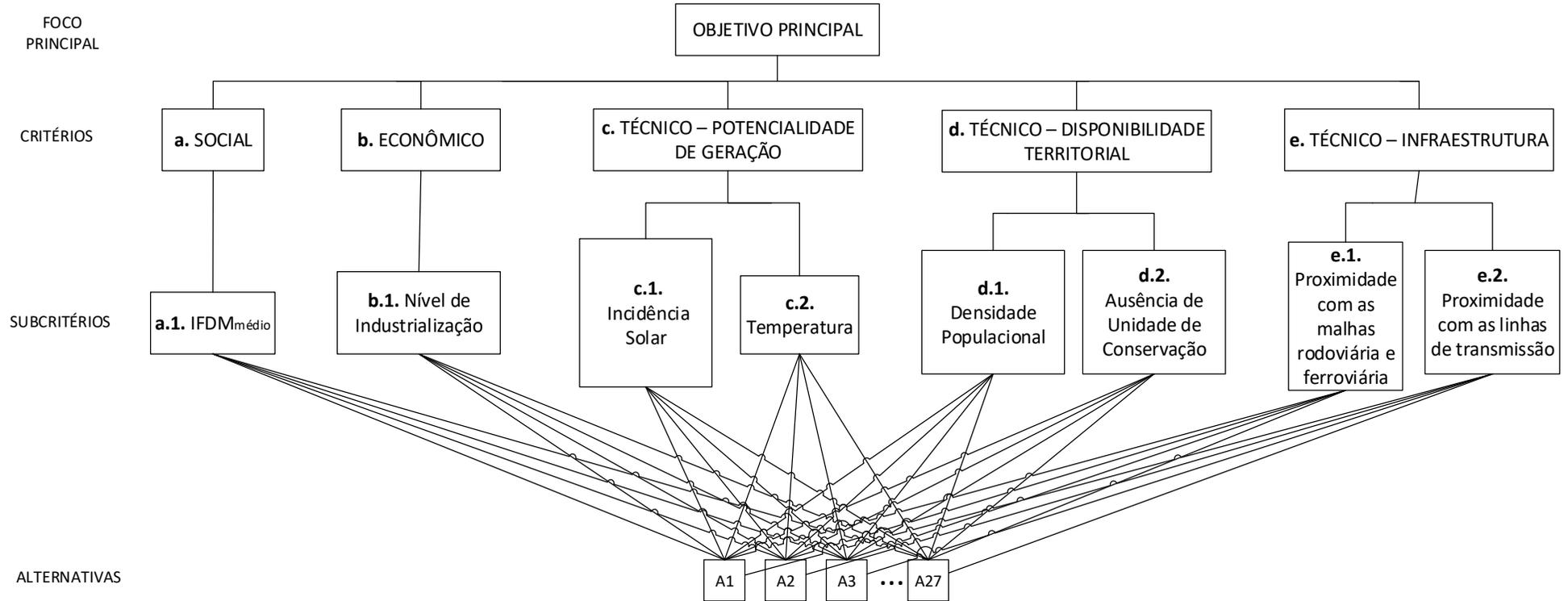
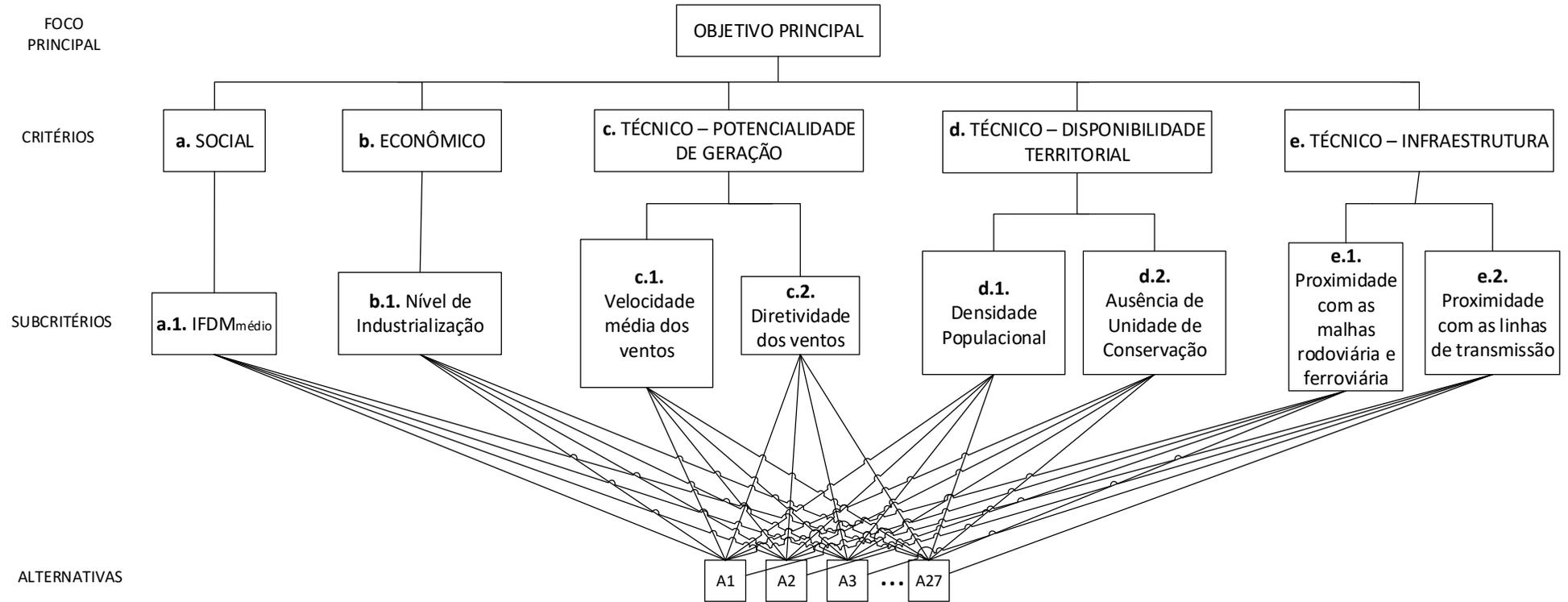


Figura A.2 – Hierarquias do Método AHP – Usinas Eólicas



As comparações para os grupos de critérios e seus respectivos subcritérios são realizadas aos pares (um critério/subcritério em relação a outro critério/subcritério) por meio da escala de Saaty, criada pelo autor do método AHP. A Tabela representa essa escala.

Tabela A.1 - Escala de Saaty.

Valores numéricos	Termos verbais	Explicação
1	<i>Igual Importância</i>	<i>Duas alternativas contribuem igualmente para o objetivo</i>
3	<i>Moderadamente mais importante</i>	<i>Experiência e julgamento favorecem levemente uma alternativa em relação à outra.</i>
5	<i>Fortemente mais importante</i>	<i>Experiência e julgamento favorecem fortemente uma alternativa em relação à outra.</i>
7	<i>Muito fortemente mais importante</i>	<i>Alternativa muito fortemente favorecida em relação à outra. Sua dominância é demonstrada na prática</i>
9	<i>Extremamente mais importante</i>	<i>A evidência favorecendo uma alternativa em relação à outra é da mais alta ordem possível de afirmação</i>
2,4,6 e 8	<i>Valores importantes intermediários</i>	<i>Quando se procura uma condição intermediária entre duas definições.</i>
1,1 a 1,9	<i>Se o grau de importância das alternativas estão muito próximas</i>	<i>Pode ser difícil atribuir o melhor valor, mas quando comparada com outras alternativas, a diferença entre o tamanho desses números poderia não ser percebida, apesar de ainda poder indicar a importância relativa de uma opção em relação a outra.</i>

Os exemplos a seguir mostram como comparar dois critérios, utilizando-se a escala de Saaty:

- “**Critério A**” em relação ao “**Critério B**”. Valor numérico (**3**) -> Significa dizer que o “**Critério A**” é *moderadamente mais importante* do que o “**Critério B**”.
- “**Critério A**” em relação ao “**Critério B**”. Valor numérico (**1/3**) -> Significa que o “**Critério B**” é *moderadamente mais importante* do que o “**Critério A**”.

