



Sistema

Sistema Estadual de Meio Ambiente
e Recursos Hídricos

ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE COMPLEMENTARIDADE HIDRO EÓLICO SOLAR PARA A MATRIZ ELÉTRICA DE MINAS GERAIS

EQUIPE DE TRABALHO



Wilson Pereira Barbosa Filho - Analista Ambiental (FEAM)

Engenheiro Civil (PUC Minas), Bacharel em direito, Mestre em Gestão e Auditoria Ambiental e doutorando em Planejamento Energético (UFMG)

Abílio de Souza César Soares - Analista Ambiental (FEAM)

Engenheiro Civil e Sanitarista

Lívia Maria Leite da Silva – Pesquisadora (FEAM)

Engenheira de Energia e Mestre em Engenharia Elétrica (PUC Minas)

Wemerson Rocha Ferreira – Pesquisador (FEAM)

Engenheiro de Energia (PUC Minas) e mestrando em Planejamento Energético (UFMG)

Rafaela Garcia Diniz de Souza – Pesquisadora (FEAM)

Engenheira de Energia (PUC Minas)

Elisa Meira Bastos – Estagiária (FEAM)

Graduanda em Engenharia de Energia (PUC Minas)



SUMÁRIO



- **FEAM:** Missão e Visão
- **INTRODUÇÃO:** Projetos P&D - FEAM
- **P&D 01:** Objetivo Geral
- **COMPLEMENTARIDADE E REPOTENCIALIZAÇÃO**
- **JUSTIFICATIVA E CONTEXTUALIZAÇÃO**
- **METODOLOGIA**
- **RESULTADOS**
- **DISCUSSÕES E CONCLUSÕES**



INTRODUÇÃO



feam
FUNDAÇÃO ESTADUAL
DO MEIO AMBIENTE

✓ Missão

Contribuir para a gestão ambiental integrada no Estado de Minas Gerais, visando à proteção da saúde humana e do meio ambiente.

✓ Visão

Aprimorar e inovar os instrumentos de gestão para prevenir impactos e recuperar passivos ambientais, em busca da melhoria da qualidade de vida para a sociedade mineira.

Sisema

Sistema Estadual de Meio Ambiente
e Recursos Hídricos



INTRODUÇÃO



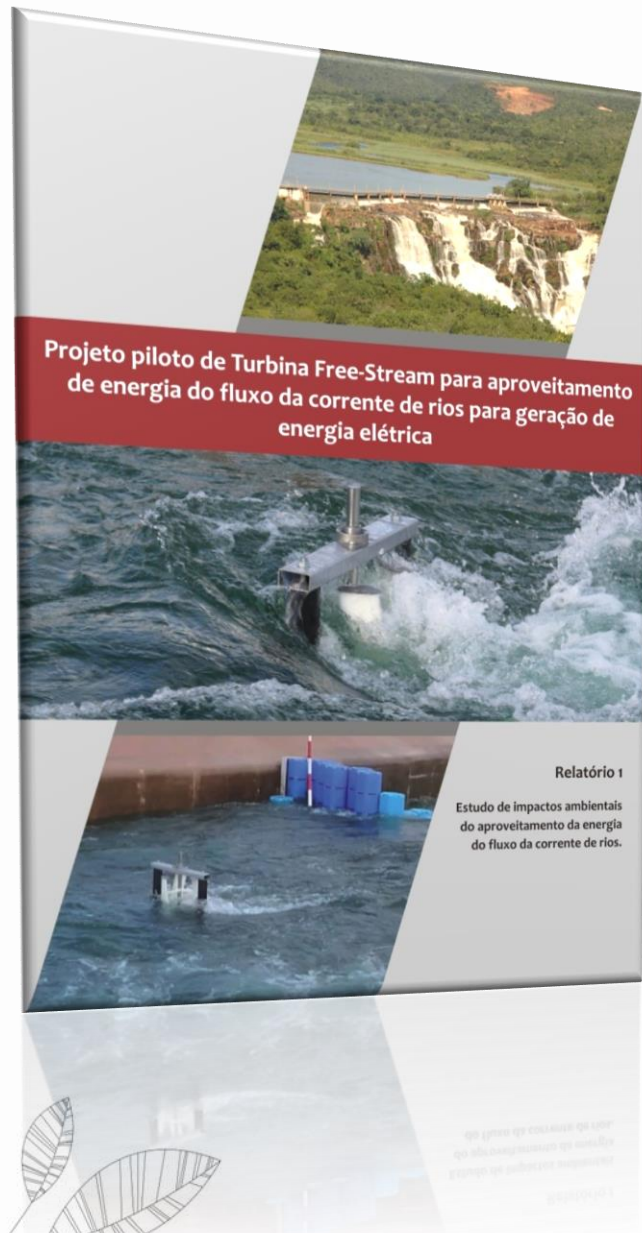
- ✓ 03 Projetos principais em andamento;
- ✓ **Principais objetivos:** diagnosticar as potencialidades energéticas de Minas Gerais, visando a proposição de mecanismos de incentivo à geração renovável no Estado, seja por meio da elaboração de políticas públicas ou formação de parcerias entre universidades e/ou iniciativa privada.



- ✓ **P&D 01:** Estimativa do Potencial de Complementaridade Hidro Eólico Solar para a Matriz Elétrica de Minas Gerais;



- ✓ **P&D 02:** Análise de pré-viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina solar fotovoltaica em consórcio com a reabilitação de áreas degradadas;



- ✓ **P&D 03:** Projeto piloto de turbina *Free-Stream* para aproveitamento de energia do fluxo da corrente de rios para geração de energia elétrica.

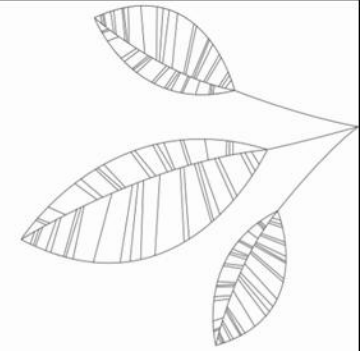




Sisema

Sistema Estadual de Meio Ambiente
e Recursos Hídricos

P&D 01 – OBJETIVO GERAL

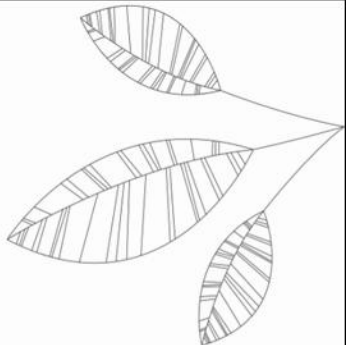


Estimativa do Potencial de Complementaridade
Hidro Eólico Solar para a Matriz Elétrica de Minas Gerais
(2015 - 2050)

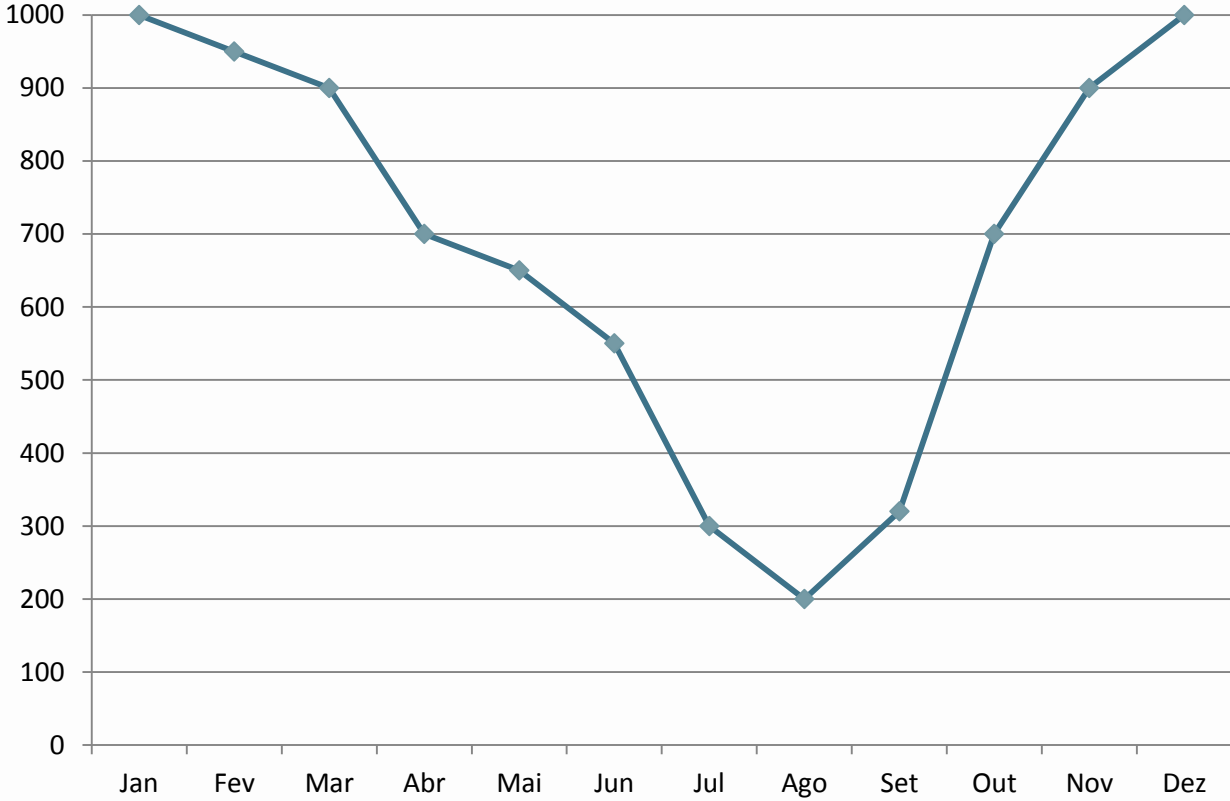
Relatório 1
Estudo da complementaridade
entre os regimes naturais
hidro eólico solares no
Estado de Minas Gerais e seus
possíveis efeitos na estabilização
sazonal da oferta de energia no
sistema elétrico interligado.

- Identificação das usinas mineiras baseadas em hidroeletricidade (PCHs e UHEs) cujos potenciais eólico e solar das localidades onde estas encontram-se, permitam a instalação de usinas solares e eólicas visando a estabilização sazonal da oferta de energia elétrica.

COMPLEMENTARIDADE E REPOTENCIALIZAÇÃO



MWh



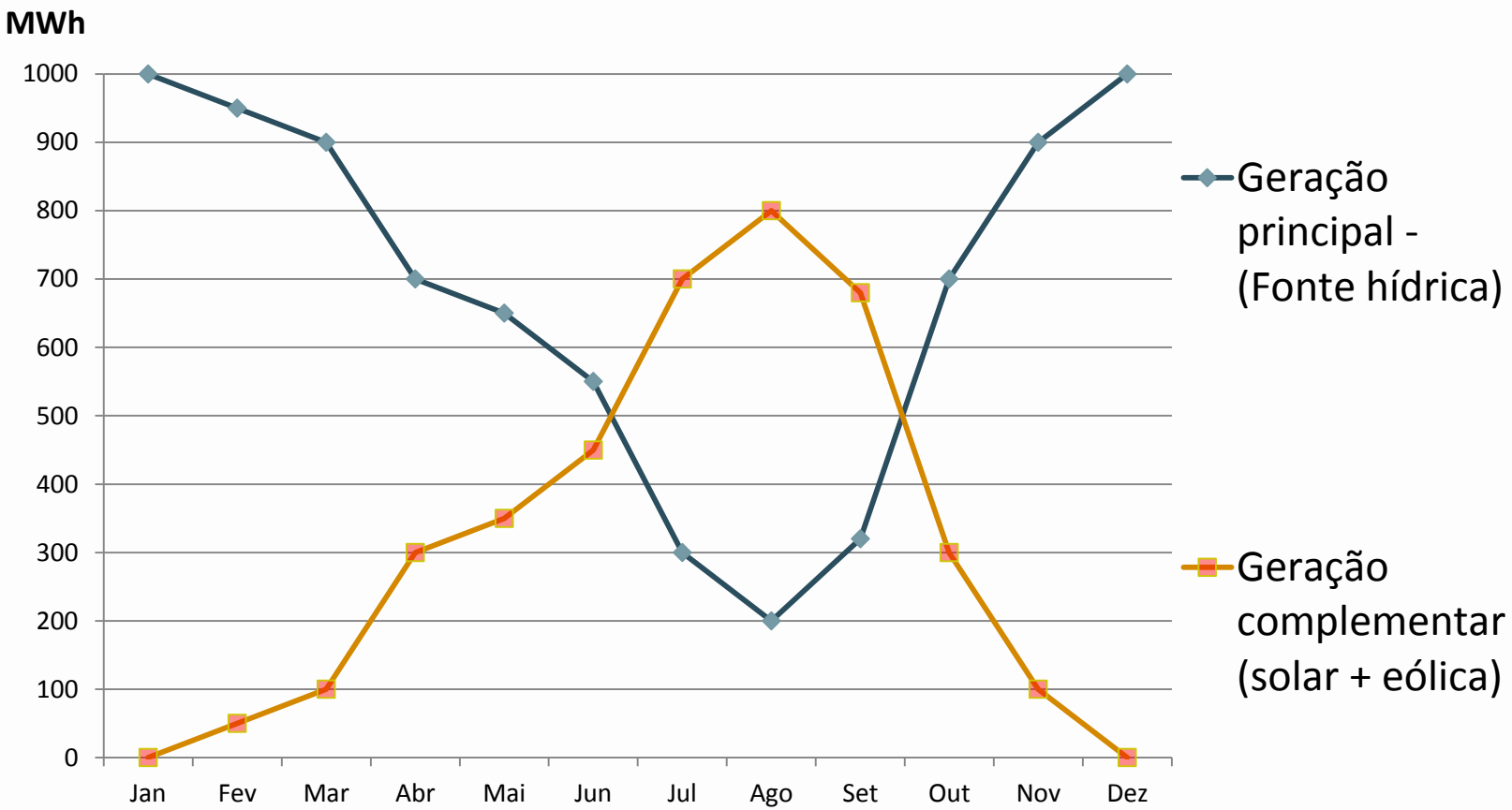
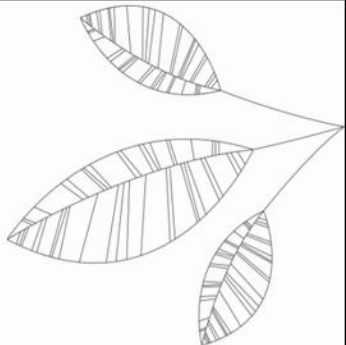
◆ Geração principal - (Fonte hídrica)



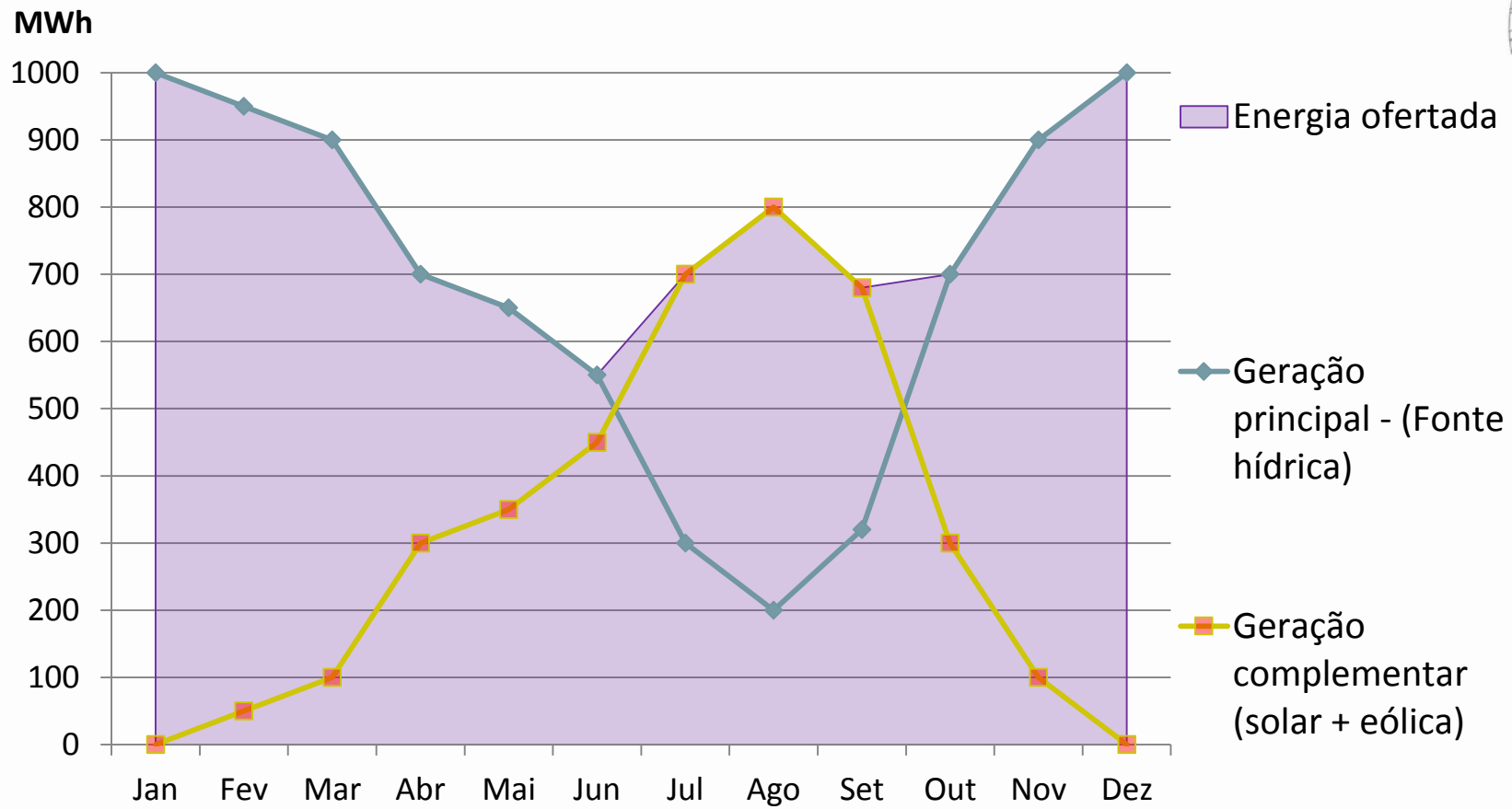
Sisema

Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

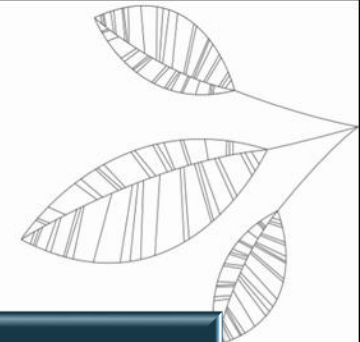
COMPLEMENTARIDADE E REPOTENCIALIZAÇÃO



COMPLEMENTARIDADE E REPOTENCIALIZAÇÃO



JUSTIFICATIVA E CONTEXTUALIZAÇÃO



Risco energético associado a crise hídrica e diversificação da matriz energética (Nacional/Estadual);

Lei Federal n. 9.478/1997 – “Política Energética Nacional”;

Decreto Estadual Nº 46296 de 14/08/2013 - PMER;

Lei Estadual 20849, “Lei Solar”, de 08/08/2013;

Altos índices de radiação solar incidente (em média superiores a 5,5 kWh/m².dia);

Ocorrência de ventos com velocidades superiores a 5 m/s;

Diminuição dos custos de implantação devido a possibilidade de utilização conjunta de estruturas de transmissão existentes.



METODOLOGIA

CARACTERIZAÇÃO DOS TERRITÓRIOS DE DESENVOLVIMENTO DE MINAS GERAIS

CÁLCULO DO POTENCIAL HÍDRICO SAZONALMENTE



CÁLCULO DO POTENCIAL EÓLICO SAZONALMENTE



CÁLCULO DO POTENCIAL SOLAR SAZONALMENTE



CENÁRIO 01: 50%
CENÁRIO 02: 100%

CENÁRIO 01: 50%
CENÁRIO 02: 100%



CÁLCULO DO POTENCIAL HIDRO EÓLICO SOLAR SAZONALMENTE

METODOLOGIA

CARACTERIZAÇÃO DOS TERRITÓRIOS DE DESENVOLVIMENTO DE MINAS GERAIS

CÁLCULO DO POTENCIAL HÍDRICO SAZONALMENTE

Inventário das usinas baseadas em hidroeletricidade presentes no estado;

Obtenção das séries históricas de geração;

Determinação da geração hídrica sazonal por meio de valores médios de geração.