Agora, utilizando a escala de Saaty (Tabela A.1), pede-se para avaliar, comparativamente, o grau de relevância que tem atualmente um grupo de subcritério em relação ao outro, para o **caso de usinas solares** (vide Figura A.1 em caso de dúvida a respeito dos nomes dos critérios):

1. **Critério social** em relação ao **Critério Econômico**. Valor numérico ().
2. **Critério social** em relação ao **Critério Técnico do Ponto de Vista de Potencialidade de Geração**. Valor numérico ().
3. **Critério social** em relação ao **Critério Técnico do Ponto de Vista de Disponibilidade Territorial**. Valor numérico ().
4. **Critério social** em relação ao **Critério Técnico do Ponto de Vista de Infraestrutura**. Valor numérico ().
5. **Critério econômico** em relação ao **Critério Técnico do Ponto de Vista de Potencialidade de Geração**. Valor numérico ().
6. **Critério econômico** em relação ao **Critério Técnico do Ponto de Vista de Disponibilidade Territorial**. Valor numérico ().
7. **Critério econômico** em relação ao **Critério Técnico do Ponto de Vista de Infraestrutura**. Valor numérico ().
8. **Critério Técnico do Ponto de Vista de Potencialidade de Geração** em relação ao **Critério Técnico do Ponto de Vista de Disponibilidade Territorial**. Valor numérico ().
9. **Critério Técnico do Ponto de Vista de Potencialidade de Geração** em relação ao **Critério Técnico do Ponto de Vista de Infraestrutura**. Valor numérico ().
10. **Critério Técnico do Ponto de Vista de Disponibilidade Territorial** em relação ao **Critério Técnico do Ponto de Vista de Infraestrutura**. Valor numérico ().

Comparar também os seguintes subcritérios, pertencentes aos grupos de critérios:

Comparação dos subcritérios técnicos do ponto de vista de potencialidade de geração:

- **Incidência solar** em relação à **temperatura**. Valor numérico ().

Comparação dos subcritérios técnicos do ponto de vista de disponibilidade territorial:

- **Densidade populacional** em relação à **ausência relativa de unidade de conservação**¹². Valor numérico ().

Comparação dos subcritérios técnicos do ponto de vista de infraestrutura:

- **Proximidade com linhas de transmissão** em relação à **proximidade com malhas rodoviárias e ferroviárias**. Valor numérico ().

¹² Ausência relativa de unidade de conservação é a relação entre a área útil (sem a unidade de conservação) do território, dividida pela área total deste. Entende-se que quanto maior for a magnitude da divisão da área útil pela área total, melhor do ponto de vista para a instalação da usina.

O mesmo é solicitado para o **caso de usinas eólicas**. Comparar, utilizando a escala de Saaty (Tabela A.1), o grau de relevância entre os grupos de critérios (vide Figura A.2 em caso de dúvida com relação aos nomes dos grupos de critérios):

1. **Critério social** em relação ao **Critério Econômico**. Valor numérico ().
2. **Critério social** em relação ao **Critério Técnico do Ponto de Vista de Potencialidade de Geração**. Valor numérico ().
3. **Critério social** em relação ao **Critério Técnico do Ponto de Vista de Disponibilidade Territorial**. Valor numérico ().
4. **Critério social** em relação ao **Critério Técnico do Ponto de Vista de Infraestrutura**. Valor numérico ().
5. **Critério econômico** em relação ao **Critério Técnico do Ponto de Vista de Potencialidade de Geração**. Valor numérico ().
6. **Critério econômico** em relação ao **Critério Técnico do Ponto de Vista de Disponibilidade Territorial**. Valor numérico ().
7. **Critério econômico** em relação ao **Critério Técnico do Ponto de Vista de Infraestrutura**. Valor numérico ().
8. **Critério Técnico do Ponto de Vista de Potencialidade de Geração** em relação ao **Critério Técnico do Ponto de Vista de Disponibilidade Territorial**. Valor numérico ().
9. **Critério Técnico do Ponto de Vista de Potencialidade de Geração** em relação ao **Critério Técnico do Ponto de Vista de Infraestrutura**. Valor numérico ().
10. **Critério Técnico do Ponto de Vista de Disponibilidade Territorial** em relação ao **Critério Técnico do Ponto de Vista de Infraestrutura**. Valor numérico ().

Comparar também os seguintes subcritérios, para o caso de usinas eólicas:

Comparação dos subcritérios técnicos do ponto de vista de potencialidade de geração:

- **Velocidade média anual dos ventos** em relação à **diretividade dos ventos**¹³. Valor numérico ().

Comparação dos subcritérios técnicos do ponto de vista de disponibilidade territorial:

- **Densidade populacional** em relação à **ausência relativa de unidade de conservação**. Valor numérico ().

Comparação dos subcritérios técnicos do ponto de vista de infraestrutura:

- **Proximidade com linhas de transmissão** em relação à **proximidade com malhas rodoviárias e ferroviárias**. Valor numérico ().

Obrigado pelas suas respostas.

¹³ Diretividade dos ventos é um indicador usado para dizer medir a uniformidade da direção dos ventos. Quanto mais os ventos apontam para uma direção, maior a sua diretividade.


```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Início - Comparacao Dados Regioes - Subcritérios Técnicos - TERRITORIAL -
Usinas Eólicas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

    ContLinha =
1+QuantRegioes*(QuantSubSociais+QuantSubEconomicos+QuantSubTecGerEolica);
%Início da %Contagem das Linhas
    Cont1=1;

    for Cont=1:QuantSubTecTerritEolica

        MatrizAux = DadosRegioesEolica( [ContLinha : ContLinha + QuantRegioes -
1] ,1 );
        MatrizAux=matrizcomparacao(MatrizAux,QuantRegioes);
        ContLinha=ContLinha + QuantRegioes;
        s='Subcritério Técnico TERRITORIAL de REGIÕES - Usinas Eólicas';
        [Vetorprioridade,
MatrizRCComparacao,a]=prioridade(MatrizAux,1,QuantRegioes,RCref,s);
%Intencionalmente colocou-se 1 para o cálculo de 1 único subcritério e
quantidade de regiões em vez de quantidade de subcritérios, para o cálculo
da prioridade dos dados das regiões.
        VetorprioridadesRegioesSubTecTerritEolica(:,Cont)=Vetorprioridade;
        MatrizRCComparacao(1)=Cont1;
        Cont1=Cont1+1;
        MatrizRCComparacaoSubTecTerritRegioesEolica(Cont,:)=MatrizRCComparacao;

    end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Fim - Comparacao Dados Regioes - Subcritérios Técnicos - TERRITORIAL -
Usinas Eólicas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Início - Comparacao Dados Regioes - Subcritérios Técnicos - INFRAESTRUTURA
- Usinas Eólicas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

    ContLinha =
1+QuantRegioes*(QuantSubSociais+QuantSubEconomicos+QuantSubTecGerEolica+Qua
ntSubTecTerritEolica); %Início da Contagem das Linhas
    Cont1=1;

    for Cont=1:QuantSubTecInfraEolica

        MatrizAux = DadosRegioesEolica( [ContLinha : ContLinha + QuantRegioes -
1] ,1 );
        MatrizAux=matrizcomparacao(MatrizAux,QuantRegioes);
        ContLinha=ContLinha + QuantRegioes;
        s='Subcritério Técnico INFRAESTRUTURA de REGIÕES - Usinas Eólicas';
        [Vetorprioridade,
MatrizRCComparacao,a]=prioridade(MatrizAux,1,QuantRegioes,RCref,s);
%Intencionalmente colocou-se 1 para o cálculo de 1 único subcritério e
quantidade de regiões em vez de quantidade de subcritérios, para o cálculo
da prioridade dos dados das regiões.
        VetorprioridadesRegioesSubTecInfraEolica(:,Cont)=Vetorprioridade;

```



```

% CONCATENANDO os Vetores Prioridades para TODOS os critérios - Usinas
Eolicas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Cont1=1;
  for Cont=1:QuantTotalEntrevistados
    VetorSubcriteriosConcatenadoEolica(:, [Cont1:Cont1+QuantCritériosEolica-
1])= horzcat (VetorprioridadesRegioesSocialEolica,
VetorprioridadesRegioesEconomicoEolica,
VetorSubTecGerEolicaConcatenado(:,Cont),
VetorSubTecTerritEolicaConcatenado(:,Cont),
VetorSubTecInfraEolicaConcatenado(:,Cont));
    Cont1=Cont1+QuantCritériosEolica;
  end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Fim - Concatenando os Vetores Prioridades para Todos os critérios -
Usinas Eolicas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Encontrando o Vetor Prioridade Final para cada Entrevistado - Usinas
Eólicas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Cont1=1;
  for Cont=1:QuantTotalEntrevistados
    VetorPrioridadeFinalEntrevistadoEolica(:,Cont)=
    VetorSubcriteriosConcatenadoEolica(:, [Cont1:Cont1+QuantCritériosEolica-
1])*Vetorprioridadecriterioseolica(:,Cont);
    Cont1=Cont1+QuantCritériosEolica;
  end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Fim - Encontrando o Vetor Prioridade Final para cada Entrevistado -
Usinas Eólica
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Encontrando o Vetor Prioridade Final para todos os Entrevistados - Usinas
Eolicas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%VetorPrioridadeFinalSolar=1;
% Calculando a Média Geométrica Final
if QuantTotalEntrevistados <=1
  VetorPrioridadeFinalEolica = VetorPrioridadeFinalEntrevistadoEolica;
else
  for Cont=1:QuantRegioes
    for cont1=1:QuantTotalEntrevistados
      if cont1==1
        VetorPrioridadeFinalEolica(Cont,1) =
VetorPrioridadeFinalEntrevistadoEolica(Cont,cont1);
      else
        VetorPrioridadeFinalEolica(Cont,1) =
VetorPrioridadeFinalEolica(Cont,1)*VetorPrioridadeFinalEntrevistadoEolica(C
ont,cont1);
      end
    end
    VetorPrioridadeFinalEolica(Cont,1)=
VetorPrioridadeFinalEolica(Cont,1)^(1/QuantTotalEntrevistados); %Média
Geométrica
  end
end
end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Fim - Encontrando o Vetor Prioridade Final para todos os Entrevistados -
Usinas Eolicas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Normalizando para que os índices do Vetor Prioridade Final fiqueo no
%intervalo de (0;100] - Usinas Eólicas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
VetorPrioridadeFinalEolicaNormalizado=normalizacao(VetorPrioridadeFinalEoli
ca, QuantRegioes);

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Fim - Normalizando para que os índices do Vetor Prioridade Final fiqueo
%no intervalo de (0;100] - Usinas Eólicas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

APÊNDICE B.2 – PROGRAMA PRINCIPAL – TURBINAS DE EIXO VERTICAL

```

clc
clear all

```

```

TRUE = 1;
FALSE = 0;
RCref = 0.1;%Valor de referência para indicação de coerência dos dados

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Leitura dos dados para avaliação das prioridades dos especialistas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

ResumoGrupos =
xlsread('Dados_de_entrada_Turbinas_Eolicas_Eixo_VERTICAL','ResumoEntrevista
dos','B1:B30');

```

```

%Nome do arquivo (sem aspas): "entrevistados_NOVO3_pos_escrita.xlsx".
%Nome da aba selecionada(sem aspas):"ResumoEntrevistados".
%Células selecionadas: B1:B20 (B1 a B20).

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Segregação e arrumação dos dados obtidos com a planilha do Excel
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

QuantTotalEntrevistados = ResumoGrupos(1);
QuantCriteriosEolica = ResumoGrupos(2);
QuantSubTecGerEolica=ResumoGrupos(3); % Quantidade de Subcritérios
Técnicos do Ponto de Vista de Geração - Caso Eólica
QuantSubTecTerritEolica=ResumoGrupos(4); % Quantidade de Subcritérios
Técnicos do Ponto de Vista Territorial - Caso Eólica
QuantSubTecInfraEolica=ResumoGrupos(5); % Quantidade de Subcritérios
Técnicos do Ponto de Vista de Infraestrutura - Caso Eólica
QuantSubTecEolica=ResumoGrupos(6);
QuantSubSociais = ResumoGrupos(7); % Quantidade de Subcritérios
Sociais - Eólica e Solar
QuantSubEconomicos = ResumoGrupos(8); % Quantidade de Subcritérios
Econômicos - Eólica e Solar

```

```

QuantSubTotalEolica = ResumoGrupos (9); % Quantidade de Subcritérios Total
- Eólica
QuantRegioes = ResumoGrupos (10);          % Quantidade de Regiões

CriteriosEolica =
xlsread('Dados_de_entrada_Turbinas_Eolicas_Eixo_VERTICAL','CriteriosEolica'
,'A1:D200'); %Contém dados que não são números
TecnicoTerritorialEolica=xlsread('Dados_de_entrada_Turbinas_Eolicas_Eixo_VE
RTICAL','TecnicoTerritorialEolica','A1:D200');
TecnicoInfraestruturaEolica=xlsread('Dados_de_entrada_Turbinas_Eolicas_Eixo
_VERTICAL','TecnicoInfraestruturaEolica','A1:D200');
DadosRegioesEolica=xlsread('Dados_de_entrada_Turbinas_Eolicas_Eixo_VERTICAL
','DadosRegioes','A1:B230');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Exclusão de termos que não são numeros (NaN - Not a Number)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
CriteriosEolica(~any(~isnan(CriteriosEolica),2),:)=[];
%TecnicoGeracaoEolica(~any(~isnan(TecnicoGeracaoEolica),2),:)=[];
TecnicoTerritorialEolica(~any(~isnan(TecnicoTerritorialEolica),2),:)=[];
TecnicoInfraestruturaEolica(~any(~isnan(TecnicoInfraestruturaEolica),2),:)=
[];
DadosRegioesEolica(~any(~isnan(DadosRegioesEolica),2),:)=[];
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Início - Coerência Comparação Criterios - Usinas Eólicas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

s='Critérios - Usinas Eólicas';
[Vetorprioridadecriterioseolica,MatrizRCComparacaoCriterioseolica,a]=priori
dade(CriteriosEolica,QuantTotalEntrevistados,QuantCriteriosEolica,RCref,s);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Fim - Coerência Comparação Criterios - Usinas Eólicas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Início - Coerência Comparação Subcritérios Técnicos - TERRITORIAL - Eólica
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

s='Subcritérios Técnicos de TERRITORIAL - Usinas Eólicas';
[VetorprioridadesSubTecTerritEolica,
MatrizRCComparacaoSubTecTerritEolica,a]=prioridade(TecnicoTerritorialEolica
,QuantTotalEntrevistados,QuantSubTecTerritEolica,RCref,s);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Fim - Coerência Comparação Subcritérios Técnicos - TERRITORIAL - Eólica
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Início - Coerência Comparação Subcritérios Técnicos - INFRAESTRUTURA -
Eólica

```



```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% CONCATENANDO os Vetores Prioridades para TODOS os critérios - Usinas
Eolicas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Cont1=1;
  for Cont=1:QuantTotalEntrevistados
    VetorSubcriteriosConcatenadoEolica(:, [Cont1:Cont1+QuantCritériosEolica-
1])= horzcat (VetorprioridadesRegioesSocialEolica,
VetorprioridadesRegioesEconomicoEolica,
VetorprioridadesSubTecGerRegioesEolica,
VetorSubTecTerritEolicaConcatenado(:,Cont),
VetorSubTecInfraEolicaConcatenado(:,Cont));
    Cont1=Cont1+QuantCritériosEolica;
  end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Fim - Concatenando os Vetores Prioridades para Todos os critérios -
Usinas Eolicas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Encontrando o Vetor Prioridade Final para cada Entrevistado - Usinas
Eólicas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Cont1=1;
  for Cont=1:QuantTotalEntrevistados
    VetorPrioridadeFinalEntrevistadoEolica(:,Cont)=
VetorSubcriteriosConcatenadoEolica(:, [Cont1:Cont1+QuantCritériosEolica-
1])*Vetorprioridadecriterioseolica(:,Cont);
    Cont1=Cont1+QuantCritériosEolica;
  end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Fim - Encontrando o Vetor Prioridade Final para cada Entrevistado -
Usinas Eólica
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Encontrando o Vetor Prioridade Final para todos os Entrevistados - Usinas
Eolicas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%VetorPrioridadeFinalSolar=1;
% Calculando a Média Geométrica Final
if QuantTotalEntrevistados <=1
  VetorPrioridadeFinalEolica = VetorPrioridadeFinalEntrevistadoEolica;
else
  for Cont=1:QuantRegioes
    for cont1=1:QuantTotalEntrevistados
      if cont1==1
        VetorPrioridadeFinalEolica(Cont,1) =
VetorPrioridadeFinalEntrevistadoEolica(Cont,cont1);
      else
        VetorPrioridadeFinalEolica(Cont,1) =
VetorPrioridadeFinalEolica(Cont,1)*VetorPrioridadeFinalEntrevistadoEolica(C
ont,cont1);
      end
    end
    VetorPrioridadeFinalEolica(Cont,1)=
VetorPrioridadeFinalEolica(Cont,1)^(1/QuantTotalEntrevistados); %Média
Geométrica

```