CÁLCULO DO POTENCIAL EÓLICO SAZONALMENTE

Obtenção das séries históricas de velocidade dos ventos;

Determinação dos valores de velocidades não registradas por meio de valores médios históricos;

*Extrapolação:
10 metros/120 metros;*

Identificação do último ano de medições;

Dimensionamento Windographer (saídas: c e k)

Construção da distribuição de Weibull;

Especificação da turbina considerada

Obtenção da curva de potência da turbina;

Determinação do número de turbinas;

Geração eólica mensal média: somatório do produto entre a curva de potência da turbina e a curva de Weibull, para cada turbina.

CÁLCULO DO POTENCIAL SOLAR SAZONALMENTE

Levantamento das coordenadas geográficas (latitude e longitude) das usinas hídricas analisadas;

Especificação dos equipamentos considerados na análise (módulos e inversores);

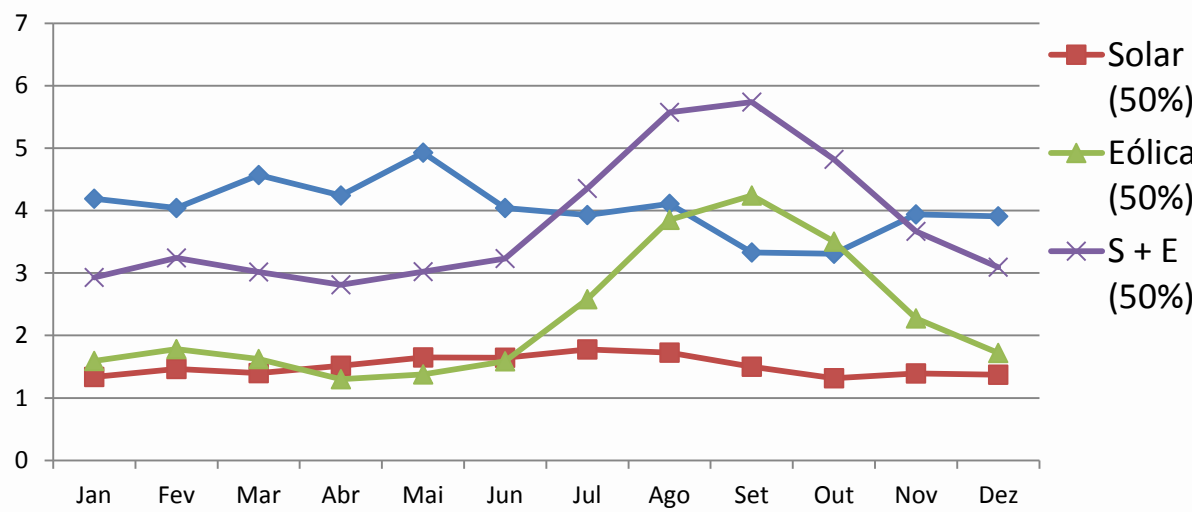
Dimensionamento PVsyt → Saídas → Média mensal de geração para cada usina fotovoltaica.

CÁLCULO DO POTENCIAL HIDRO EÓLICO SOLAR SAZONALMENTE

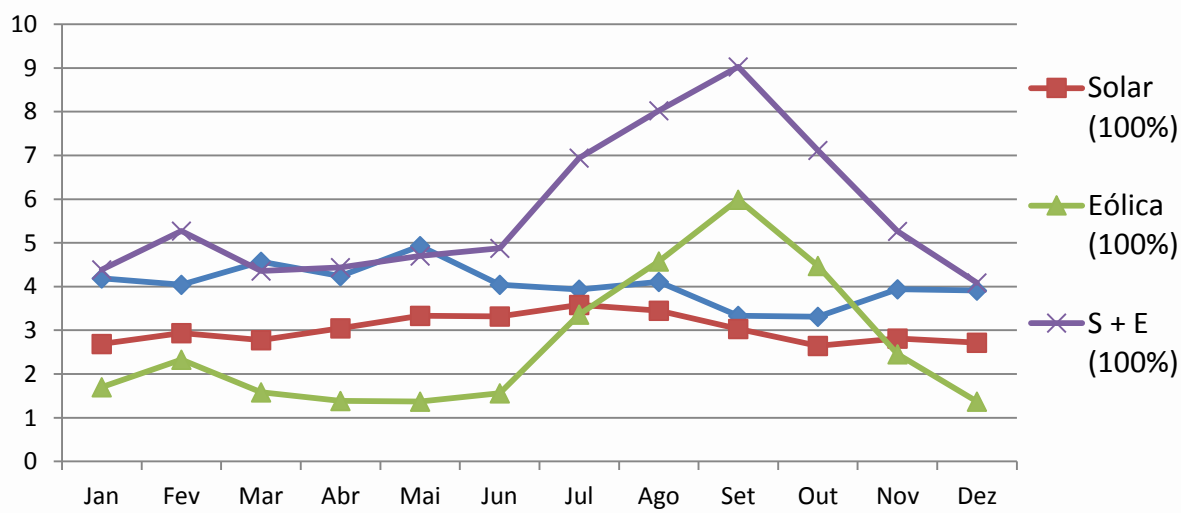
METODOLOGIA

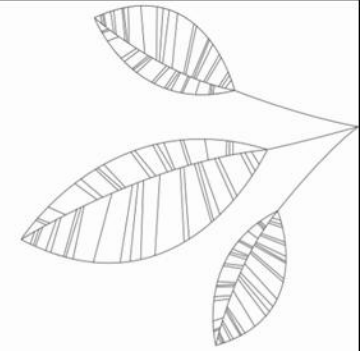


MWh Centenas
PCH Salto Morais - Cenário 50%



MWh Centenas
PCH Salto Morais - Cenário 100%





$$\text{Repotencialização} = \frac{E_{HIBRIDA}}{E_{HIDRICA}} \cdot 100$$

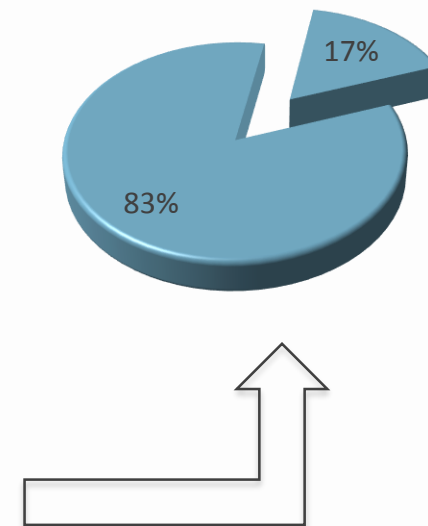
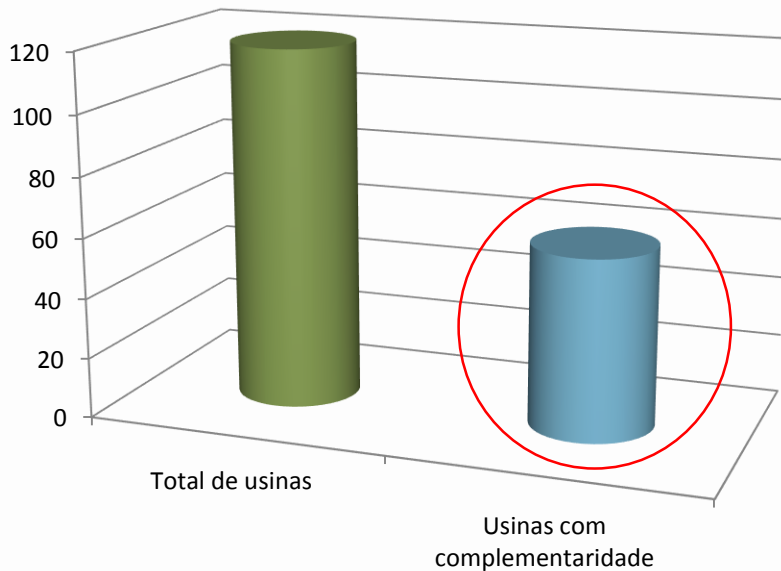
$$\text{Complementaridade} = \left(\frac{E_{HIBRIDA}}{E_{HIDRICA}} \cdot 100 \right) \cdot \frac{n_{COMP}}{12}$$



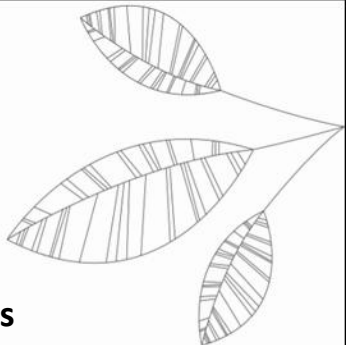
RESULTADOS



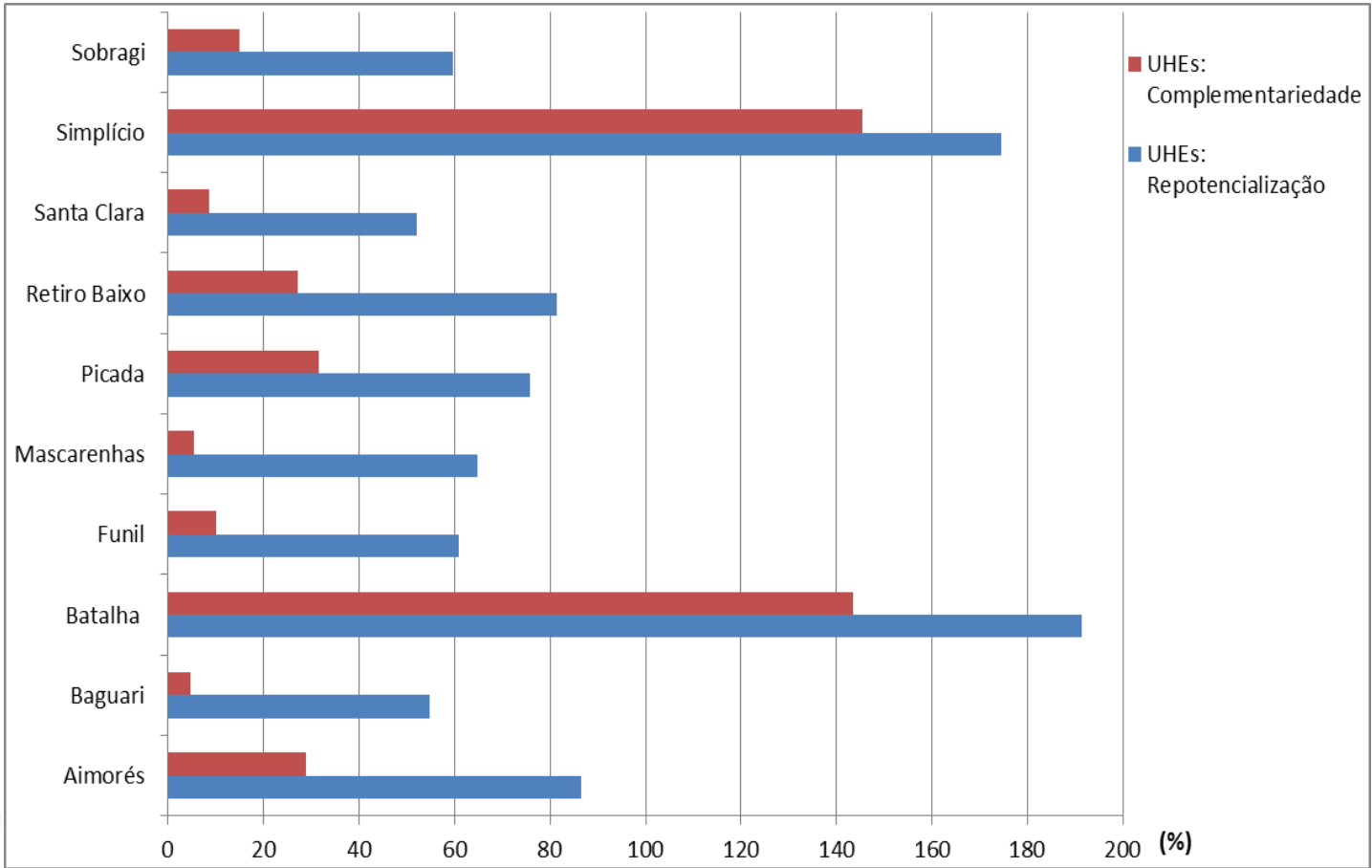
- **Distribuição das usinas que apresentaram complementaridade em seus perfis de geração**
- Usinas avaliadas (Total) → 119 usinas → 41 UHEs e 78 PCHs;
- UHEs → 10 usinas (cerca de 24.39%) apresentaram complementaridade;
- PCHs → 50 usinas (cerca de 64.10%);
- Total de usinas avaliadas → 60 delas (cerca de 50.42%) → valor de complementaridade diferente de zero.



RESULTADOS

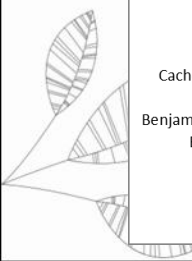
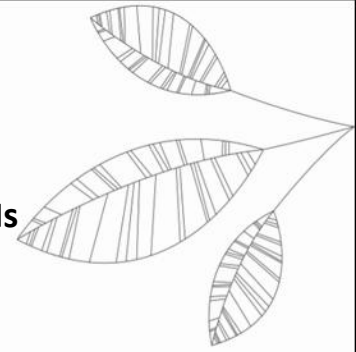
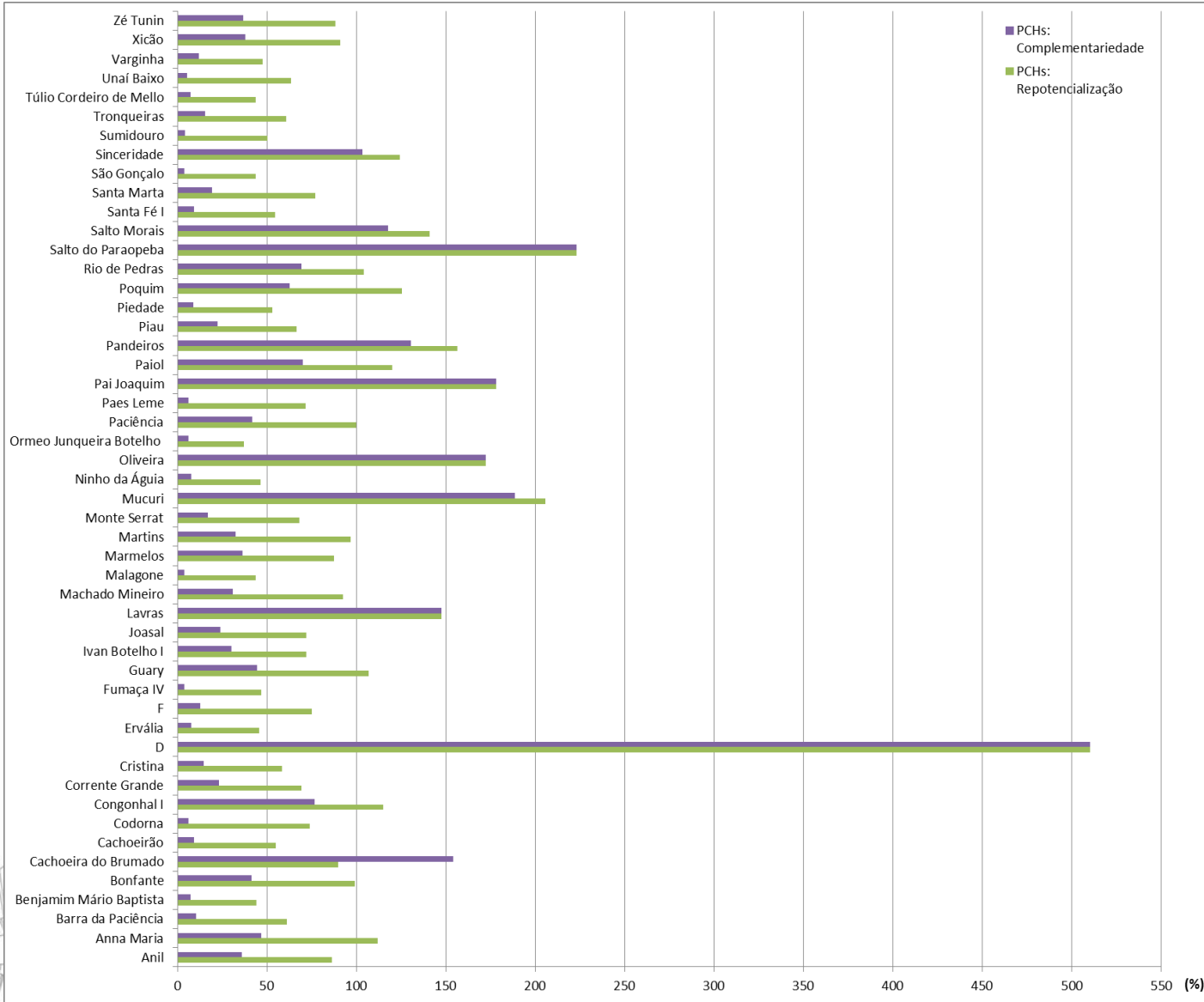


- Distribuição das usinas que apresentaram complementaridade em seus perfis de geração: UHEs



RESULTADOS

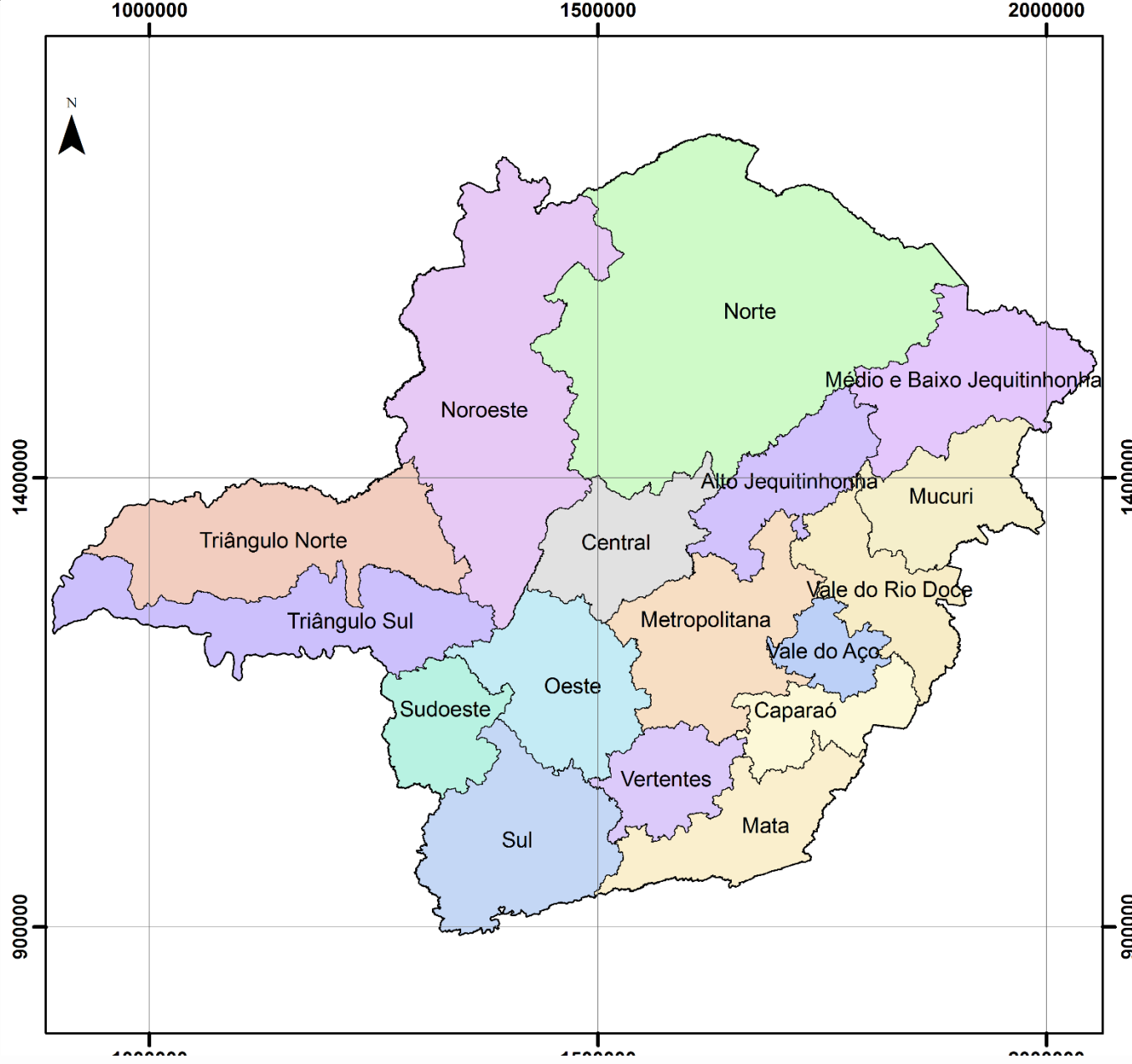
- Distribuição das usinas que apresentaram complementaridade em seus perfis de geração: PCHs