```

end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Fim - Encontrando o Vetor Prioridade Final para todos os Entrevistados -
Usinas Eolicas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Normalizando para que os índices do Vetor Prioridade Final fiqueo no
intervalo de (0;100] - Usinas Eólicas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
VetorPrioridadeFinalEolicaNormalizado=normalizacao(VetorPrioridadeFinalEoli
ca, QuantRegioes);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Fim - Normalizando para que os índices do Vetor Prioridade Final fiqueo
no intervalo de (0;100] - Usinas Eólicas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

APÊNDICE B.3 – Programa Auxiliar – Razão de Coerência

```

function rc = razaodecoerencia(A,V)

sum = 0;
n=size(A);
n = n(1);

%Passo 1 - Encontrando a matriz auxiliar
for x = 1:n;
    for y = 1:n;
        Aaux(y,x) = A(y,x) * V(x);
    end
end
%Passo 2 - Encontrando o vetor prioridade auxiliar 1
for x = 1:n;
    for y = 1:n;
        sum = sum + Aaux(x,y); %Somatório das linhas
    end
    Vaux1(x) = sum; %Vetor prioridade
    sum = 0;
end
Vaux1 = Vaux1';
%Passo 3 - Encontrando o vetor prioridade auxiliar 2
for x = 1:n;
    Vaux2(x) = Vaux1(x) / V(x);
end
%Passo 4 - Encontrando autovalor máximo
for x = 1:n;
    sum = sum + Vaux2(x);
end
lambdamax = sum / n;
sum = 0;
%Passo 5 - Calculando o Índice de coerência
ic = abs(lambdamax-n)/(n-1);
ic=round(ic,4);
%Passo 6 - Calculando a razão de coerência

```

```

ir=[0 0 0.58 0.9 1.12 1.24 1.32 1.41 1.45 1.49 1.51 1.54 1.56 1.57];
if n > 14
    n = 14;
end
rc = ic / ir(n);
end

```

APÊNDICE B.4 – Programa Auxiliar – Cálculo dos vetores prioridades

```

function
[Vetorprioridade,MatrizRCComparacaoCriterios,a]=prioridade(planilha,QuantTo
talEntrevistados,QuantCriterios,RCref,s)

TRUE = 1;
FALSE = 0;

ContLinha = 1; %Início da Contagem das Linhas
FlagIncoerencia = 0; % Flag razão de incoerência (início)

for Cont = 1:QuantTotalEntrevistados;
    MatrizAux = planilha( [ContLinha : ContLinha + QuantCriterios-1] , [ 1
: QuantCriterios] );
    ContLinha = ContLinha + QuantCriterios;

    VetorAux = somalinhas(MatrizAux); %Somando as linhas da matriz de
%opiniões sobre prioridades das profissões
    VetorAux = normalizacaovetor(VetorAux); %Normalizando o vetor
%prioridades das profissões
    VetorRCComparacaoRegioes(Cont) =
razaodecoerencia(MatrizAux,VetorAux);%Avaliação da Coerência da Matriz das
%Profissões
    VetorNumeroEntrevistado(Cont) = Cont;
    Vetorprioridade(:,Cont)=VetorAux;

    if VetorRCComparacaoRegioes(Cont) > RCref
        FlagIncoerencia = TRUE;
        VetorFlagIncoerencia(Cont)= 1;
    else
        VetorFlagIncoerencia(Cont)= 0;
    end
end

%Se houve pelo menos um entrevistado cuja RC deu incoerência, mostra-se o
%número do entrevistado e sua RC
if (FlagIncoerencia == TRUE && Cont == QuantTotalEntrevistados)
    % disp('Há dados de entrevistados incoerentes na Comparação dos
Critérios');
    a=fprintf('Comparação de %s - INCOERENTE!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!\n', s);
else
    % disp('Comparação ok')
    a=fprintf('Comparação de %s OK\n',s);
end
MatrizRCComparacaoCriterios = horzcat(VetorNumeroEntrevistado',
VetorRCComparacaoRegioes', VetorFlagIncoerencia');

```

APÊNDICE B.5 – Programa Auxiliar – Normalização Vetor

```
function vetornormalizado = normalizacaovetor(V)

sum = 0;
n=size(V);
n = n(1);

%Passo 1 - Encontrando a soma dos elementos do vetor
for x = 1:n;
    sum = sum + V(x);
end
%Passo 2 - Dividindo cada elemento do vetor pelo somatório do passo 1
for x = 1:n;
    vetornormalizado(x) = V(x) / sum;
end
vetornormalizado = vetornormalizado';
end
```

APÊNDICE B.6 – Programa Auxiliar – Geração da Matriz de Comparação para os Territórios de Identidade

```
function MatrizComparacao=matrizcomparacao(MatrizAux,QuantRegioes)

%Aproximação de valores nulos para números ínfimos
n=size(MatrizAux,1);
for i=1:n
    if MatrizAux(i)==0
        MatrizAux(i)=1E-32;
    end
end

%Comparando regiões
for i=1:QuantRegioes
    for j=1:QuantRegioes
        if i>=j
            MatrizComparacao(i,j)=MatrizAux(i)/MatrizAux(j);
            MatrizComparacao(j,i)=MatrizAux(j)/MatrizAux(i);
        end
    end
end
end
```

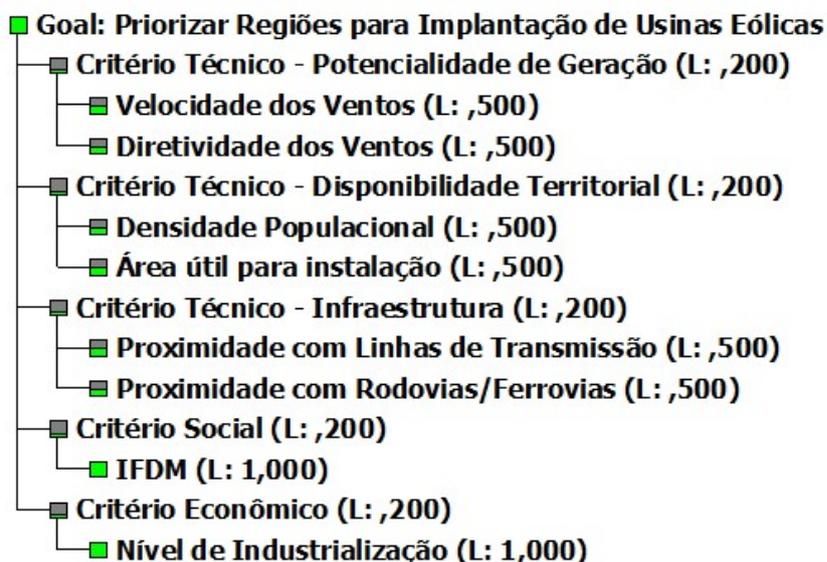
APÊNDICE C

Teste realizado com o Programa Expert Choice 11

O objetivo deste apêndice é retratar os erros de resultados apresentados pelo programa Expert Choice 11 (EC 11), dando o devido embasamento do motivo pelo qual este *software* não ter sido utilizado na presente dissertação. Inicialmente, os resultados encontrados com o EC 11 e o algoritmo em MATLAB foram adquiridos utilizando-se os próprios dados dos territórios de identidade e as opiniões dos entrevistados para esse trabalho. Entretanto, percebeu-se que o ordenamento de territórios encontrado pelos programas (EC 11 e algoritmo em MATLAB) estava apresentando discrepância e acreditava-se que o erro estivesse na programação construída em MATLAB, visto que o EC 11 é um programa para o método AHP já consolidado no mercado. Após uma investigação minuciosa desses dois programas, percebeu-se o contrário: EC 11 estava apresentando resultados que não condiziam com o que era esperado, enquanto que o *software* em MATLAB apresentava resultados precisos. Os testes de robustez realizados, bem como os seus respectivos resultados, são discorridos neste apêndice.

Primeiramente, inseriram-se os critérios e subcritérios utilizados nesse trabalho no programa Expert Choice 11, com a devida hierarquização do objetivo principal aos subcritérios, conforme apresentado pela Figura C.1

Figura C.1 – Hierarquias utilizando o programa Expert Choice 11



Compararam-se paritariamente os grupos de critérios, dando valores unitários para essas comparações (mesmo grau de importância para esses grupos de critérios), conforme apresentado pela Figura C.2

Figura C.2 – Hiararquias utilizando o programa Expert Choice 11

	Critério Técnico - Potencialidade de Geração	Critério Técnico - Disponibilidade Territorial	Critério Técnico - Infraestrutura	Critério Social	Critério Econômico
Critério Técnico - Potencialidade de Geração		1,0	1,0	1,0	1,0
Critério Técnico - Disponibilidade Territorial			1,0	1,0	1,0
Critério Técnico - Infraestrutura				1,0	1,0
Critério Social					1,0
Critério Econômico	Incon: 0,00				

O mesmo foi feito (comparações paritárias) para subcritérios pertencentes a um mesmo grupo de critérios, atribuindo-lhes valores unitários, conforme apresentado pela Figura C.2, Figura C.3 e Figura C.4.

Figura C.2 – Comparação dos subcritérios do ponto de vista de potencialidade de geração

	Velocidade dos Ventos	Diretividade dos Ventos
Velocidade dos Ventos		1,0
Diretividade dos Ventos	Incon: 0,00	

Figura C.2 – Comparação dos subcritérios do ponto de vista de disponibilidade territorial

	Densidade Populacional	Área útil para instalação
Densidade Populacional		1,0
Área útil para instalação	Incon: 0,00	

Figura C.3 – Comparação dos subcritérios do ponto de vista de infraestrutura

	Proximidade com Linhas de Transmissão	Proximidade com Rodovias/Ferrovias
Proximidade com Linhas de Transmissão		1,0
Proximidade com Rodovias/Ferrovias	Incon: 0,00	

Para cada território de identidade, é atribuído um valor de um indicador relacionado à um determinado subcritério. Assim, foram inseridos valores unitários para todos os indicadores (relacionados aos respectivos subcritérios), igualando desse modo, o grau de importância dos territórios, ficando de fora apenas um indicador (relacionado ao subcritério social), podendo-se saber obrigatoriamente os territórios de maior relevância, e a ordem entre eles, conforme apresentado pela Figura C.4. A essa primeira situação, atribui-se o nome de “caso 1” e às demais simulações, por consequência, de “caso 2, caso 3, ..., caso N”.

Figura C.4 – Comparação dos territórios de identidade em relação aos subcritérios – Caso 1

Distributive mode	DIRECT	DIRECT	DIRECT	DIRECT	DIRECT	DIRECT	DIRECT	DIRECT
Alternative	Critério Técnico - Potencialid Velocidade dos Ventos (L: .500)	Critério Técnico - Potencialid Diretividade dos Ventos (L: .500)	Critério Técnico - Disponibili Densidade Populacional (L: .500)	Critério Técnico - Disponibili Área útil para instalação (L: .500)	Critério Técnico - Infraestrut Proximidade com Linhas de Transmissão (L: .500)	Critério Técnico - Infraestrut Proximidade com Rodovias/Ferro vias (L: .500)	Critério Social IFDM (L: 1.000)	Critério Econômico Nível de Industrialização (L: 1.000)
✓ Região 1	1	1	1	1	1	1	0.2	1
✓ Região 2	1	1	1	1	1	1	0.3	1
✓ Região 3	1	1	1	1	1	1	0.4	1
✓ Região 4	1	1	1	1	1	1	0.5	1
✓ Região 5	1	1	1	1	1	1	0.6	1
✓ Região 6	1	1	1	1	1	1	0.7	1
✓ Região 7	1	1	1	1	1	1	0.8	1
✓ Região 8	1	1	1	1	1	1	0.9	1
✓ Região 9	1	1	1	1	1	1	1	1
✓ Região 10	1	1	1	1	1	1	0.1	1
✓ Região 11	1	1	1	1	1	1	0.1	1
✓ Região 12	1	1	1	1	1	1	0.1	1
✓ Região 13	1	1	1	1	1	1	0.1	1
✓ Região 14	1	1	1	1	1	1	0.1	1
✓ Região 15	1	1	1	1	1	1	0.1	1
✓ Região 16	1	1	1	1	1	1	0.1	1
✓ Região 17	1	1	1	1	1	1	0.1	1
✓ Região 18	1	1	1	1	1	1	0.1	1
✓ Região 19	1	1	1	1	1	1	0.1	1
✓ Região 20	1	1	1	1	1	1	0.1	1
✓ Região 21	1	1	1	1	1	1	0.1	1
✓ Região 22	1	1	1	1	1	1	0.1	1
✓ Região 23	1	1	1	1	1	1	0.1	1
✓ Região 24	1	1	1	1	1	1	0.1	1
✓ Região 25	1	1	1	1	1	1	0.1	1
✓ Região 26	1	1	1	1	1	1	0.1	1
✓ Região 27	1	1	1	1	1	1	0.1	1

Percebe-se, pela Figura C.4, que há uma diferença de notas relativamente altas entre os territórios de identidade (Os territórios de identidade foram denominados de “Região” com sua respectiva numeração, no programa Expert Choice, por escolha própria do usuário). Para exemplificar, a variação percentual de notas entre os territórios 9 e 8, que são os primeiros colocados, é de 10%

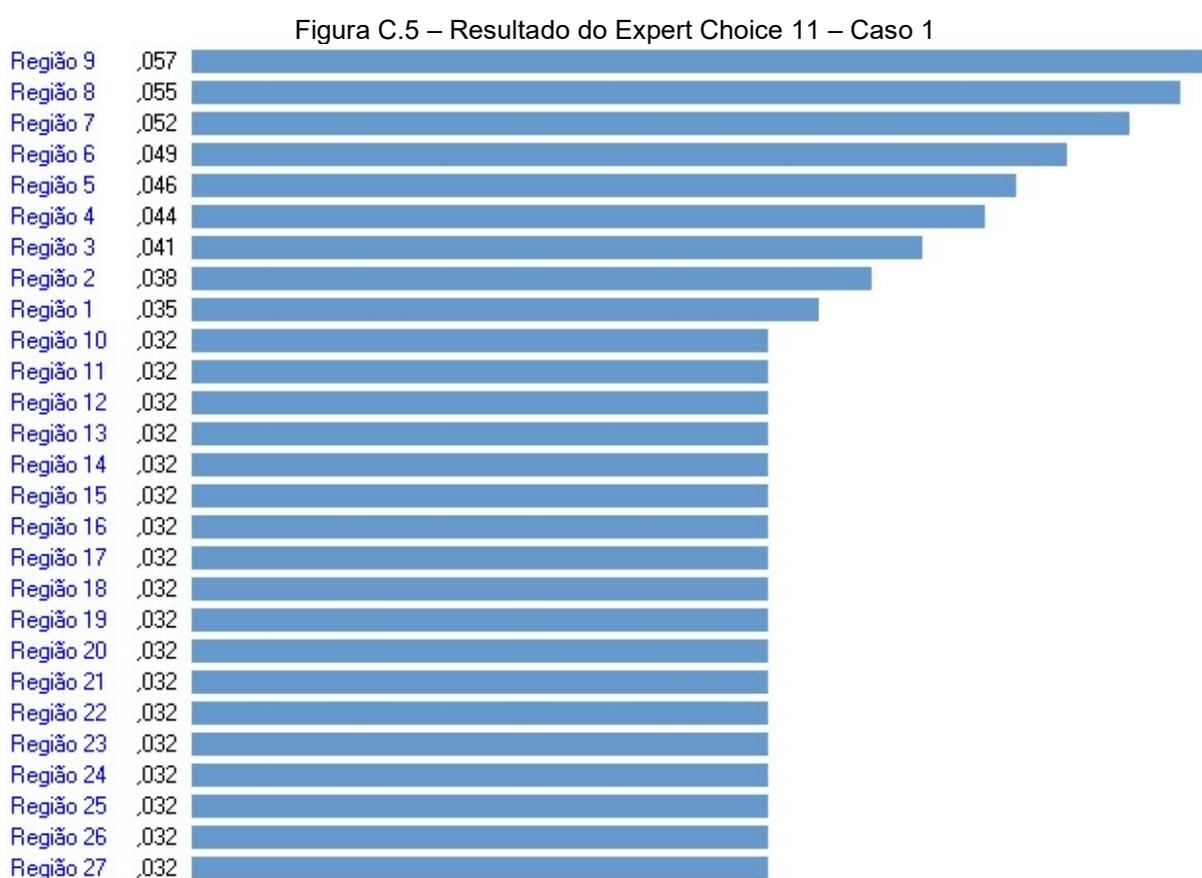
Pela Figura C.4 e pelas comparações unitárias realizadas anteriormente (Figura C.1, Figura C.2, Figura C.3), infere-se a ordem de prioridade dos territórios em questão (resultado esperado), além dos resultados obtidos com algoritmo em MATLAB e com o Expert Choice 11, conforme apresentado pela Tabela C.1

Tabela C.1 – Resultado Esperado x Resultado em MATLAB x Resultado Expert Choice 11 – Caso 1

Posição	Território esperado na referida posição	Resultado Expert Choice 11 (Vide Figura C.5)	Resultado em MATLAB
1	9	9	9
2	8	8	8
3	7	7	7

4	6	6	6
5	5	5	5
6	4	4	4
7	3	3	3
8	2	2	2
9	1	1	1
10	Todos os demais	Todos os demais	Todos os demais

A Figura C.5 apresenta o resultado encontrado com o programa Expert Choice 11.