RESULTADOS

NOVOS TERRITÓRIOS DE DESENVOLVIMENTO DE MINAS GERAIS

feam
FUNDAÇÃO ESTADUAL
DO MEIO AMBIENTE



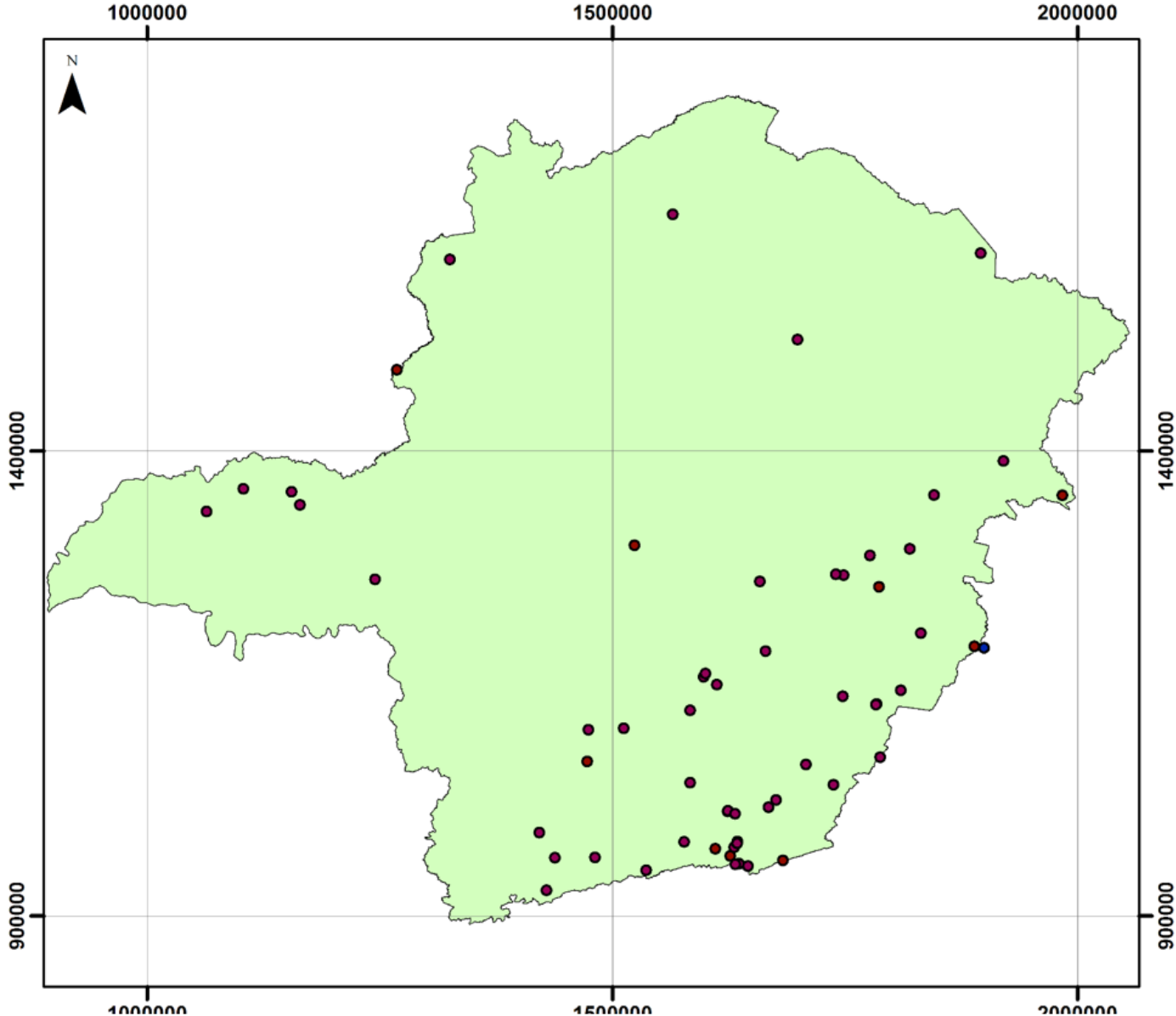
Sisema

Sistema Estadual de Meio Ambiente
e Recursos Hídricos

RESULTADOS

USINAS COM
COMPLEMENTARIEDADE

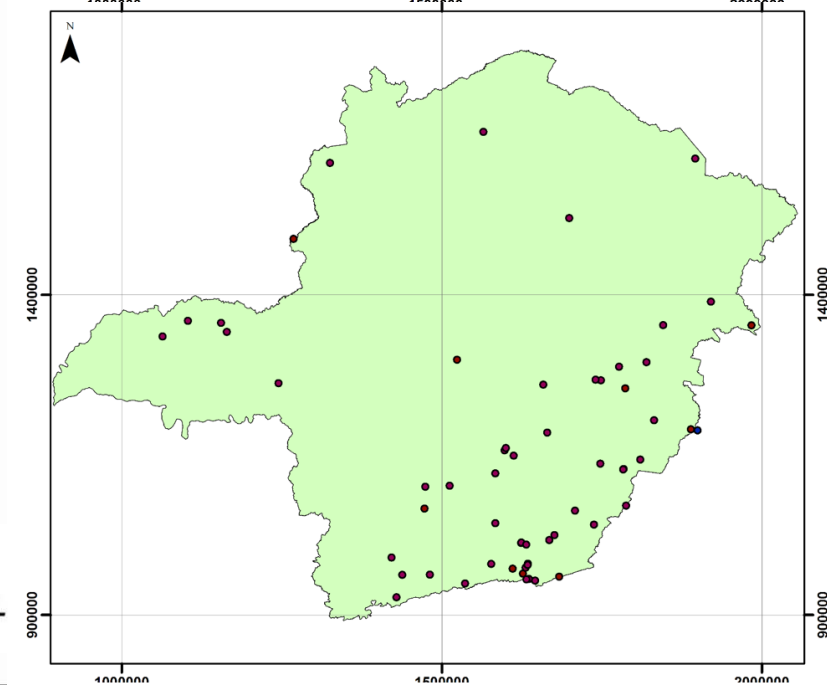
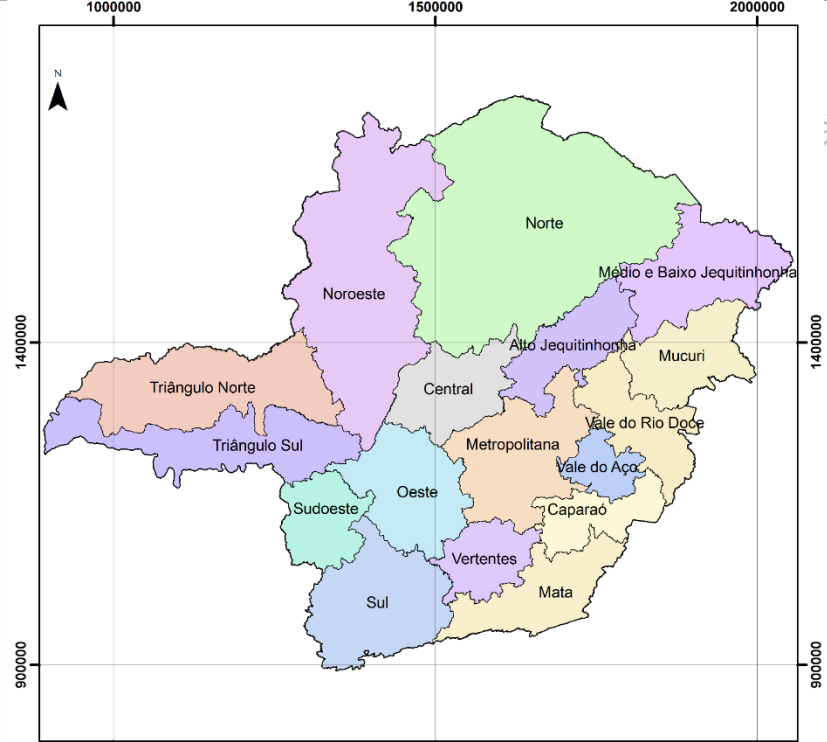
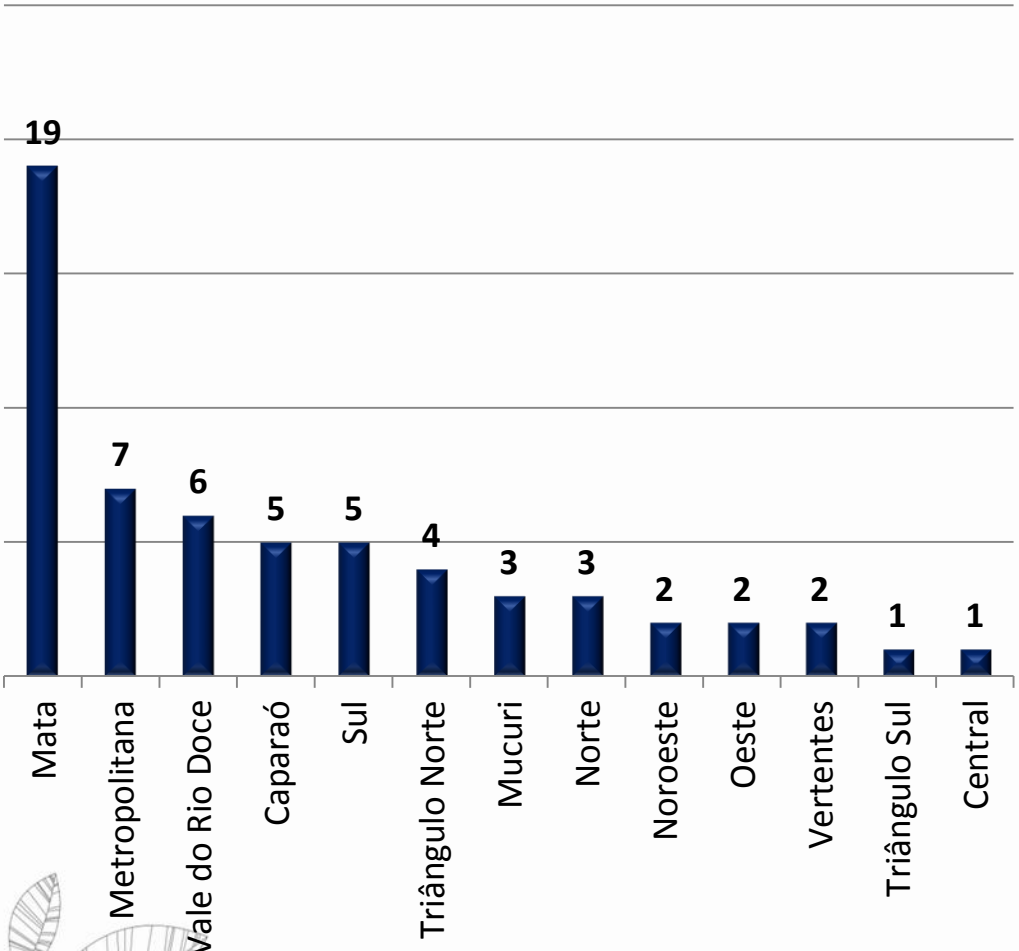
feam
FUNDAÇÃO ESTADUAL
DO MEIO AMBIENTE



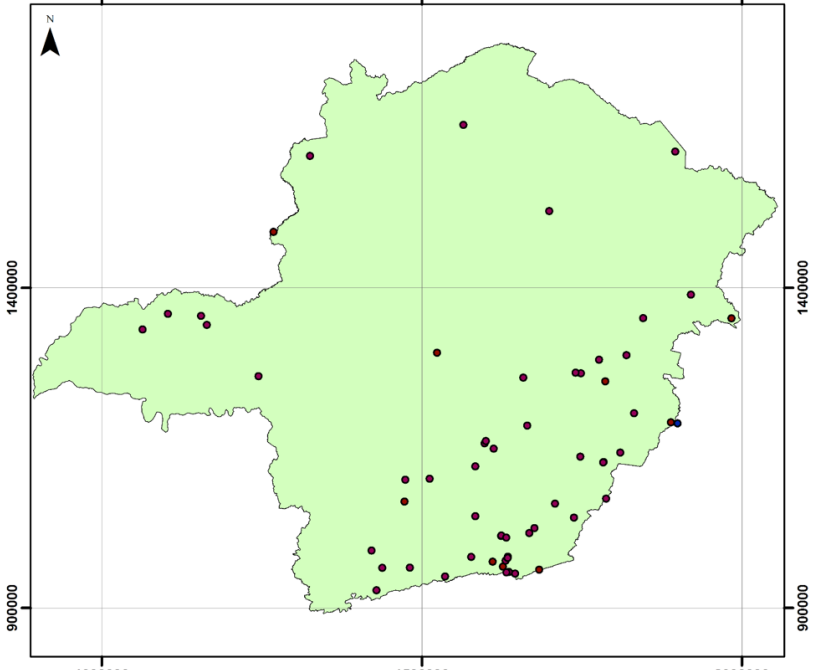
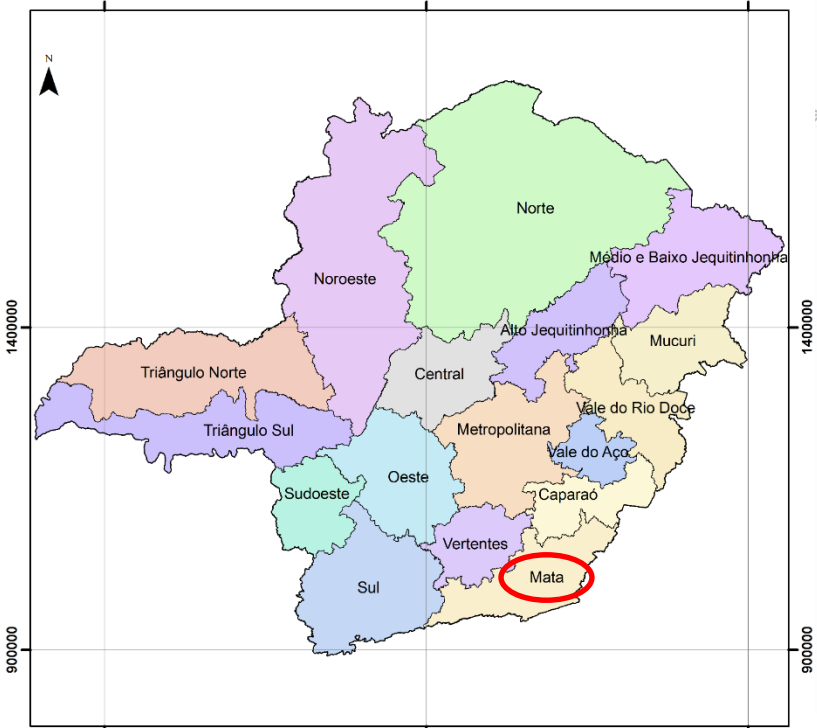
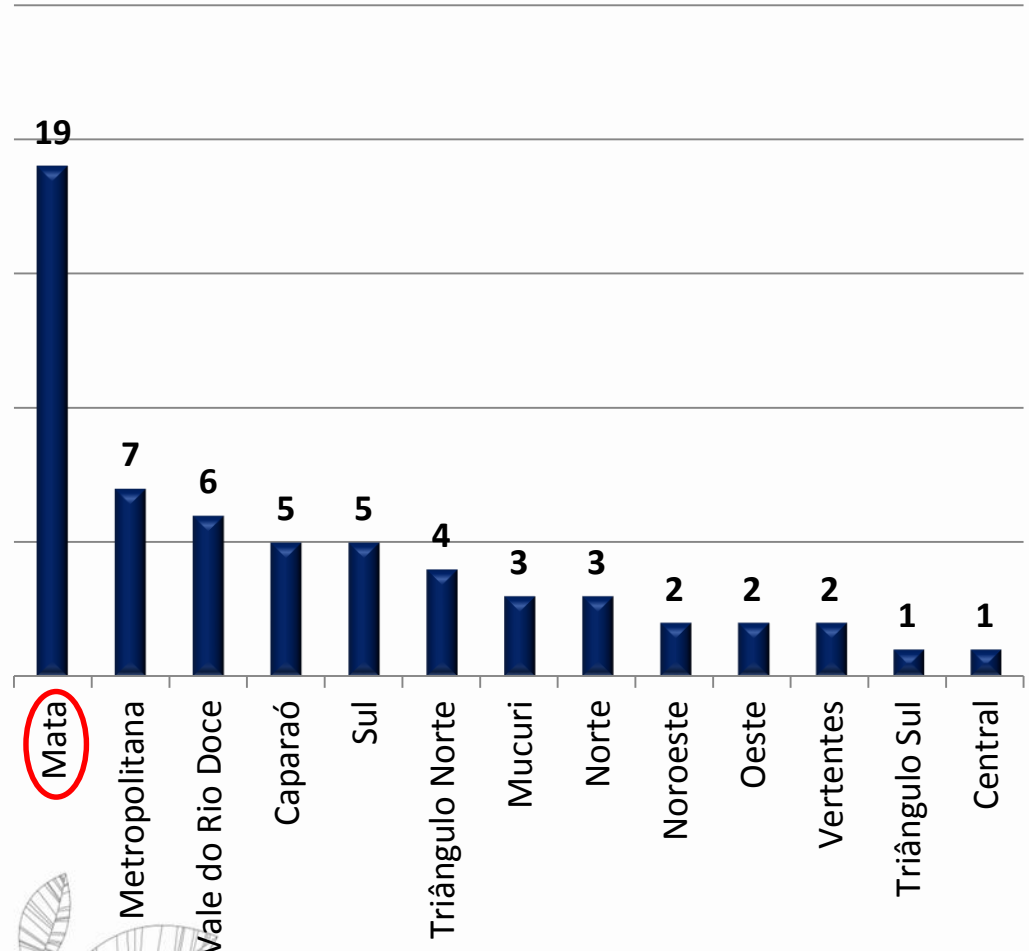
Sisema