Para o caso em questão, os resultados encontrados com o programa Expert Choice, apresentado na Figura C.5, foram conforme o esperado.

Um novo teste foi realizado (caso 2), mantendo-se a inserção de dados do caso anterior e alterando apenas as notas do IFDM (pertence ao critério social) de cada território de identidade, tornando os valores mais próximos entre eles, com um erro de

5% entre o território com maior IFDM e o segundo colocado, conforme apresentado pela Figura C.6.

Figura C.6 – Comparação dos territórios de identidade em relação aos subcritérios – Teste para Subcritério Social – Caso 2

Alternative	DIRECT	DIRECT	DIRECT	DIRECT	DIRECT	DIRECT	DIRECT	DIRECT
Ideal mode	Critério Técnico - Potencialid Velocidade dos Ventos (L: .500)	Critério Técnico - Potencialid Diretividade dos Ventos (L: .500)	Critério Técnico - Disponibili Densidade Populacional (L: .500)	Critério Técnico - Disponibili Área útil para instalação (L: .500)	Critério Técnico - Infraestrut Proximidade com Linhas de Transmissão (L: .500)	Critério Técnico - Infraestrut Proximidade com Rodovias/Ferrovias (L: .500)	Critério Social IFDM (L: 1.000)	Critério Econômico Nível de Industrialização (L: 1.000)
✓ Região 1	1	1	1	1	1	1	0,65	1
✓ Região 2	1	1	1	1	1	1	0,6	1
✓ Região 3	1	1	1	1	1	1	0,65	1
✓ Região 4	1	1	1	1	1	1	0,7	1
✓ Região 5	1	1	1	1	1	1	0,75	1
✓ Região 6	1	1	1	1	1	1	0,8	1
✓ Região 7	1	1	1	1	1	1	0,85	1
✓ Região 8	1	1	1	1	1	1	0,9	1
✓ Região 9	1	1	1	1	1	1	0,95	1
✓ Região 10	1	1	1	1	1	1	1	1
✓ Região 11	1	1	1	1	1	1	0,5	1
✓ Região 12	1	1	1	1	1	1	0,5	1
✓ Região 13	1	1	1	1	1	1	0,5	1
✓ Região 14	1	1	1	1	1	1	0,5	1
✓ Região 15	1	1	1	1	1	1	0,5	1
✓ Região 16	1	1	1	1	1	1	0,5	1
✓ Região 17	1	1	1	1	1	1	0,5	1
✓ Região 18	1	1	1	1	1	1	0,5	1
✓ Região 19	1	1	1	1	1	1	0,5	1
✓ Região 20	1	1	1	1	1	1	0,5	1
✓ Região 21	1	1	1	1	1	1	0,5	1
✓ Região 22	1	1	1	1	1	1	0,5	1
✓ Região 23	1	1	1	1	1	1	0,5	1
✓ Região 24	1	1	1	1	1	1	0,5	1
✓ Região 25	1	1	1	1	1	1	0,5	1
✓ Região 26	1	1	1	1	1	1	0,5	1
✓ Região 27	1	1	1	1	1	1	0,5	1

O resultado esperado, além dos resultados em MATLAB e com o Expert Choice 11 são apresentados na Tabela C.2.

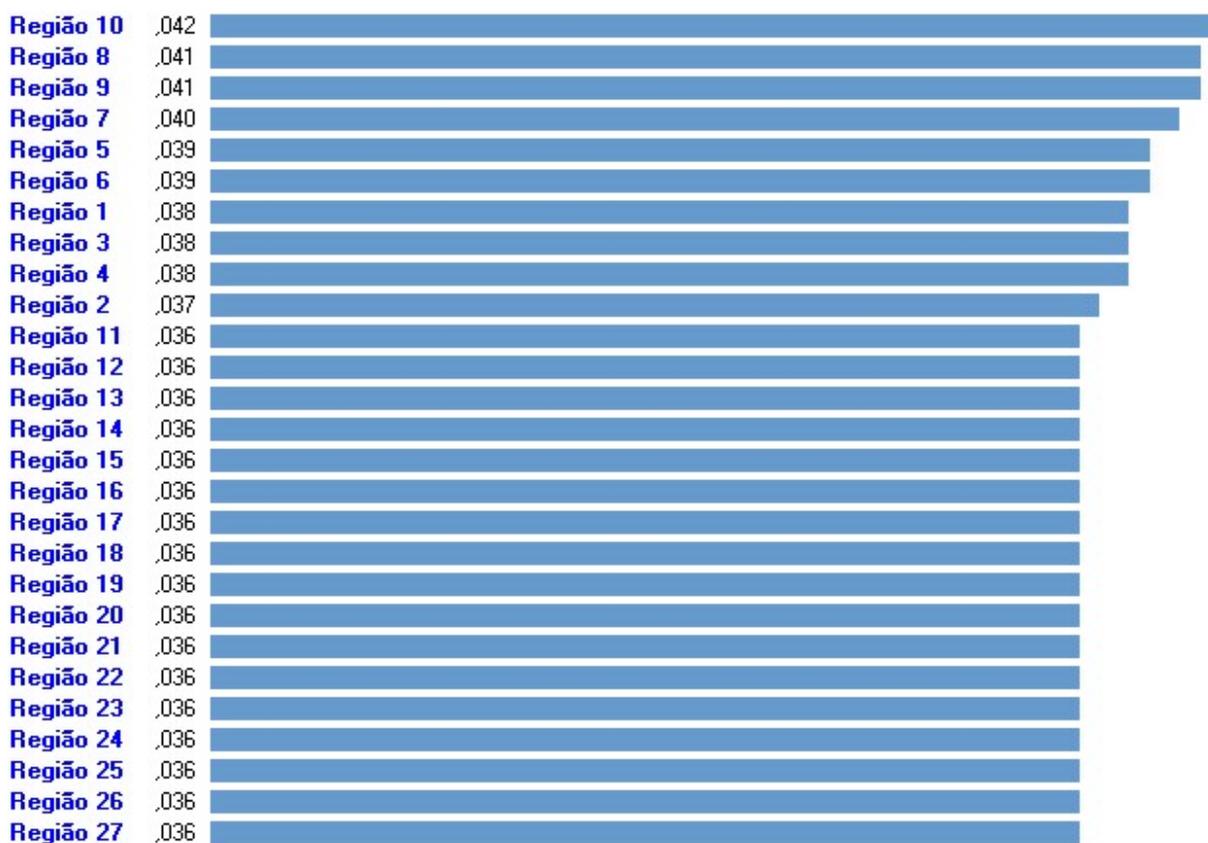
Tabela C.2 – Resultado Esperado – Caso 2

Posição	Território esperado na referida posição	Resultado do Expert Choice 11 (Vide Figura C.7)	Resultado em MATLAB
1	10	10	10
2	9	8	9
3	8	9	8
4	7	7	7
5	6	5	6
6	5	6	5
7	4	1	4
8	3	3	3
9	2	4	2

10	1	2	1
11	Todos os demais	Todos os demais	Todos os demais

O resultado do programa para é apresentado na Figura C.7.

Figura C.7 – Resultado do Expert Choice 11 – Caso 2



Perceberam-se imprecisões nos resultados no programa Expert Choice 11. Para exemplificar, a posição do território (região) 5 foi invertida com a do território (região) 6 e vice-versa. Outro exemplo que pode ser dado é com relação ao território (região) 1, que deveria ocupar a 10ª colocação, mas em vez disso está alocado na 7ª posição, pelo programa Expert Choice 11.

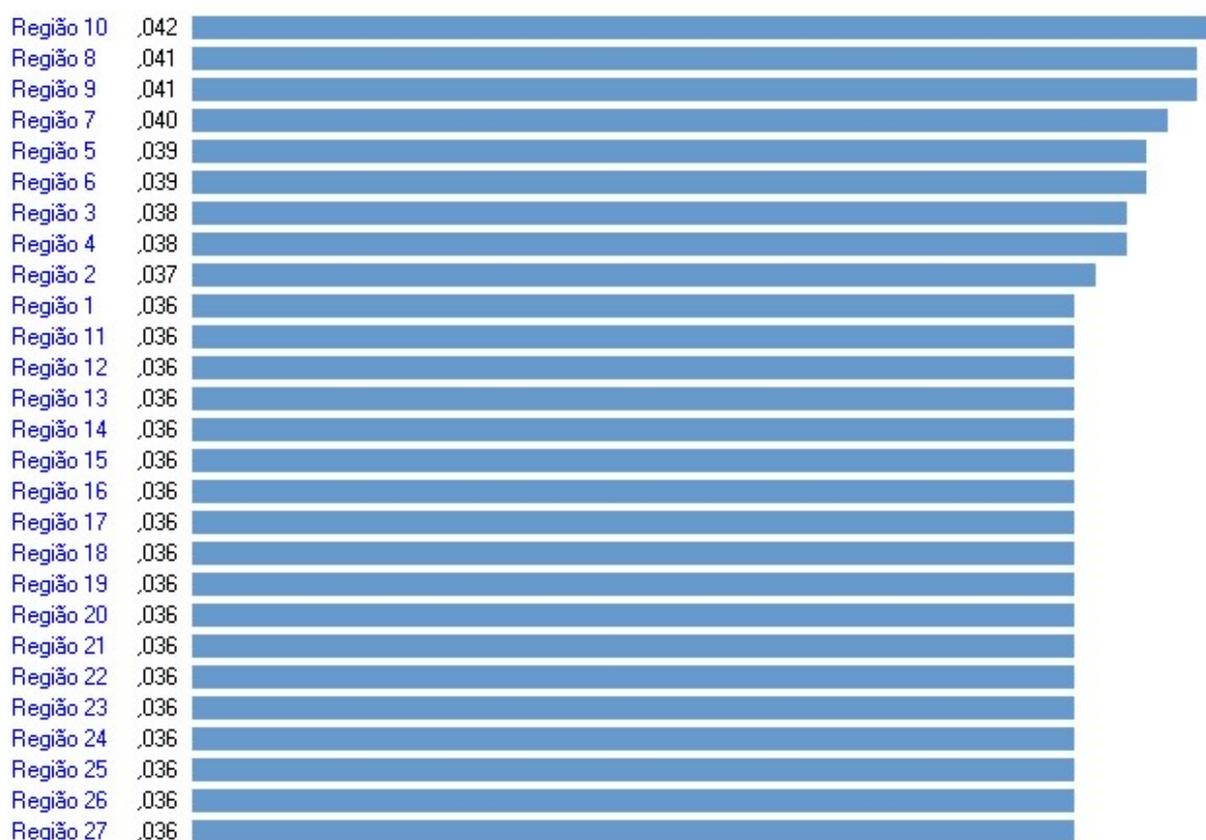
Novamente, foi realizado outro teste, similar ao anterior, colocando notas unitárias em todos os subcritérios avaliados, com exceção de um, dessa vez o subcritério econômico, conforme Figura C.8.

Figura C.8 - Comparação dos territórios de identidade em relação aos subcritérios – Teste para subcritério Econômico – Caso 3

Distributive mode		DIRECT	DIRECT	DIRECT	DIRECT	DIRECT	DIRECT	DIRECT	DIRECT
Alternative	Total	Critério Técnico - Potencialid Velocidade dos Ventos (L: .500)	Critério Técnico - Potencialid Diretividade dos Ventos (L: .500)	Critério Técnico - Disponibili Densidade Populacional (L: .500)	Critério Técnico - Disponibili Área útil para instalação (L: .500)	Critério Técnico - Infraestrut Proximidade com Linhas de Transmissão (L: .500)	Critério Técnico - Infraestrut Proximidade com Rodovias/Ferrovias (L: .500)	Critério Social IFDM (L: 1.000)	Critério Econômico Nível de Industrialização (L: 1.000)
✓ Região 1	.036	1	1	1	1	1	1	1	0.55
✓ Região 2	.037	1	1	1	1	1	1	1	0.6
✓ Região 3	.038	1	1	1	1	1	1	1	0.65
✓ Região 4	.038	1	1	1	1	1	1	1	0.7
✓ Região 5	.039	1	1	1	1	1	1	1	0.75
✓ Região 6	.039	1	1	1	1	1	1	1	0.8
✓ Região 7	.040	1	1	1	1	1	1	1	0.85
✓ Região 8	.041	1	1	1	1	1	1	1	0.9
✓ Região 9	.041	1	1	1	1	1	1	1	0.95
✓ Região 10	.042	1	1	1	1	1	1	1	1
✓ Região 11	.036	1	1	1	1	1	1	1	0.5
✓ Região 12	.036	1	1	1	1	1	1	1	0.5
✓ Região 13	.036	1	1	1	1	1	1	1	0.5
✓ Região 14	.036	1	1	1	1	1	1	1	0.5
✓ Região 15	.036	1	1	1	1	1	1	1	0.5
✓ Região 16	.036	1	1	1	1	1	1	1	0.5
✓ Região 17	.036	1	1	1	1	1	1	1	0.5
✓ Região 18	.036	1	1	1	1	1	1	1	0.5
✓ Região 19	.036	1	1	1	1	1	1	1	0.5
✓ Região 20	.036	1	1	1	1	1	1	1	0.5
✓ Região 21	.036	1	1	1	1	1	1	1	0.5
✓ Região 22	.036	1	1	1	1	1	1	1	0.5
✓ Região 23	.036	1	1	1	1	1	1	1	0.5
✓ Região 24	.036	1	1	1	1	1	1	1	0.5
✓ Região 25	.036	1	1	1	1	1	1	1	0.5
✓ Região 26	.036	1	1	1	1	1	1	1	0.5
✓ Região 27	.036	1	1	1	1	1	1	1	0.5

Os resultados esperados e aqueles encontrados em MATLAB são os mesmos da Tabela C.2, enquanto que os resultados obtidos com o Expert Choice 11 são apresentados na Figura C.9.

Figura C.9 – Resultado do Expert Choice 11 – Caso 3



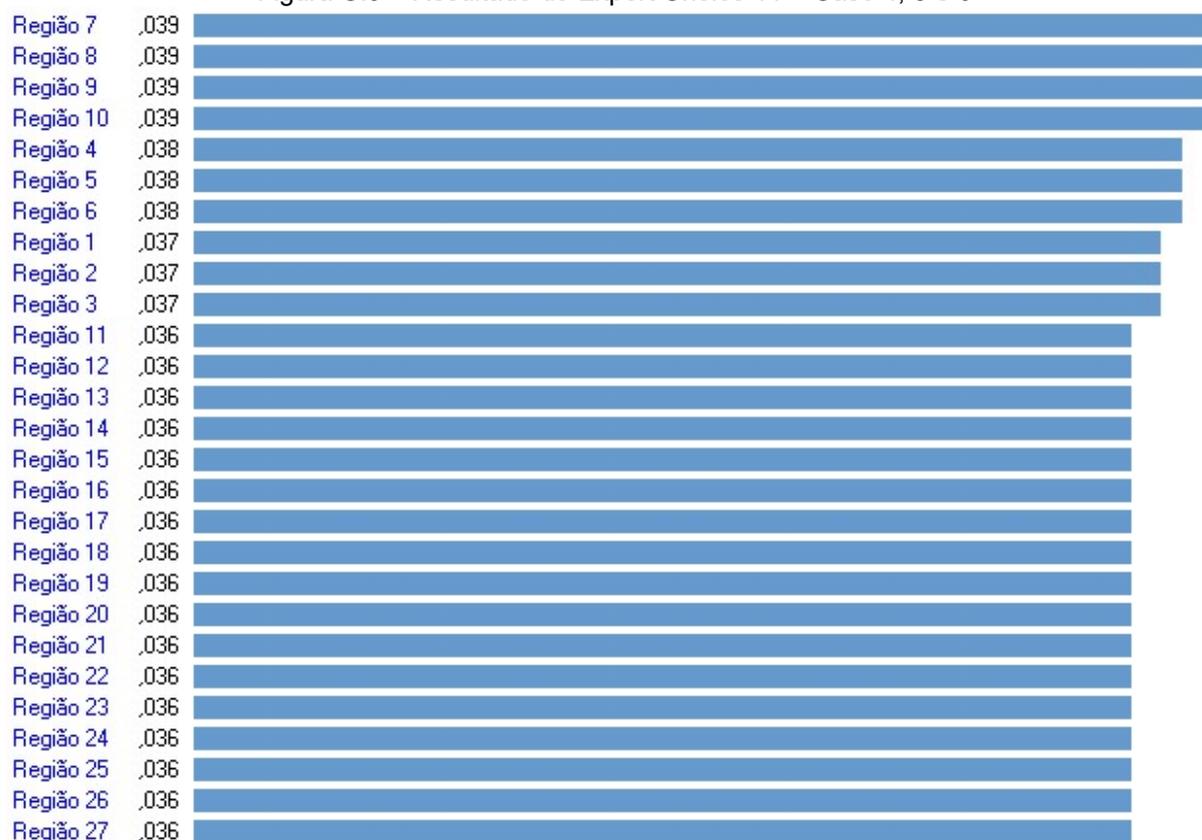
Novamente, houve erro no ranqueamento de regiões, quando se compara os resultados do Expert Choice 11 (Figura C.9) com a Tabela C.2. É notado, por exemplo, que há uma inversão aos pares das posições dos territórios 5 e 6 e dos territórios 3 e 4.