Sistema Estadual de Meio Ambiente
e Recursos Hídricos

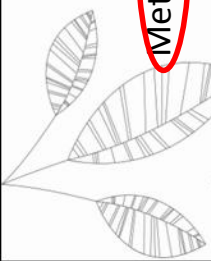
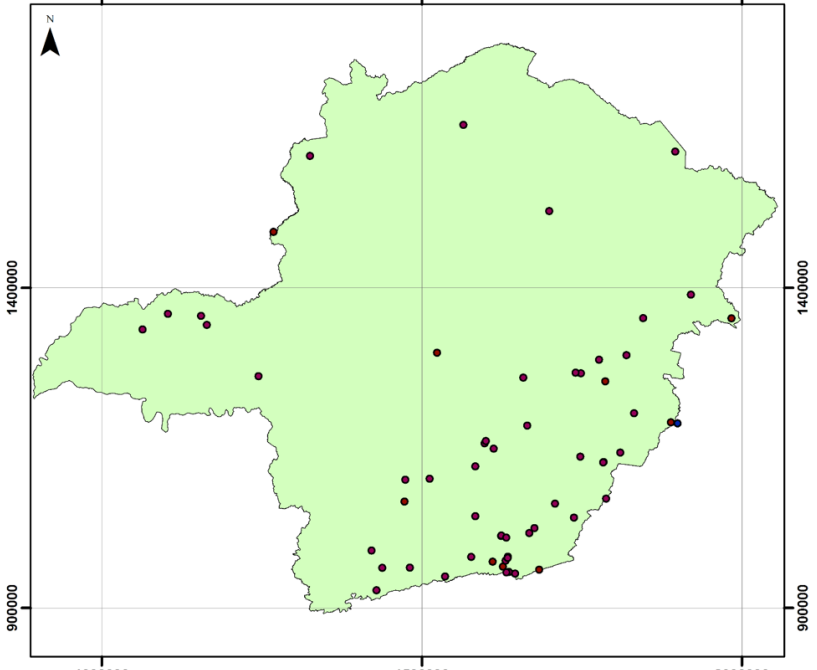
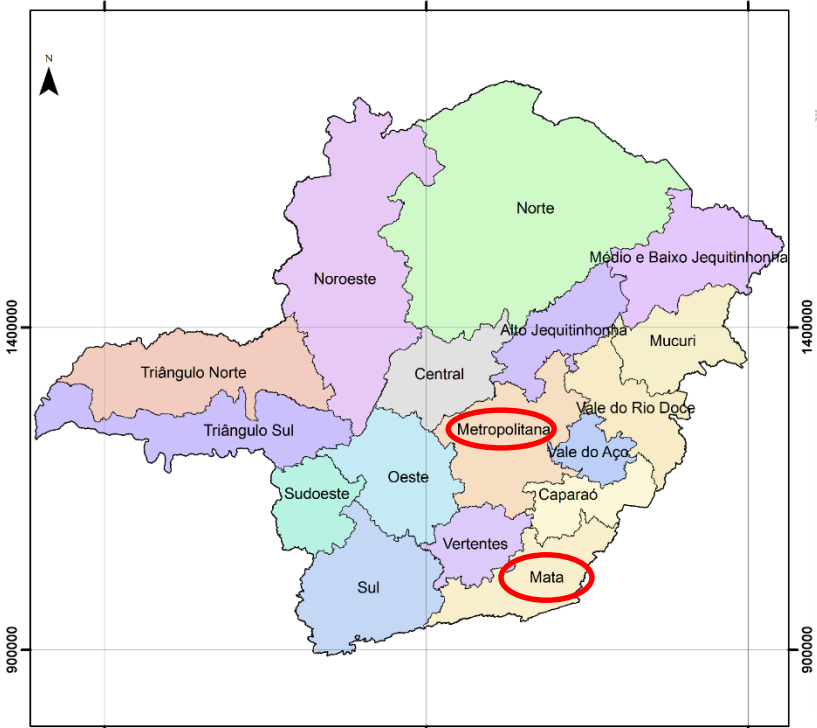
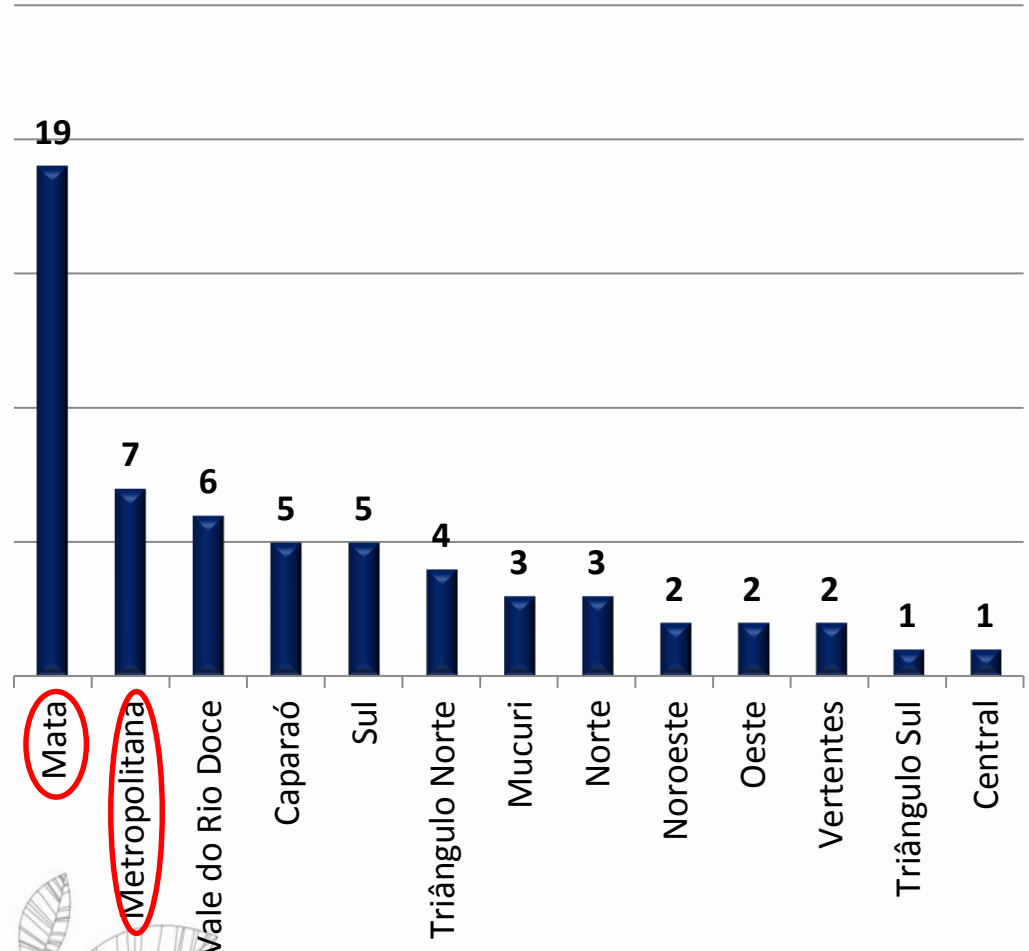
RESULTADOS



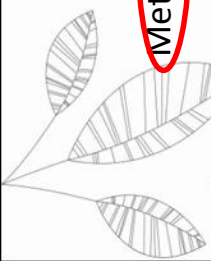
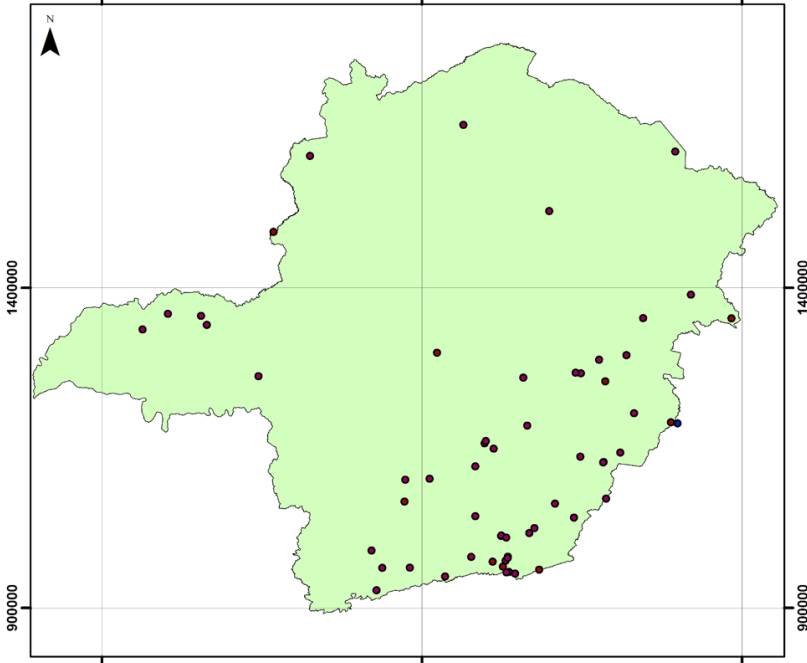
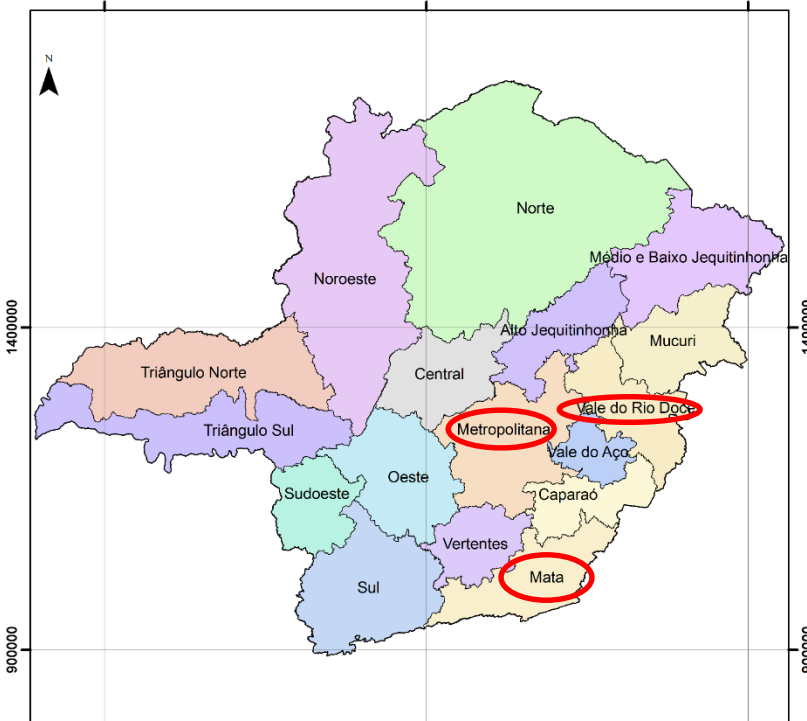
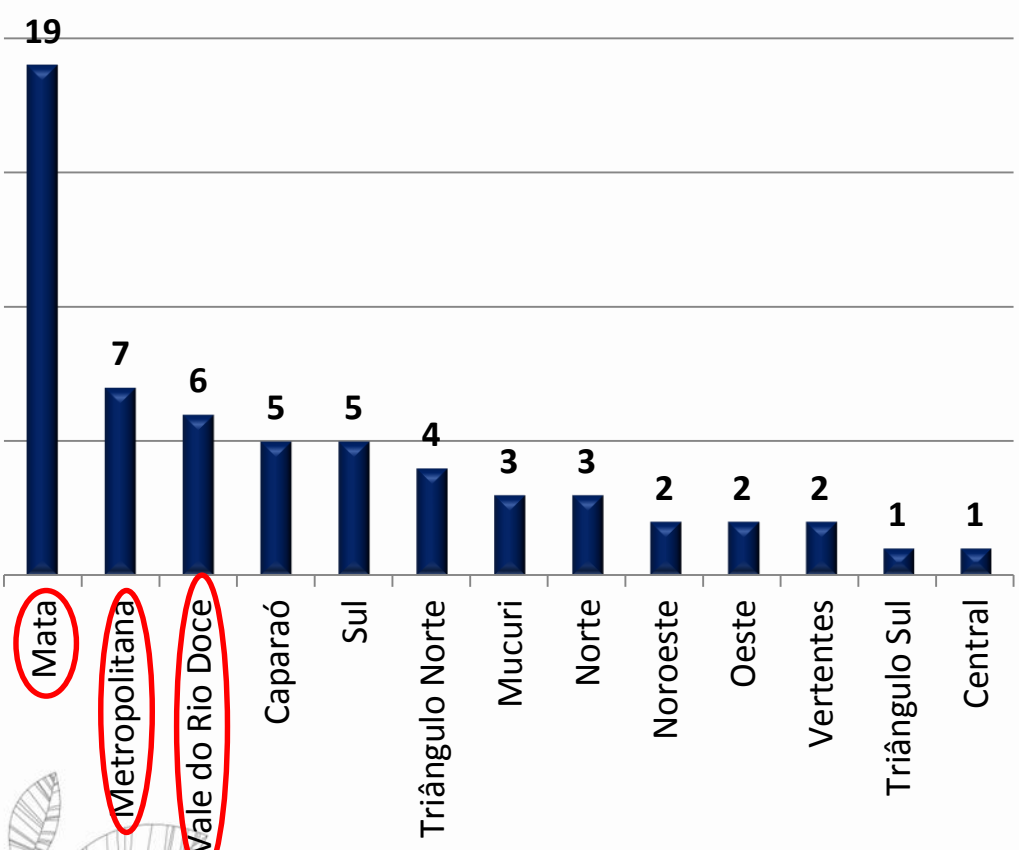
RESULTADOS



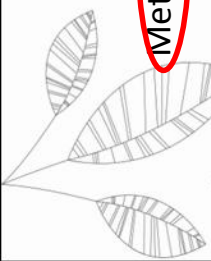
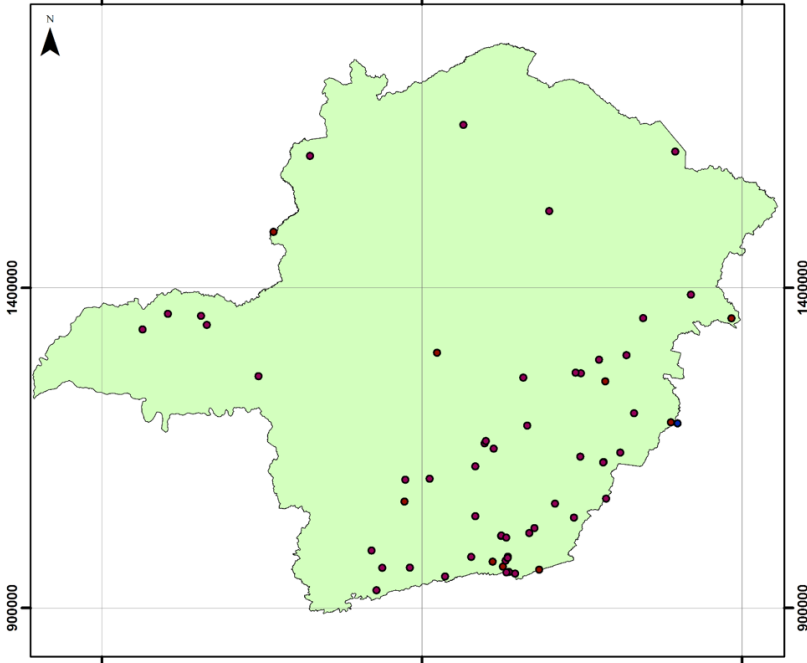
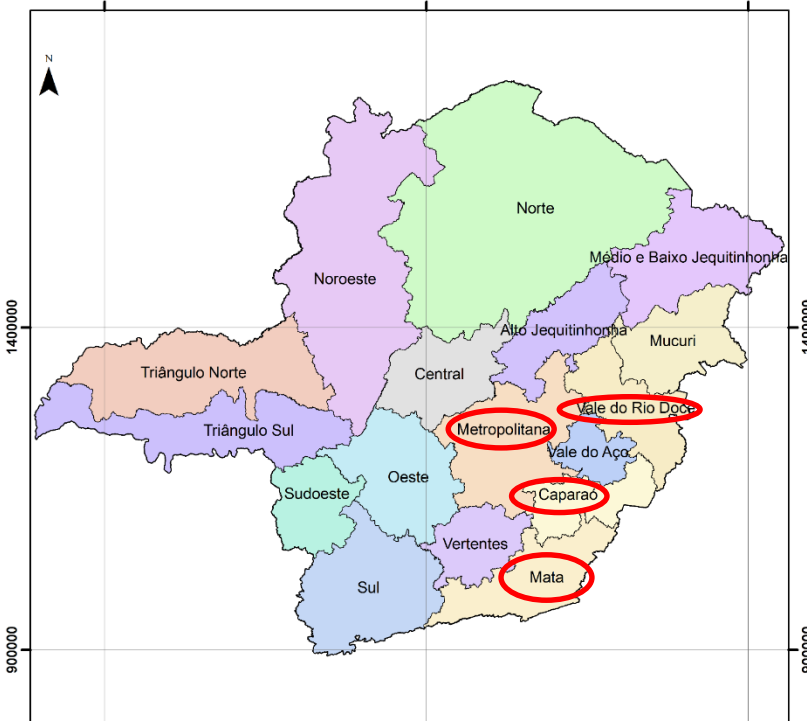
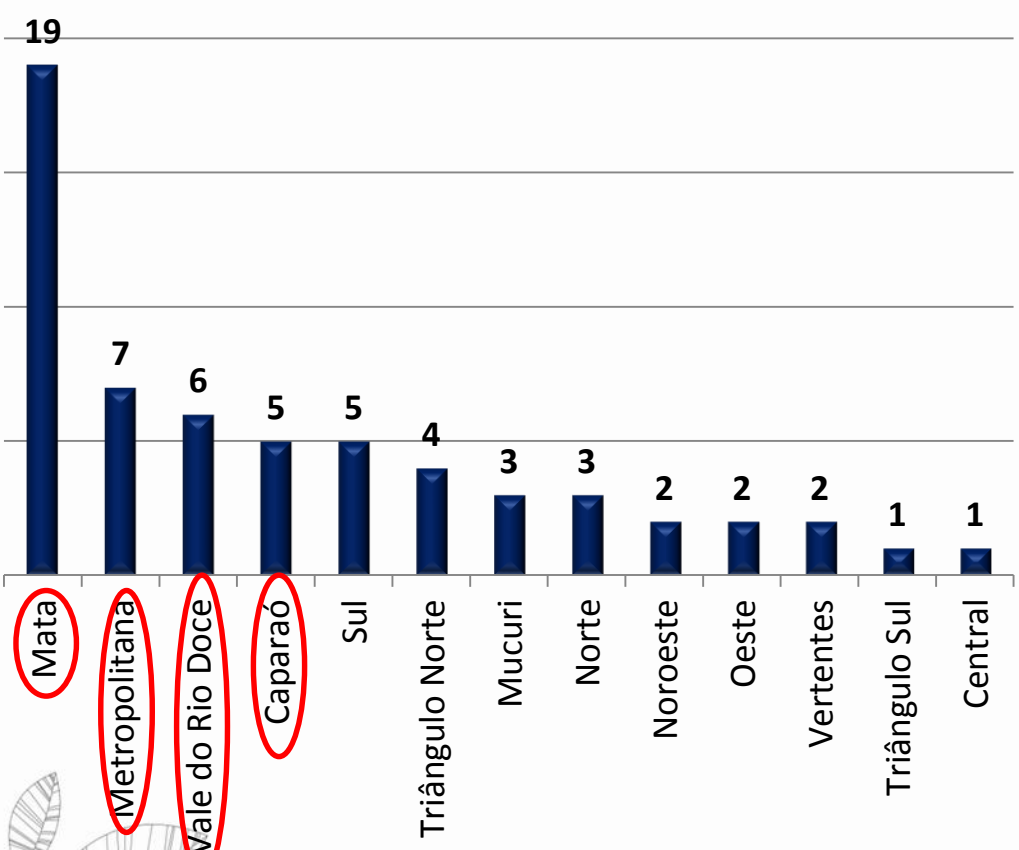
RESULTADOS



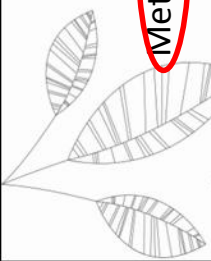
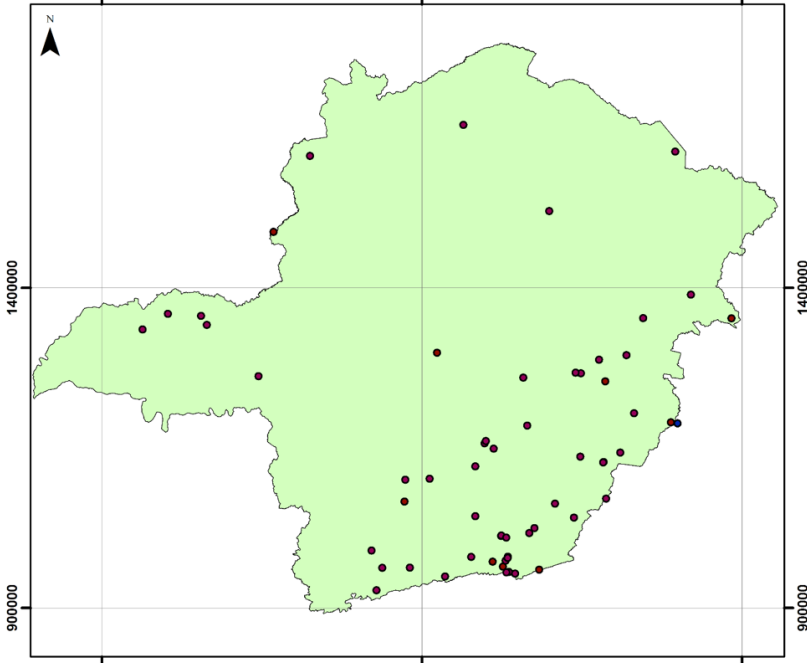
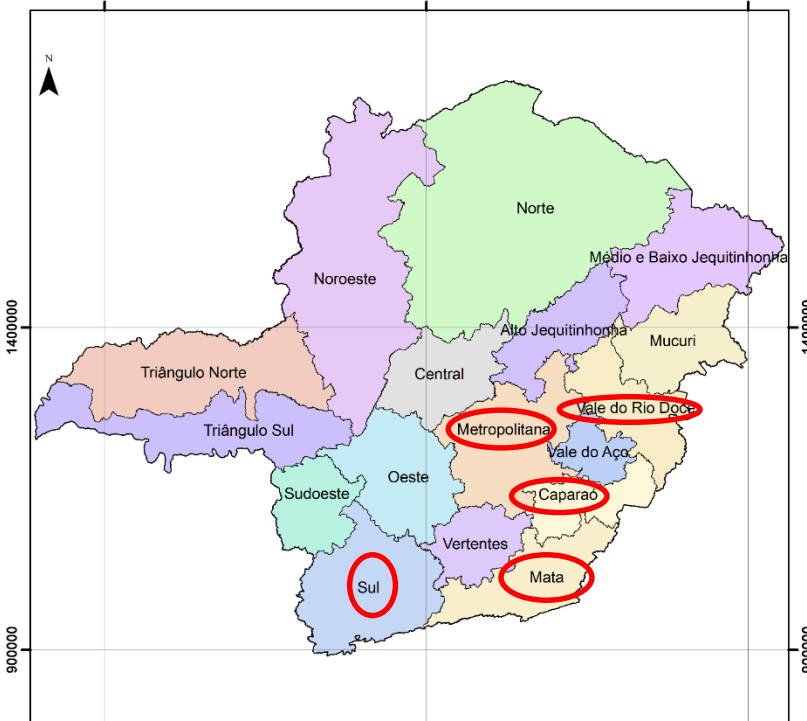
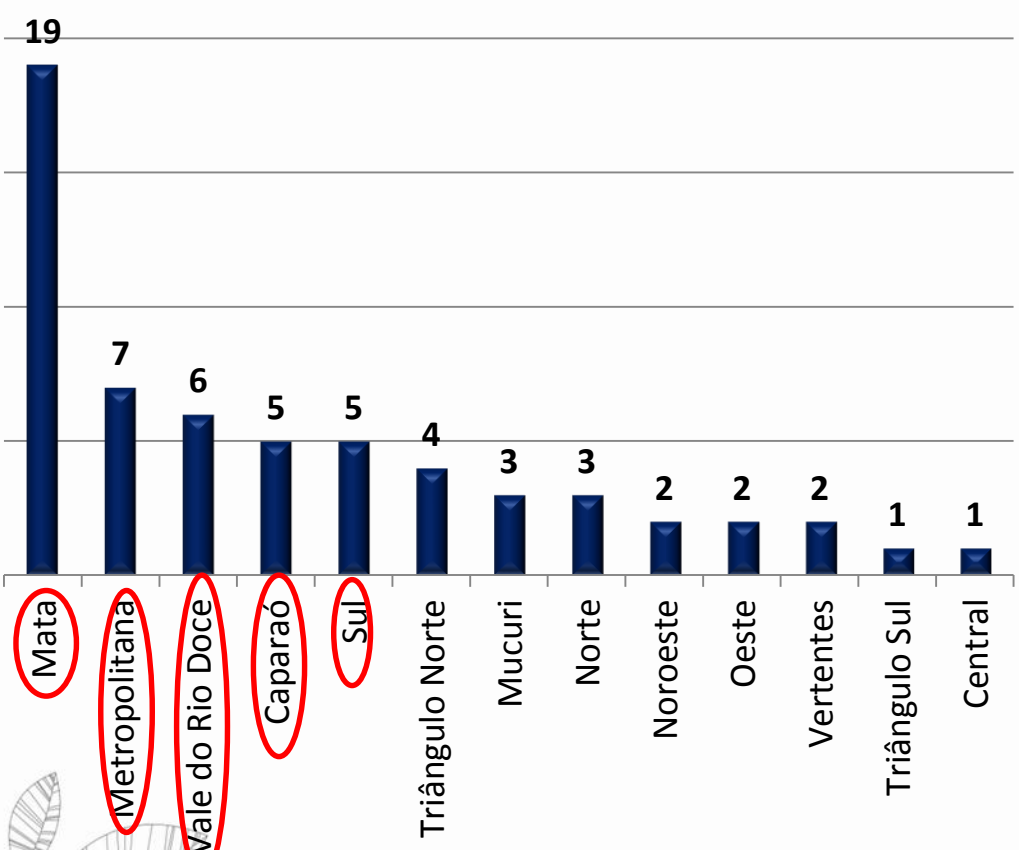
RESULTADOS



RESULTADOS

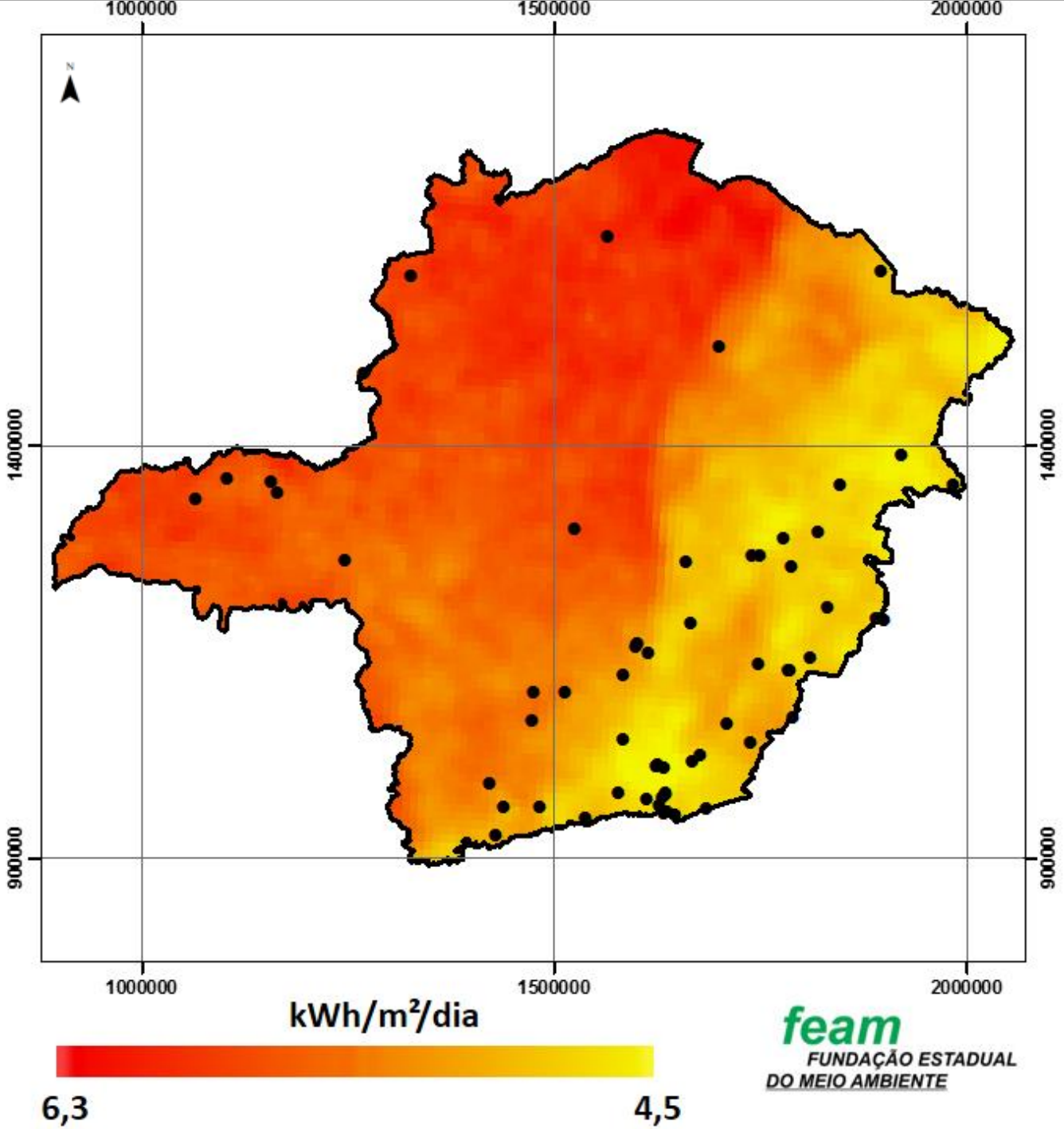


RESULTADOS



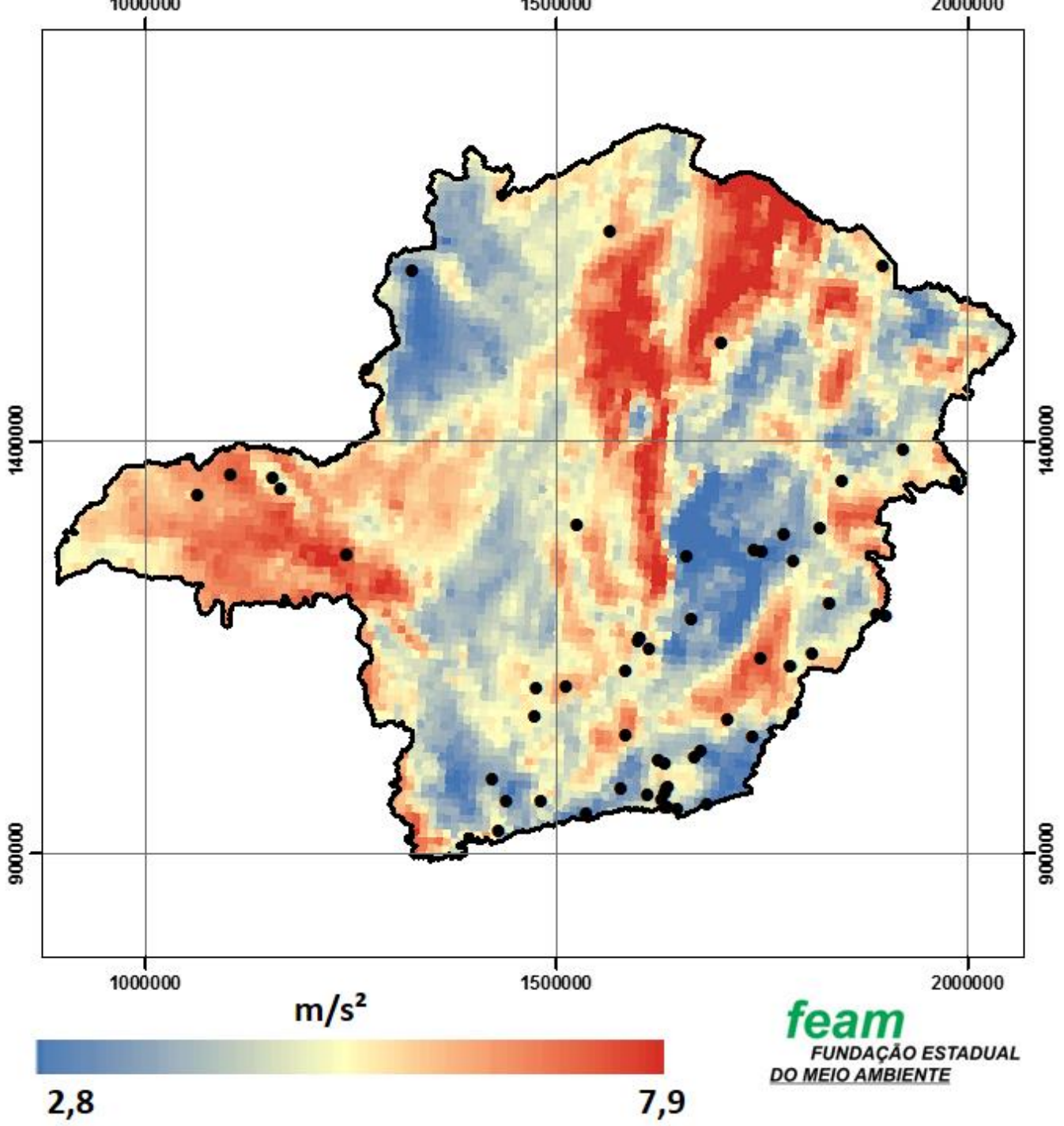
RESULTADOS

POTENCIAL SOLAR
X
USINAS COM
COMPLEMENTARIEDADE



RESULTADOS

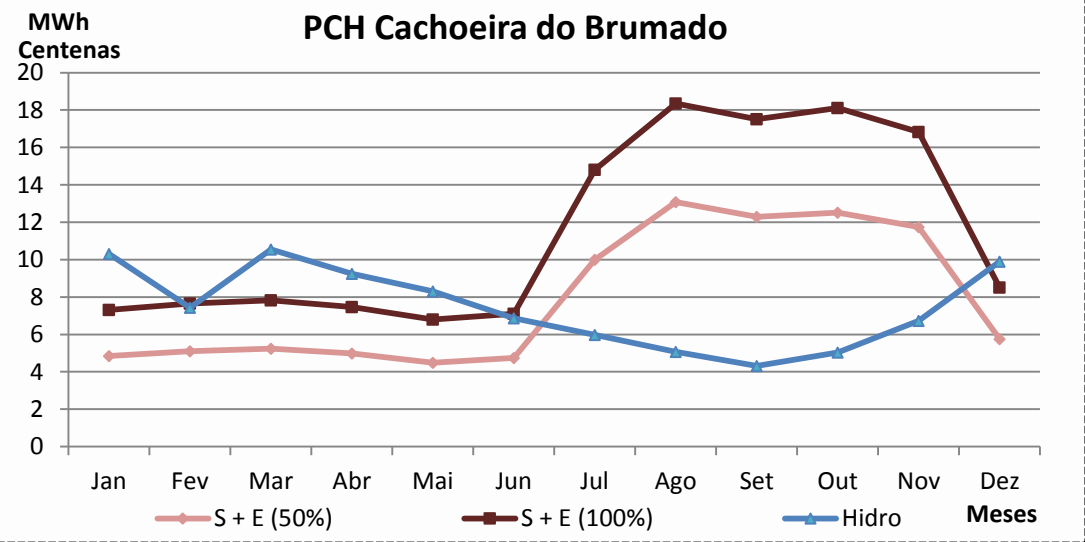
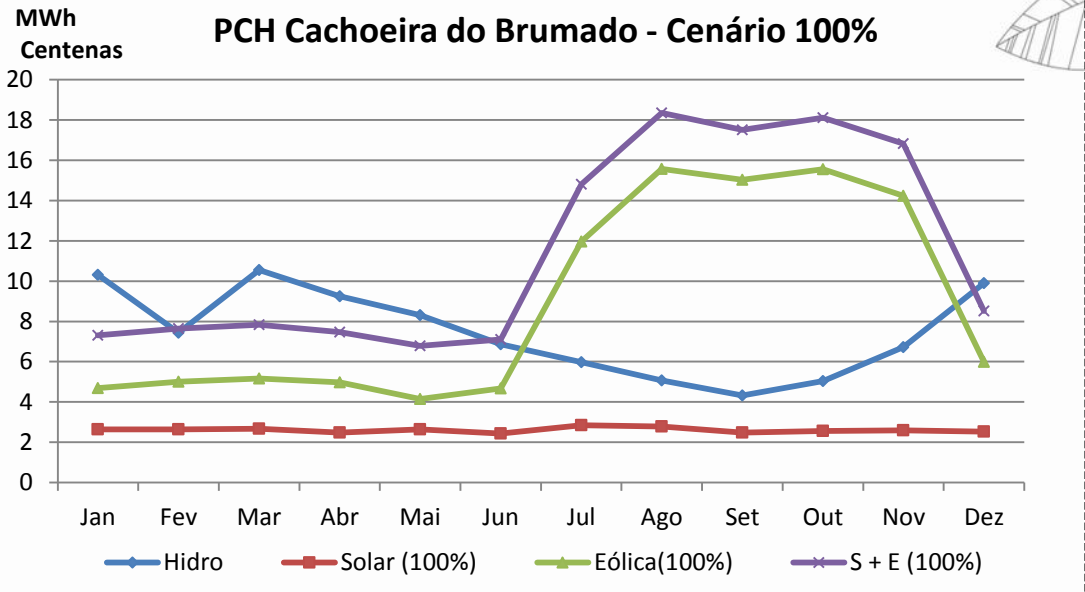
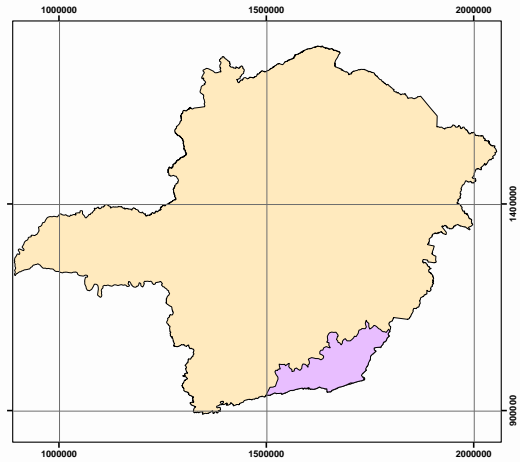
VELOCIDADE MÉDIA DE VENTOS
X
USINAS COM COMPLEMENTARIEDADE



RESULTADOS

REGIÃO MATA:

19 usinas (31.67%) com complementaridade.



RESULTADOS

REGIÃO MATA:

19 usinas (31.67%) com complementaridade.

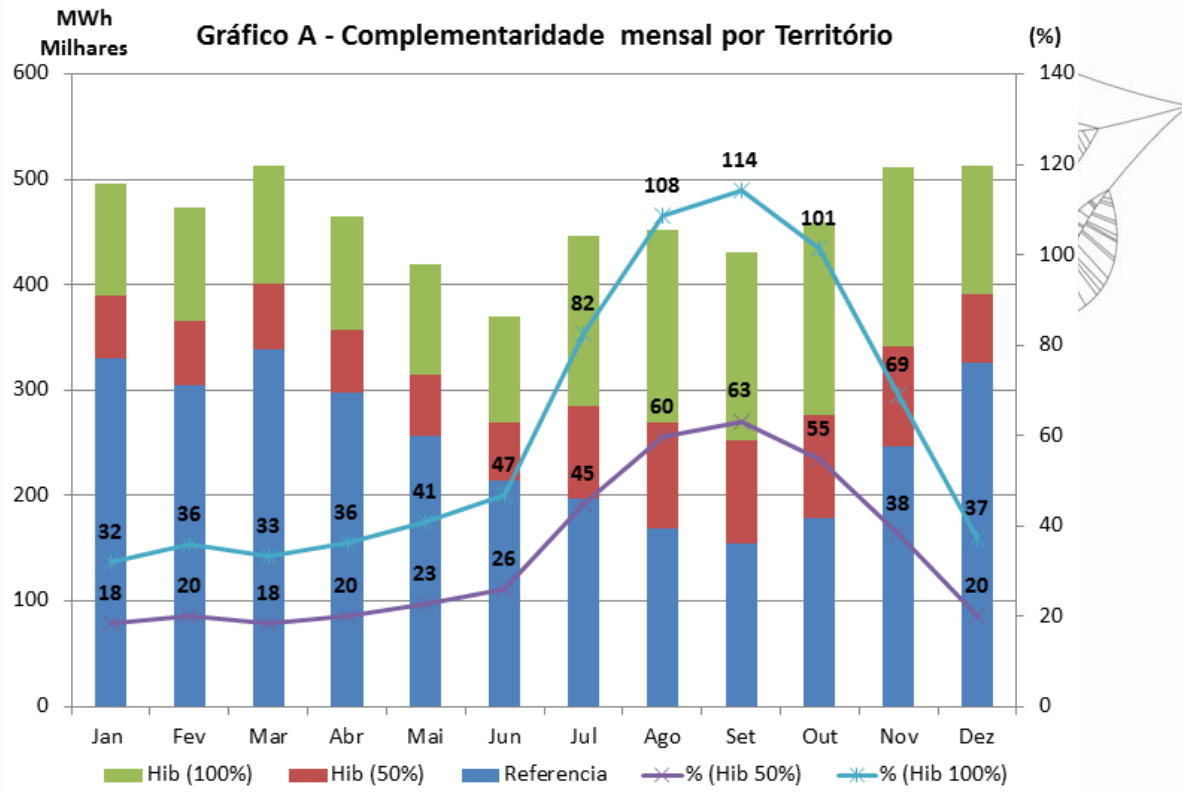
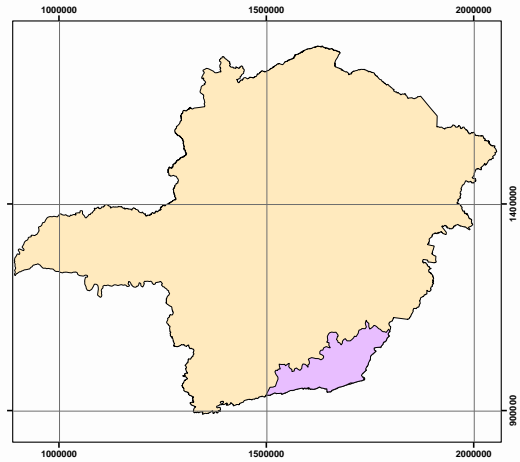