São realizadas novas simulações, variando-se as notas dos territórios para um subcritério apenas (com a mesma diferença de 5% entre o primeiro e segundo colocado, igualmente utilizada nos casos 2 e 3) e mantendo-se os demais com valores unitários. O resultado esperado é comparado com aqueles encontrados pelo programa Expert Choice 11 (Figura C.10), conforme apresentado pela Tabela C.3.

Tabela C.3 – Resultados Esperado x Encontrados – Casos 4, 5 e 6

Posição	Território esperado na referida posição	Caso 4 Resultado do Expert Choice 11 Subcritério Técnico – Velocidade de Ventos	Caso 5 Resultado do Expert Choice 11 Subcritério Técnico – Densidade Populacional	Caso 6 Resultado do Expert Choice 11 Subcritério Técnico – Proximidade com linhas de transmissão	Resultado Encontrado em MATLAB Casos 4, 5 e 6
1	10	7	7	7	10
2	9	8	8	8	9
3	8	9	9	9	8
4	7	10	10	10	7
5	6	4	4	4	6
6	5	5	5	5	5
7	4	6	6	6	4
8	3	1	1	1	3
9	2	2	2	2	2
10	1	3	3	3	1
11	Todos os demais	Todos os demais	Todos os demais	Todos os demais	Todos os demais

Figura C.9 – Resultado do Expert Choice 11 – Caso 4, 5 e 6



Percebeu-se, novamente, que o Expert Choice 11, apresentou dados imprecisos, alterando as posições esperadas (reais) dos territórios. Notou-se que o referido programa aproximou em três casas decimais as notas prioritárias dos territórios (regiões). Desse modo, não houve diferenciação de notas entre alguns territórios e esse programa somente “agrupou” territórios com notas iguais, como é o caso dos territórios 7, 8, 9 e 10 (a ordem correta, do maior para o menor, seria 10, 9, 8 e 7) ou dos territórios 1, 2 e 3 (a ordem correta, do maior para o menor, seria 3, 2 e 1), sem se preocupar com a posição ao qual cada um pertencia originalmente.

Sendo assim, por meio dos testes dos casos 2, 3, 4, 5 e 6 (manipulação de apenas um subcritério por vez), notou-se que a versão do programa Expert Choice que se tinha disponível estava apresentando resultados imprecisos. Desse modo, sabendo-se da quantidade de variáveis que seriam trabalhadas (não somente uma) concomitantemente, decidiu-se não utilizá-lo como *software* padrão para esta dissertação, pois o risco de obter resultados duvidosos era eminente.

A discrepância de resultados apresentados entre os programas, evidenciada nos testes com os dados obtidos nos mapas e questionários respondidos pelos especialistas, ocorreu também nos dados sintéticos criados exclusivamente para investigar a operação dos programas (Expert Choice 11 e Matlab). Nesta investigação, ficou evidente que o programa Expert Choice 11 (EC 11) retorna resultados cujo ordenamento hierárquico não é compatível com a expectativa dos dados sintéticos, enquanto que o programa feito em linguagem Matlab, mantém a ordem estabelecida pelos dados sintéticos. Por este motivo, o uso do EC 11 foi descartado neste trabalho.

APÊNDICE D

EMPREENDIMENTOS EÓLICOS E SOLARES NA BAHIA E VIZINHANÇAS

APÊNDICE D.1 – EMPREENDIMENTOS EÓLICOS

Território de Identidade da BA e Vizinhanças	Municípios/ Empreendimentos
01- Irecê (BA)	Em Carfanaum: Damascena, Dois Riachos e Maniçoba; Em Gentio de Ouro: Assuruá I, II, III (12 MW), IV (30 MW), V, VI e VII, Curral das Pedras I (20 MW) e II (30 MW), III e IV Diamante II e III (18 MW, cada); Em Itaguaçu da Bahia: Itaguaçu da Bahia, Ventos de Santa Luiza, Ventos de Santa Madalena, Ventos de Santa Marcella, Ventos de Santa Vera, Ventos de Santo Antônio, Ventos de São Bento, Ventos de São Cirilo, Ventos de São João e Ventos de São Rafael; Em Mulungu do Morro: Ventos da Bahia II, IV e VIII Em Xique-Xique: Laranjeiras I (28 MW), II (30 MW), III, V (26 MW) e IX.
02- Velho Chico (BA)	Em Bonito: Cristal e Esperança; Em Igaporã: Acácia, Angico, Dourados, Espigão, Pelourinho, Quina (10,8 MW) e Taboquinha; Em Riacho de Santana: São Salvador.
03- Chapada Diamantina (BA)	Em Morro do Chapéu: Primavera, São Judas, Ventos da Santa Dulce, Ventos da Santa Esperança, Ventos de São Mario e Ventos do São Paulo.
10- Sertão do São Francisco (BA)	Em Sento Sé: Banda de Couro, Baraúnas I e II, Campo Largo III, IV, V, VI, VII e XXI, Morro Branco I, Mussambê, Umburanas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 23 e 25; Em Casa Nova: Casa Nova II e III.
13- Sertão Produtivo (BA)	Em Caetité: Abil, Ametista, Borgo, Caetité, Caetité A, B e C, Inhambu, Jabuticaba, Maron, Pilões, Serra do Espinhaço, Tábua e Vaqueta. Em Dom Basílio: Cristalândia I, II e III; Em Pindaí: Acauã, Angical, Angical 2, Arapapá, Caetitu, Caetitu 2 e 3, Carcará, Coqueirinho, Coqueirinho 2, Corrupião, Corrupião 3, Papagaio, Pau Santo (18 MW), Tamanduá Mirim, Tamanduá Mirim 2, Teiú, Teiú 2 Em Guanambi: Mulungu (14,7 MW).
20 – Sudoeste Baiano ou Vitória da Conquista (BA)	Em Licínio de Almeida: Folha de Serra e Jacarandá do Cerrado.
23- Bacia do Rio Corrente (BA)	Em Tabocas do Brejo Velho: Ituverava 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 (20 MW cada).
25- Piemonte do Norte de Itapicurú (BA)	Em Campo Formoso: Delfina I, II e V (30 MW, cada), Ventos Campo Formoso I e II, Ventos de Andorinha, Ventos dos Guarás I, Ventos dos Morrinhos e Ventos do Sertão.
Sudeste do Piauí (PI)	Em Lagoa do Barro do Piauí: Aura Lagoa do Barro 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07 e Aura Queimada Nova 03.
Sul de Pernambuco	Em Tacaratu: Pau Ferro, Pedra do Gerônimo e Tacaicó.

Fonte: PAC (2016).

APÊNDICE D.2 – EMPREENDIMENTOS SOLARES

Território de Identidade da BA e Vizinhanças	Municípios/ Empreendimentos
01- Irecê (BA)	Em Itaguaçu da Bahia: Assuruá
02- Velho Chico (BA)	Em Bom Jesus da Lapa: BJL11, Bom Jesus da Lapa I e II, Lapa 2 e 3, São Pedro II e IV
13- Sertão Produtivo (BA)	Em Caetité: Caetité I, II, IV (29,75 MW, cada) e V (10,5 MW) e Verde Vale III
23- Bacia do Rio Corrente (BA)	Em Tabocas do Brejo Velho: Horizonte MP1, MP2 e MP11, Ituverava 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7.

Fonte: PAC (2016).