Gráfico B - Participações na potência total gerada

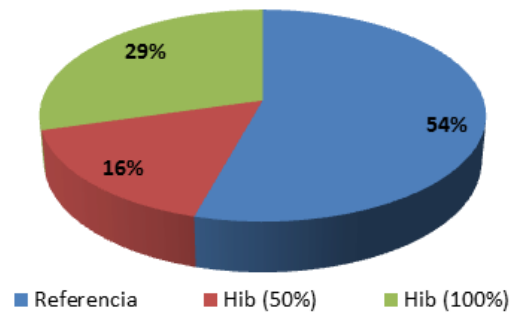
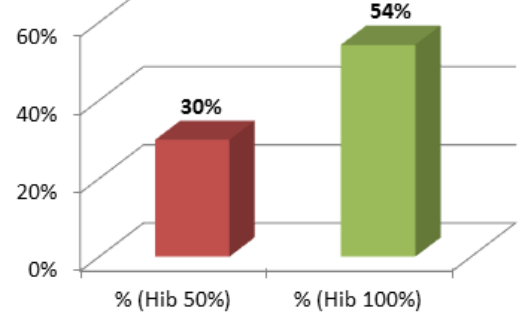


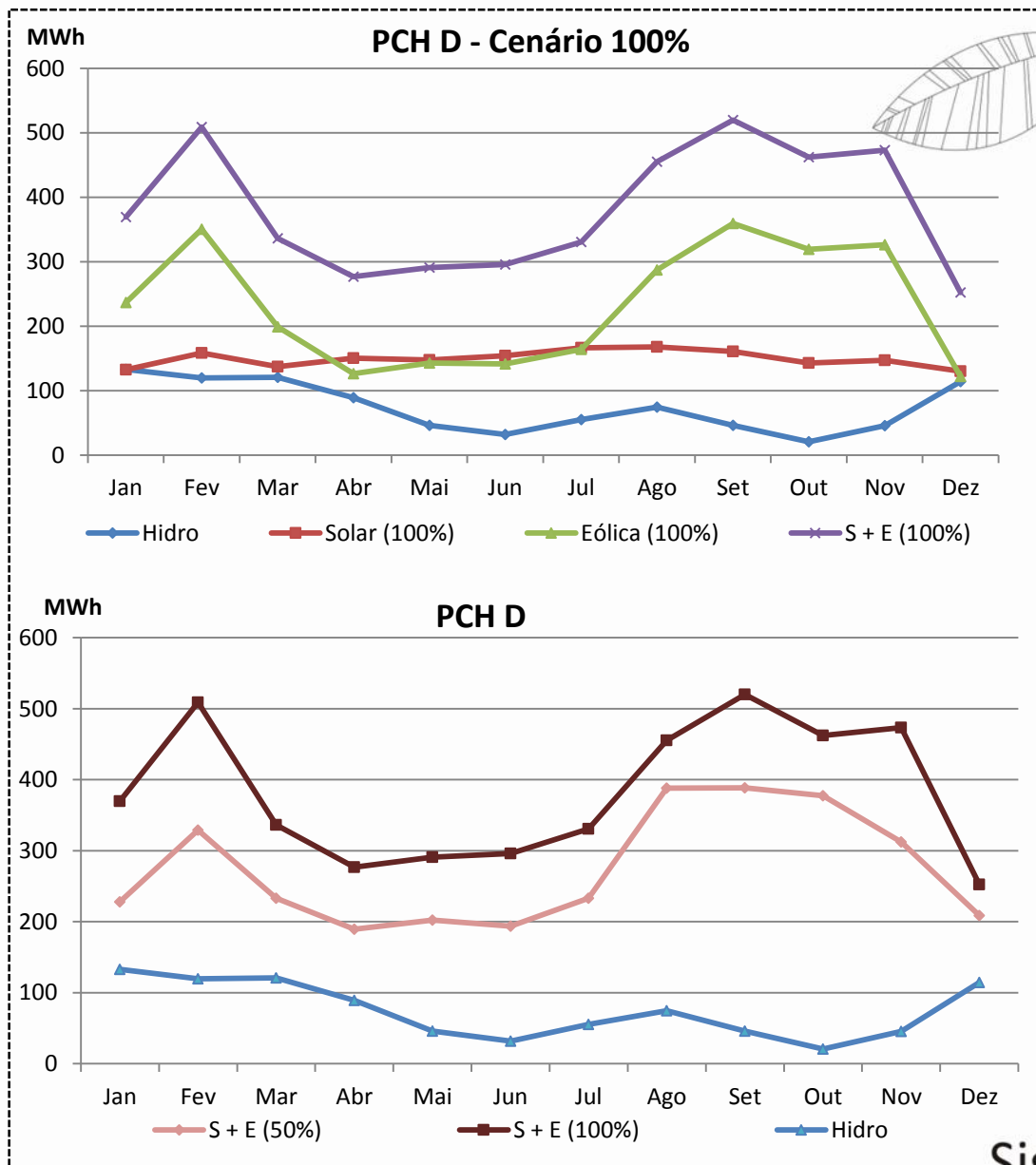
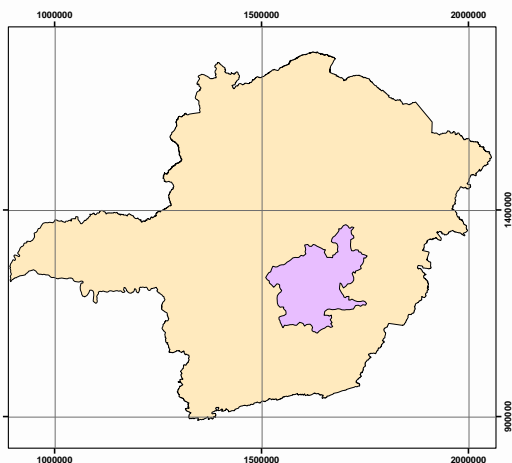
Gráfico C - Comparação com a energia hidráulica



RESULTADOS

REGIÃO METROPOLITANA:

9 usinas (15%) com complementaridade



RESULTADOS

REGIÃO METROPOLITANA:
9 usinas (15%) com complementaridade

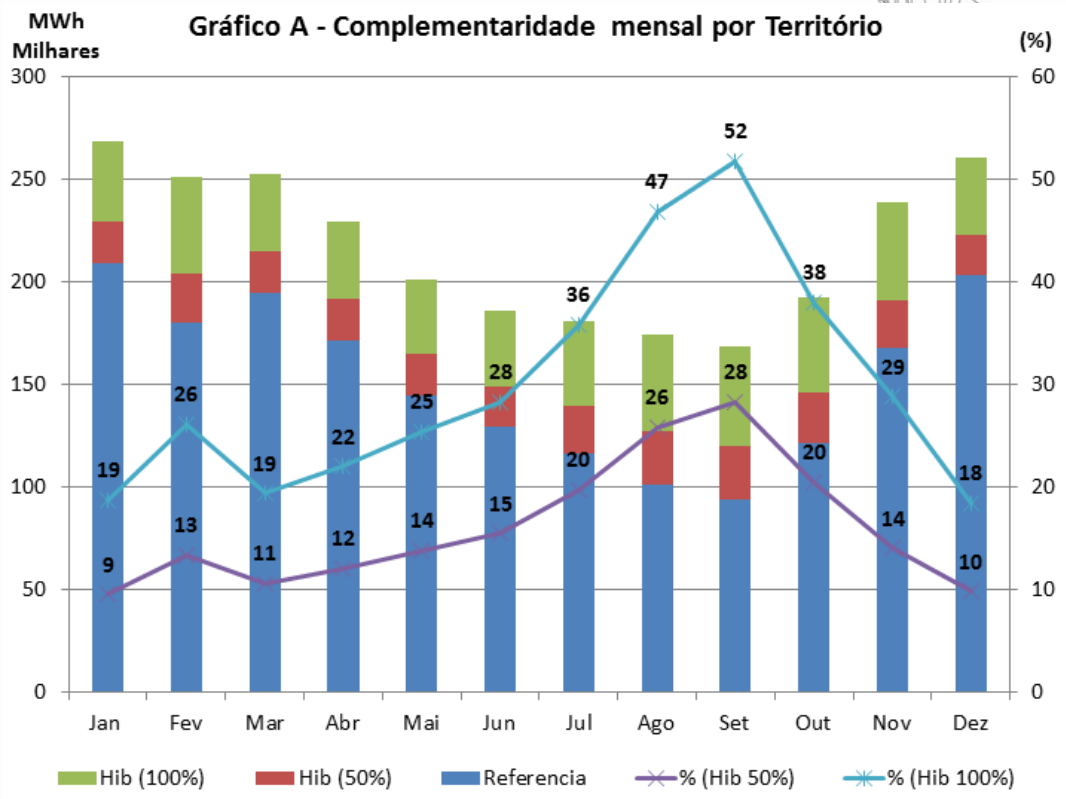
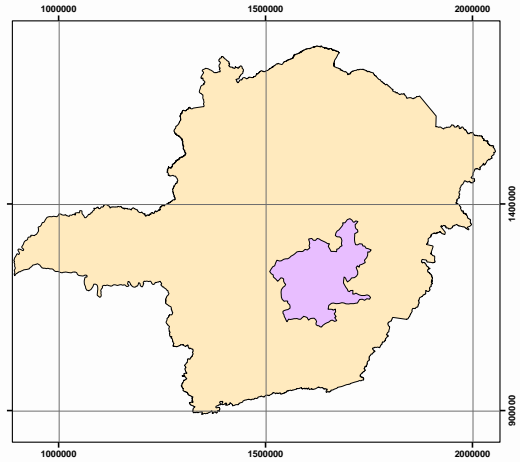


Gráfico B - Participações na potência total gerada

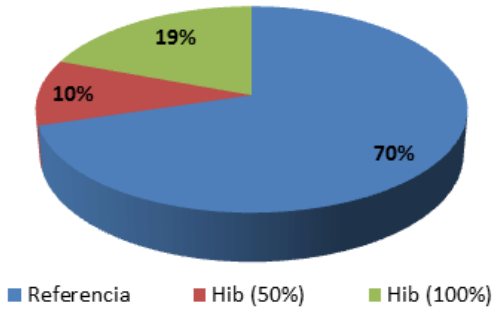
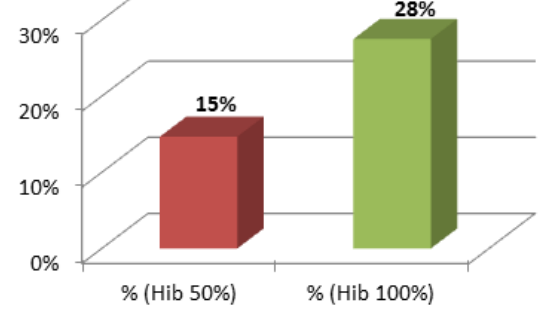


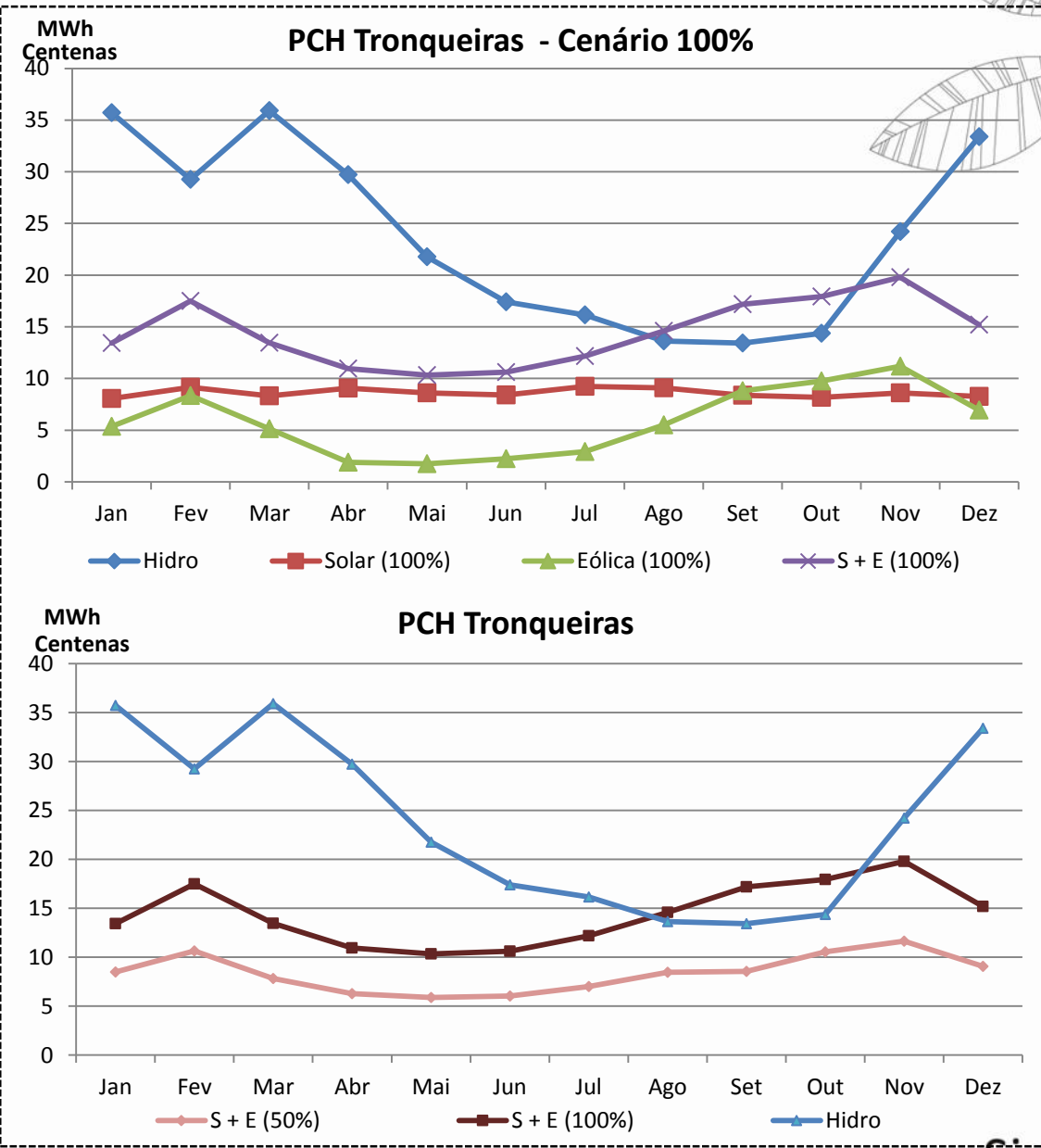
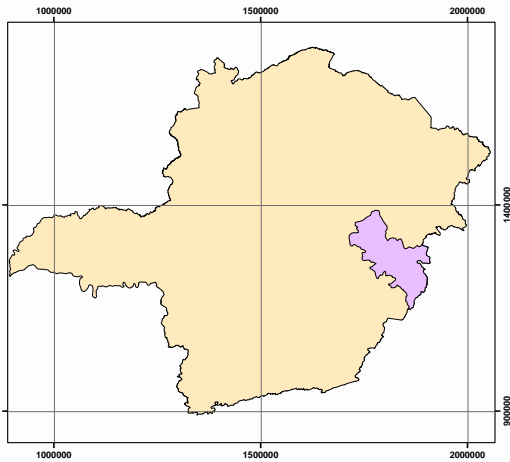
Gráfico C - Comparação com a energia hidráulica



RESULTADOS

REGIÃO VALE DO RIO DOCE:

5 usinas (8.33%) com complementariedade



RESULTADOS

REGIÃO VALE DO RIO DOCE:

5 usinas (8.33%) com complementariedade

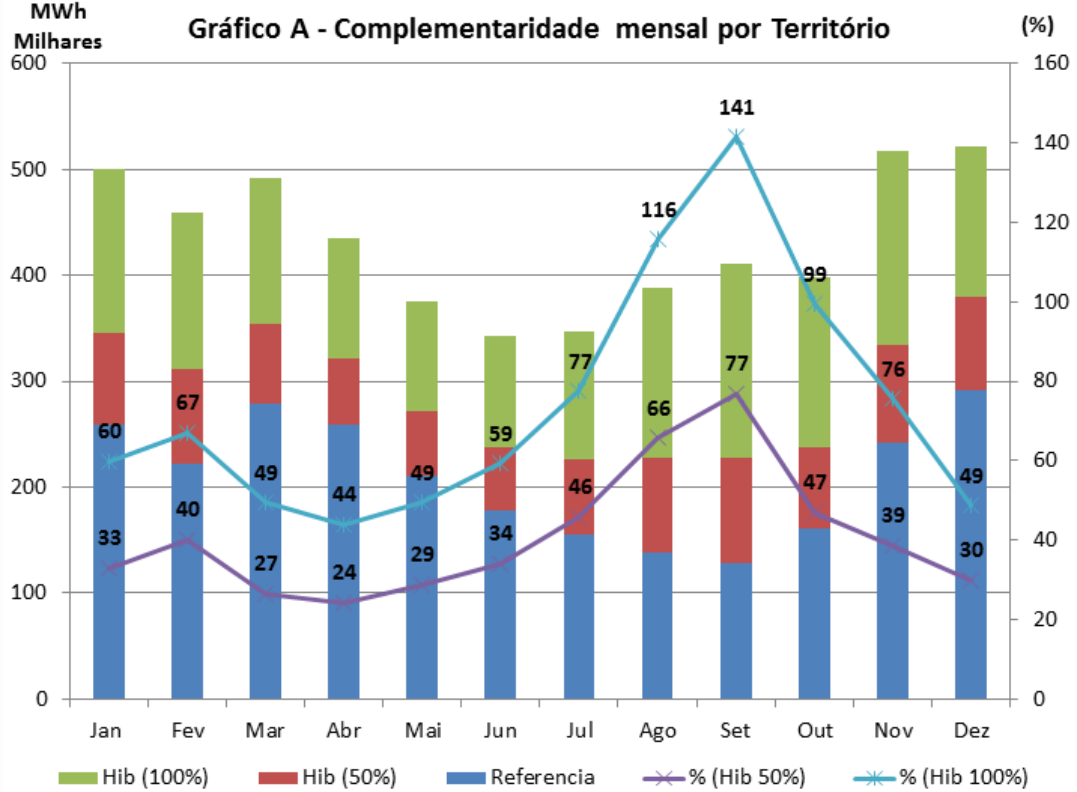
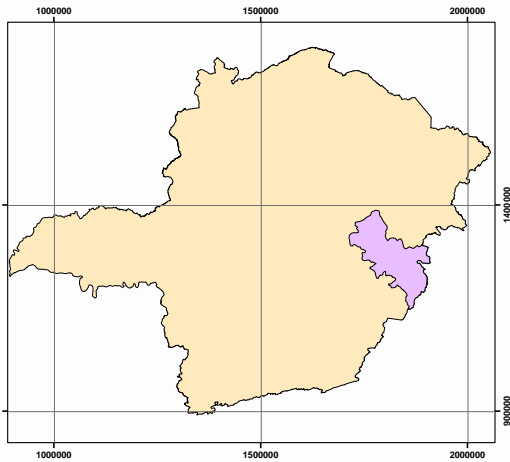


Gráfico B - Participações na potência total gerada

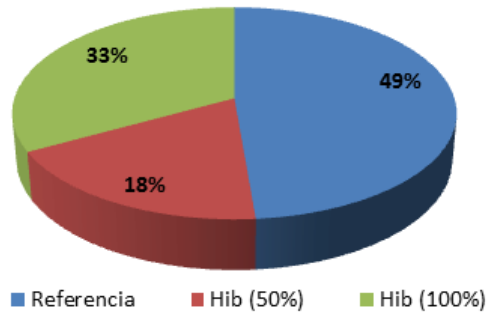
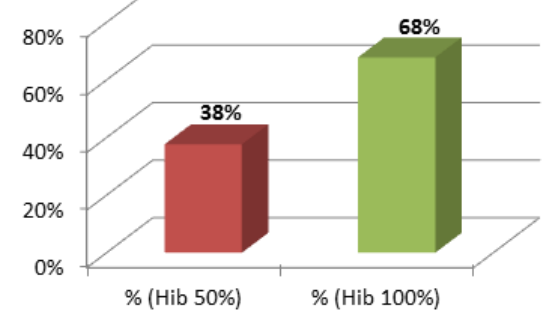


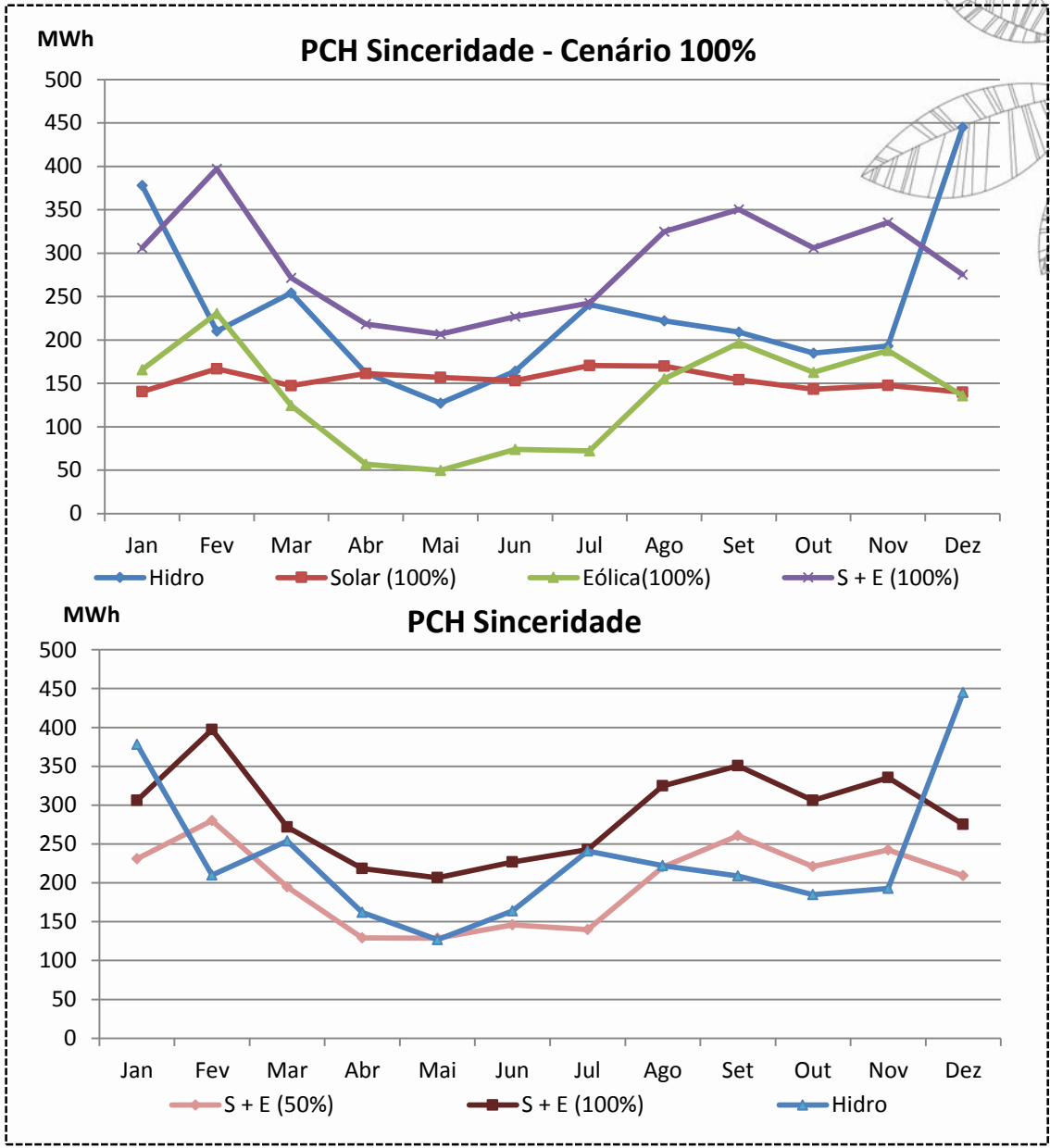
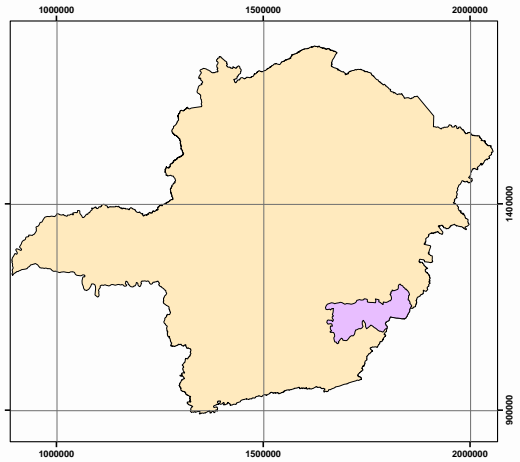
Gráfico C - Comparação com a energia hidráulica



RESULTADOS

REGIÃO DO CAPARÃO:

04 usinas (6.67%) com complementaridade



RESULTADOS

REGIÃO DO CAPARÃO:

04 usinas (6.67%) com complementaridade

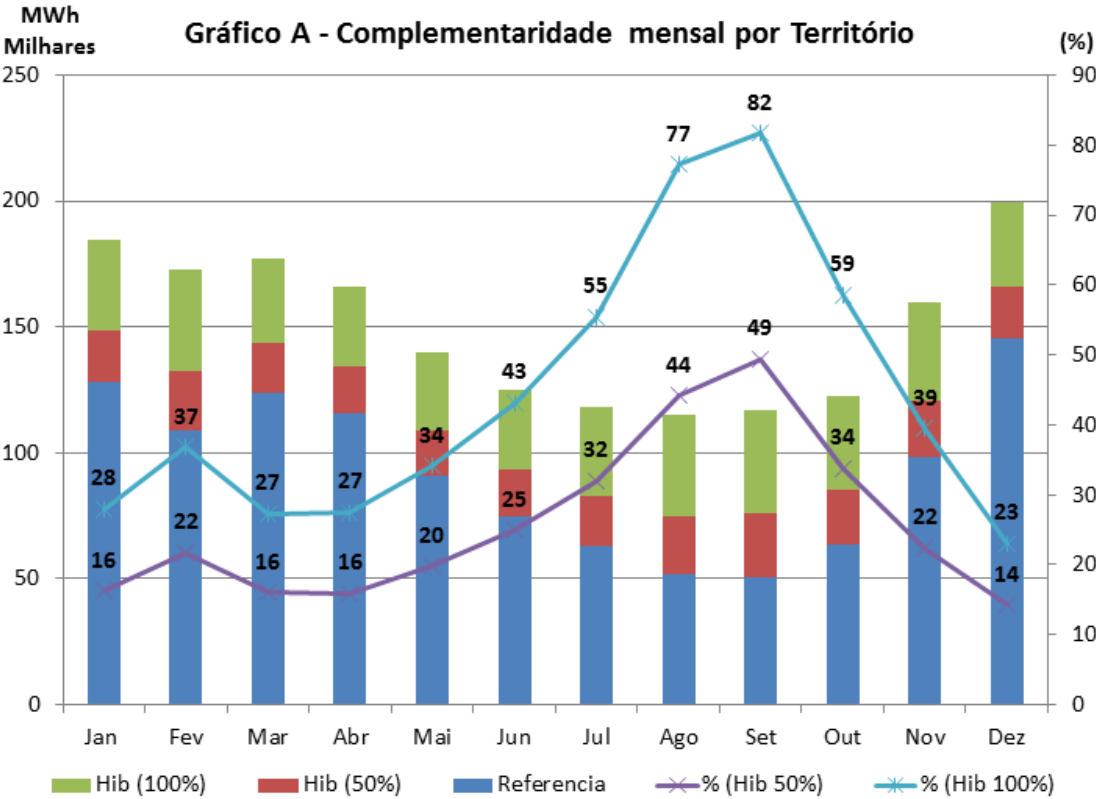
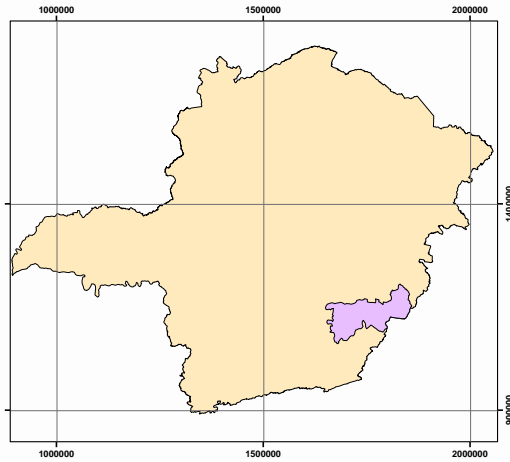


Gráfico B - Participações na potência total gerada

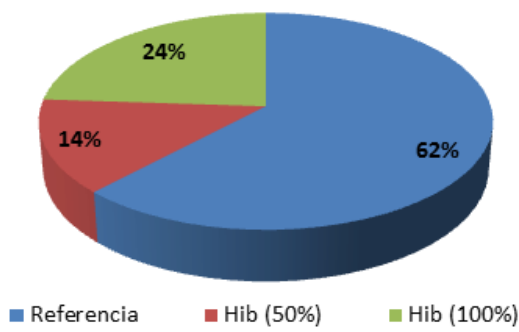
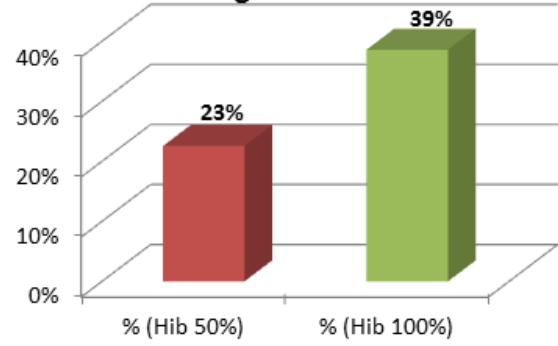


Gráfico C - Comparação com a energia hidráulica



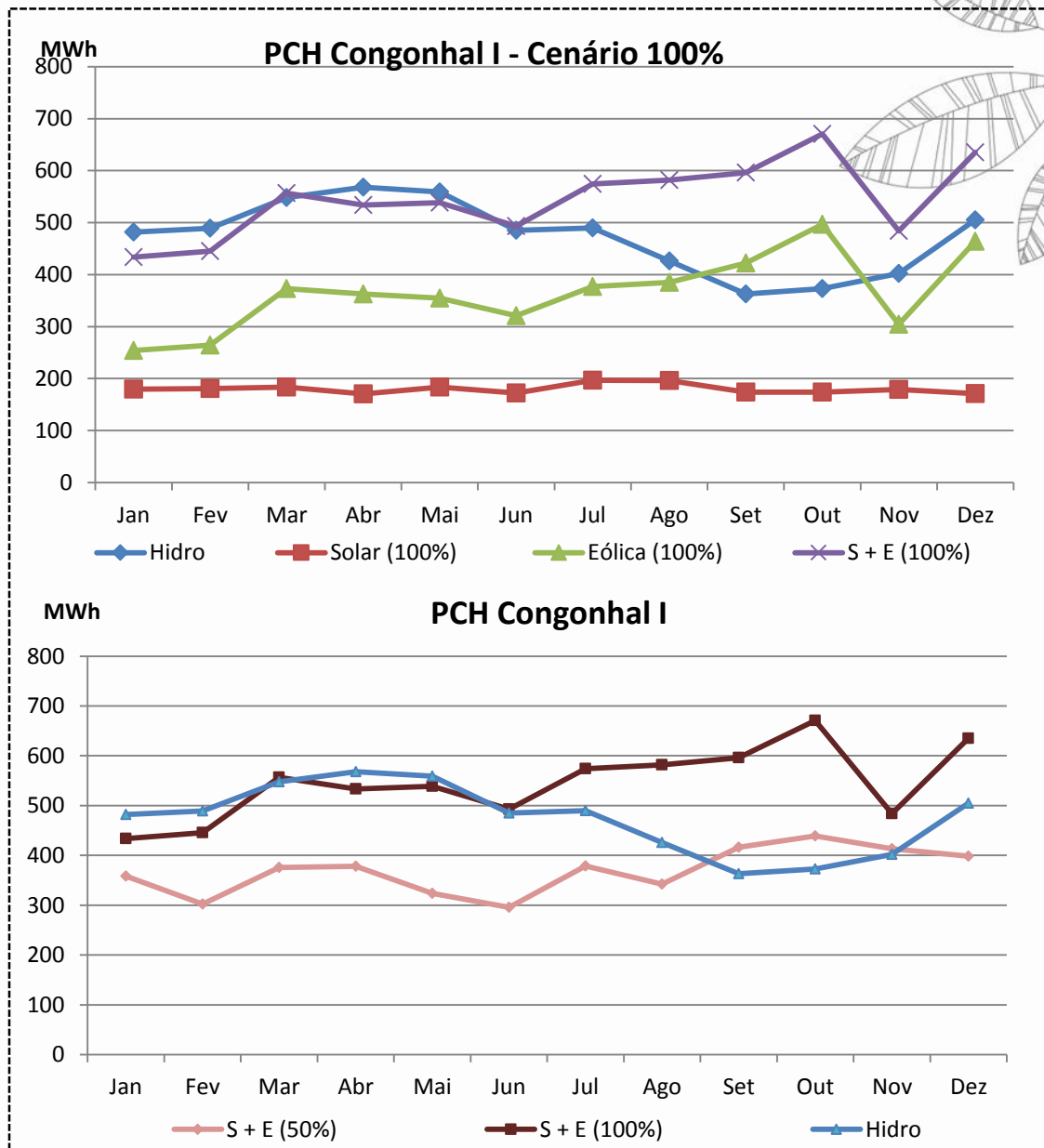
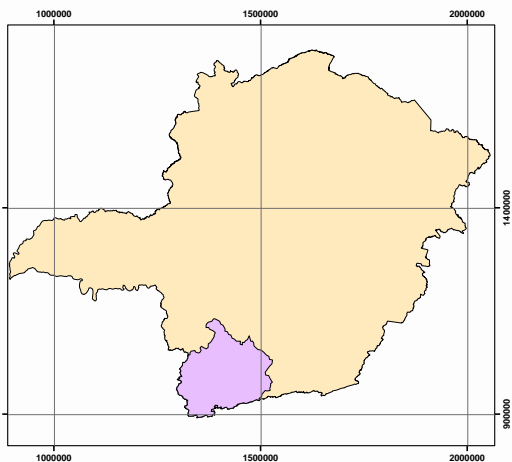
Sisema

Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

RESULTADOS

REGIÃO SUL:

5 usinas (8.33%) com complementariedade



RESULTADOS

REGIÃO SUL:

5 usinas (8.33%) com complementariedade

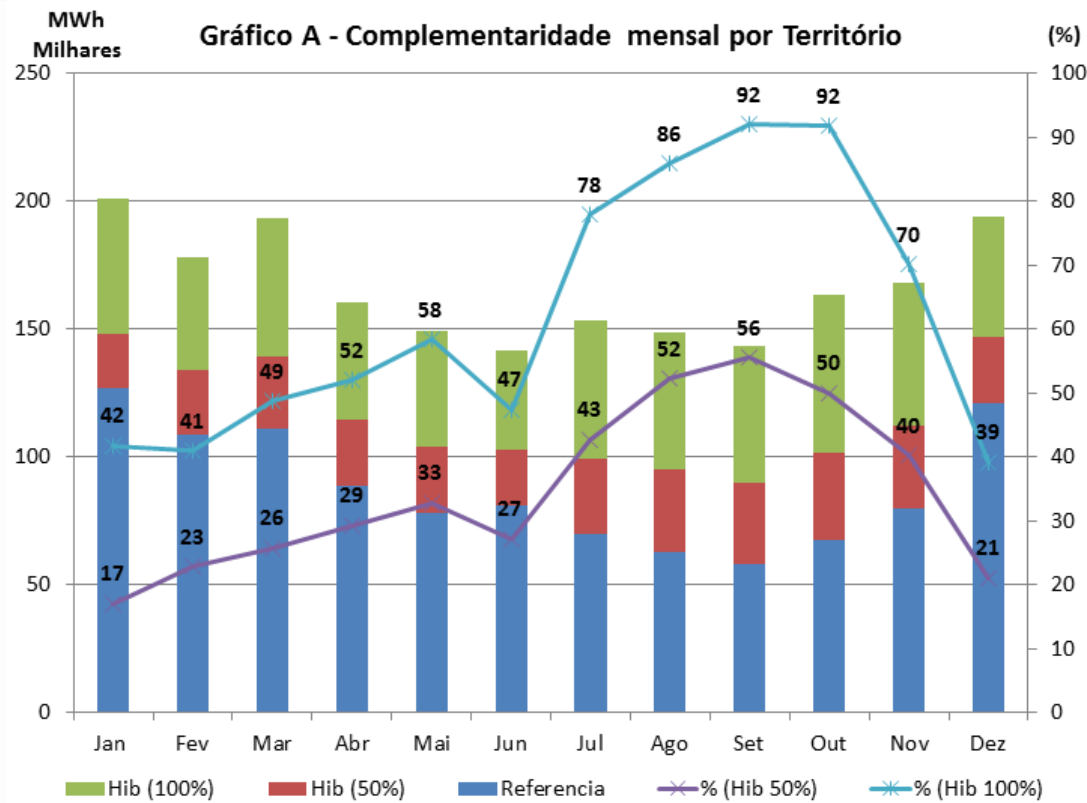
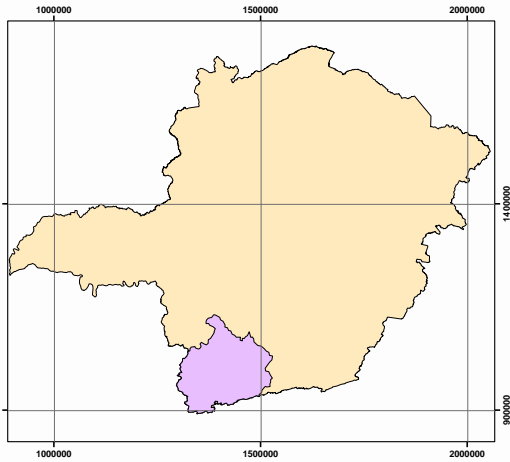


Gráfico B - Participações na potência total gerada

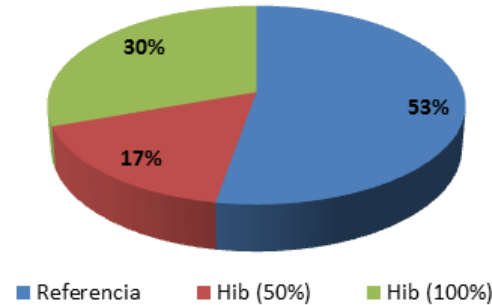
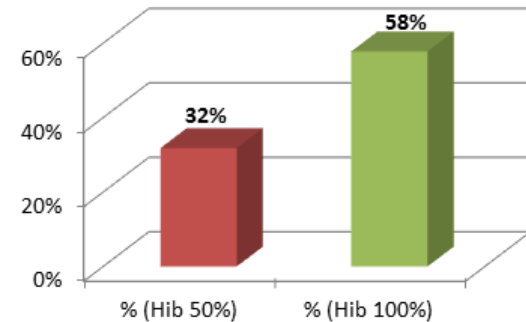


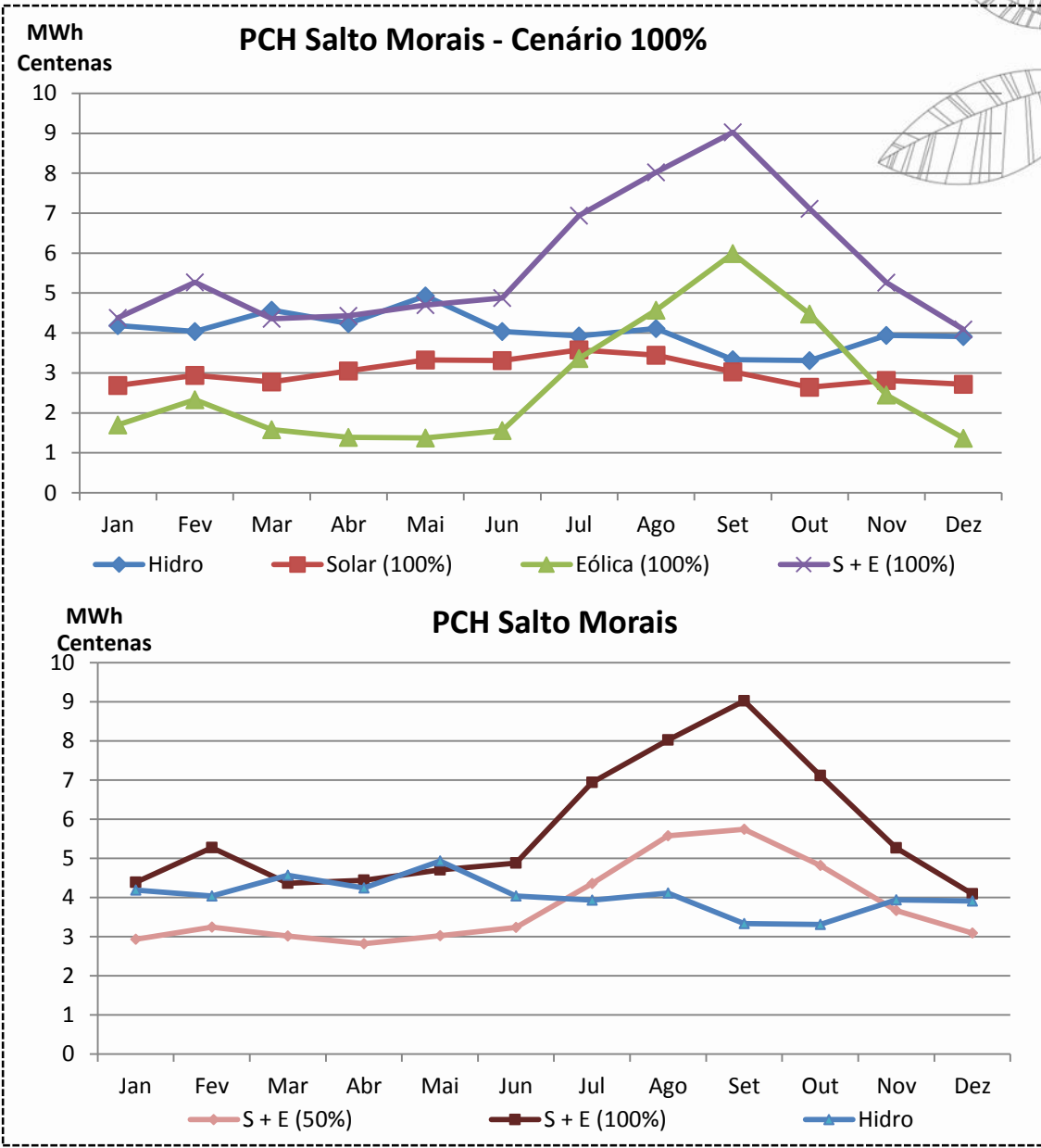
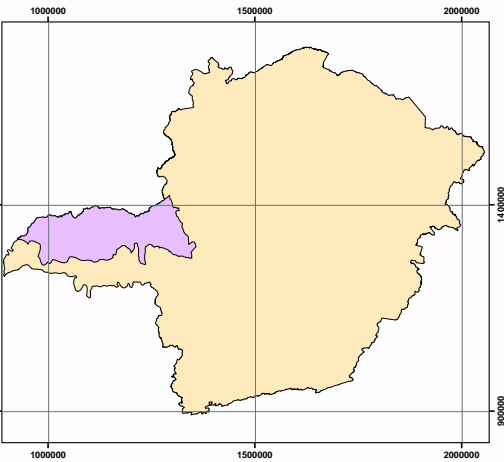
Gráfico C - Comparação com a energia hidráulica



RESULTADOS

REGIÃO TRIÂNGULO NORTE:

4 usinas (6.67%) com complementaridade



RESULTADOS

REGIÃO TRIÂNGULO NORTE:

4 usinas (6.67%) com complementaridade

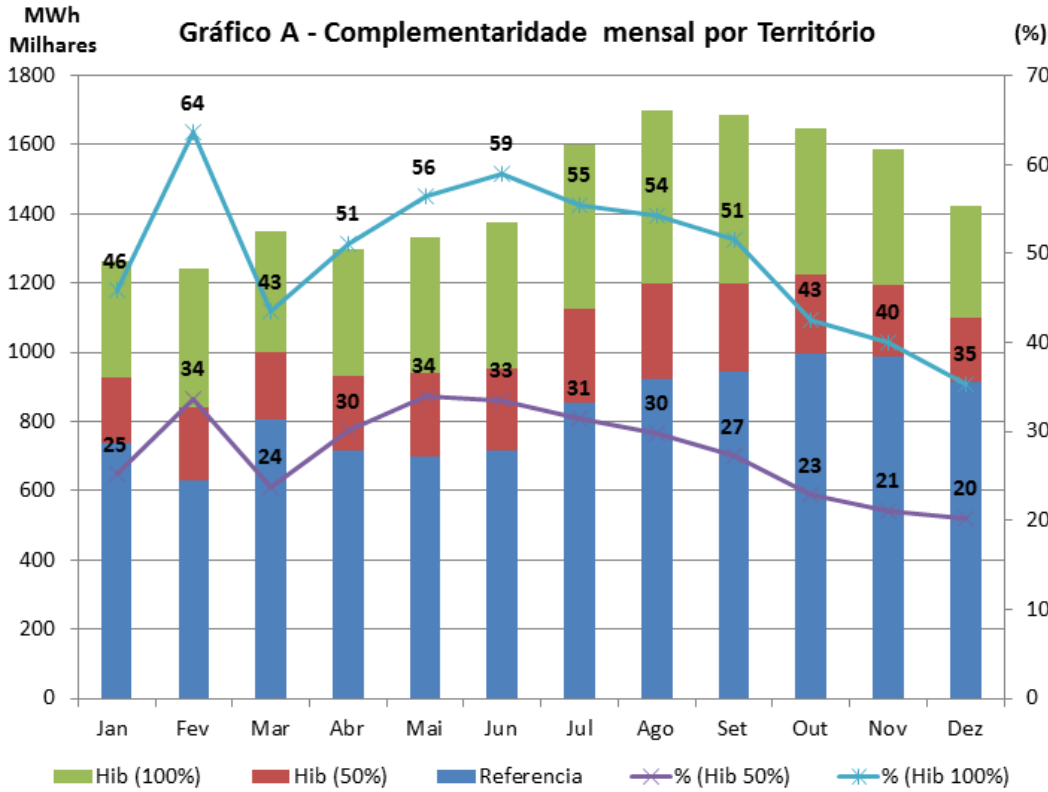
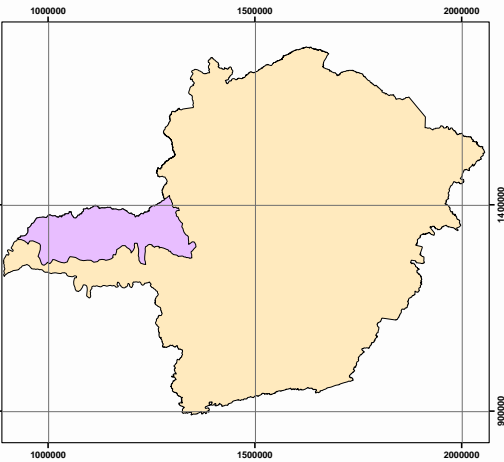


Gráfico B - Participações na potência total gerada

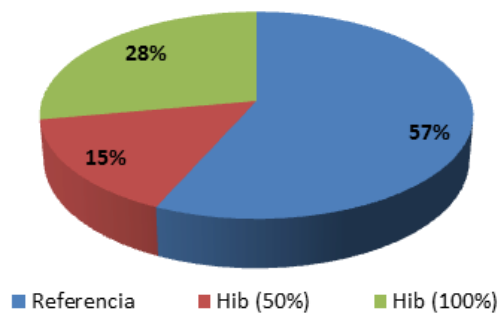
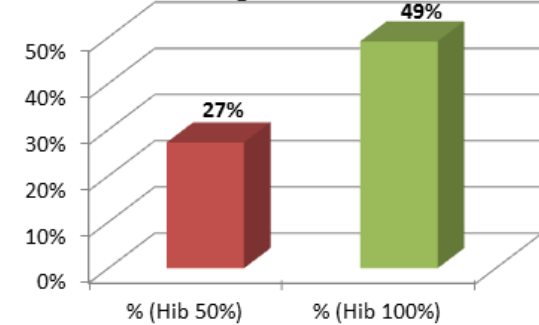
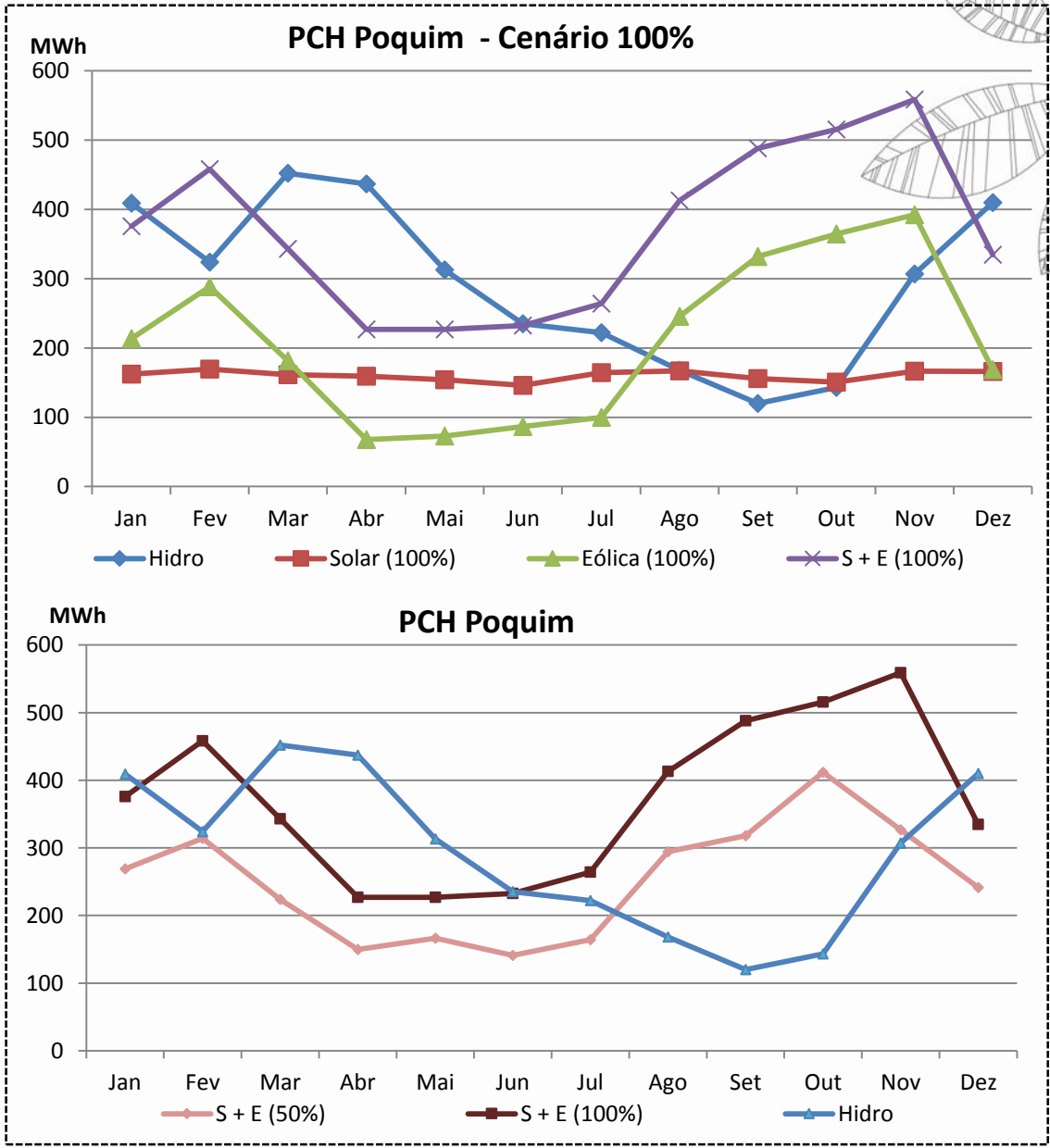
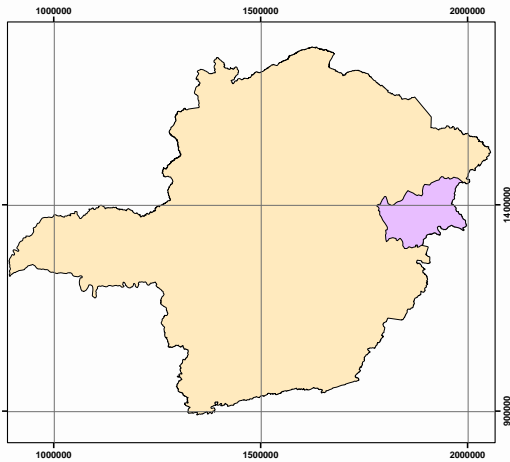


Gráfico C - Comparação com a energia hidráulica



RESULTADOS

REGIÃO DO MUCURI:
3 usinas (5%) com complementaridade



RESULTADOS

REGIÃO DO MUCURI:
3 usinas (5%) com complementaridade

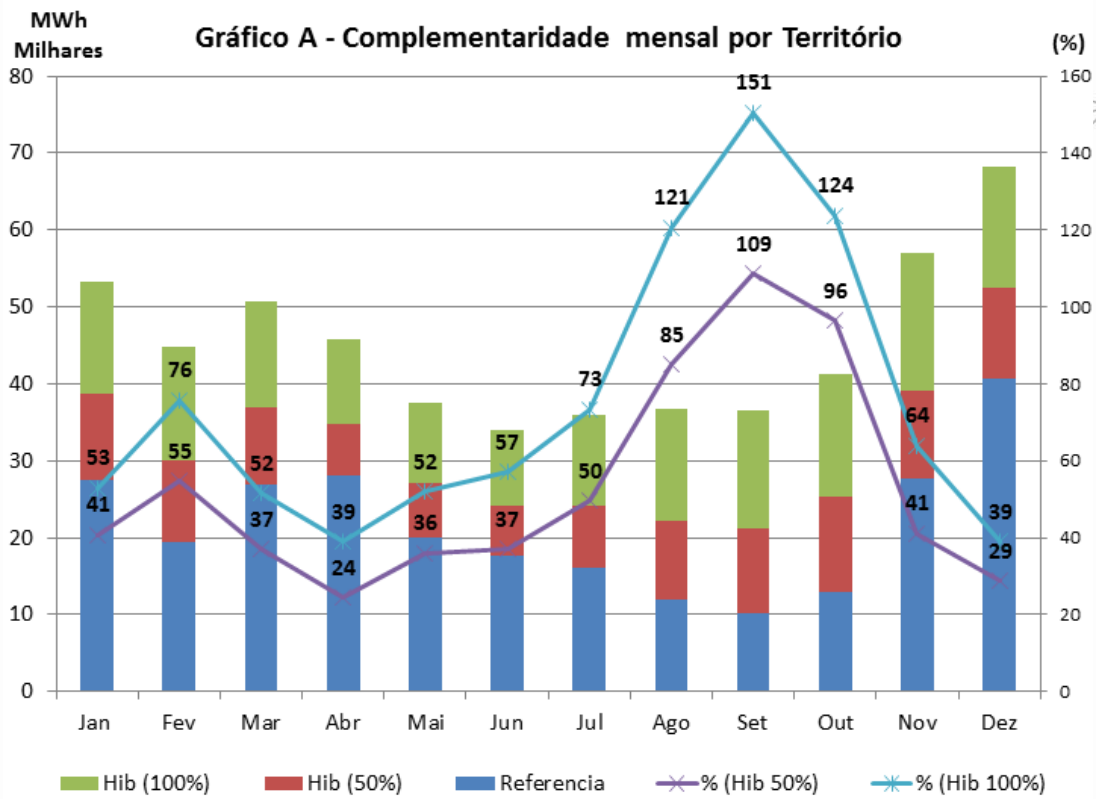
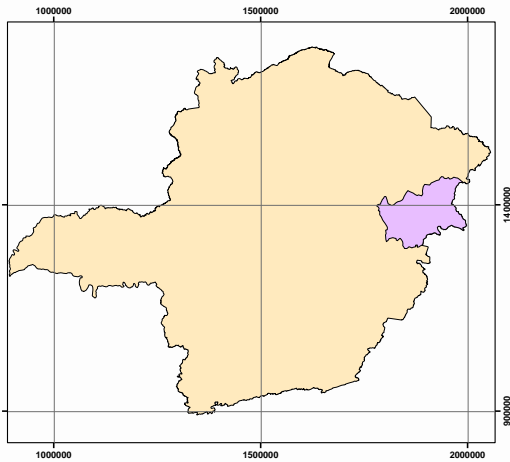


Gráfico B - Participações na potência total gerada

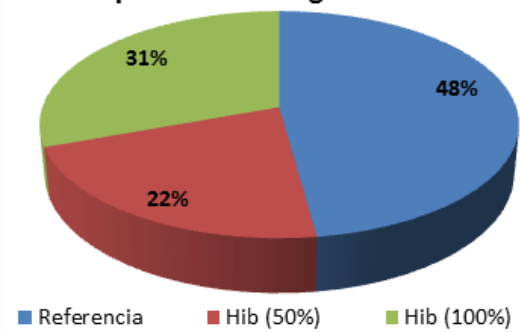
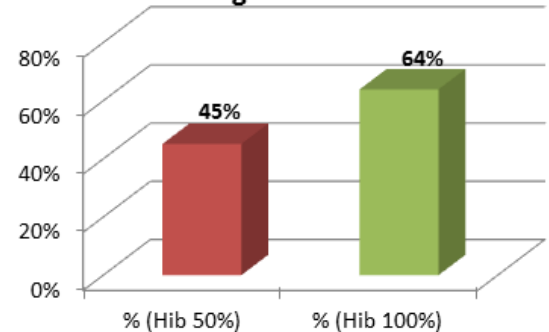
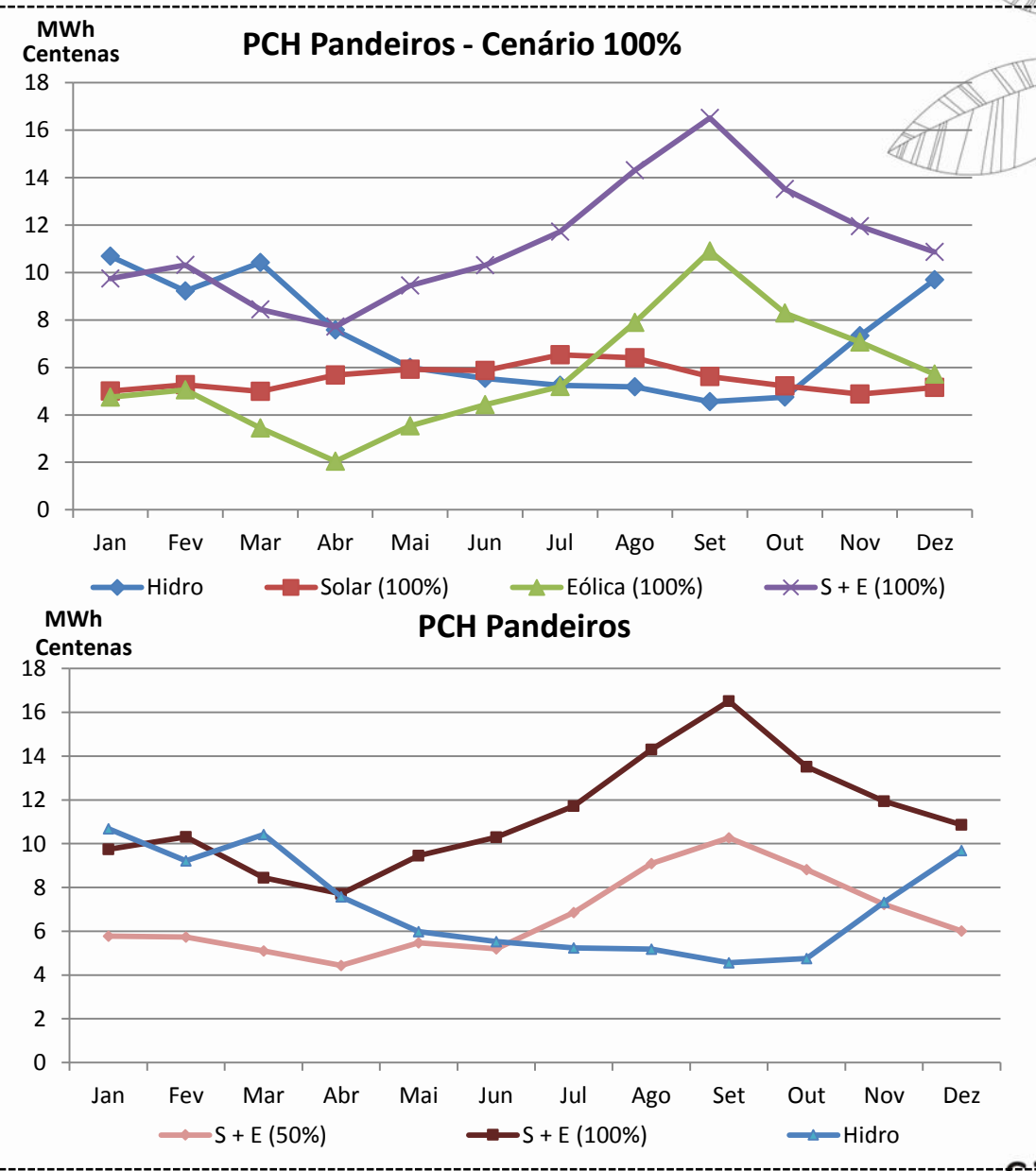
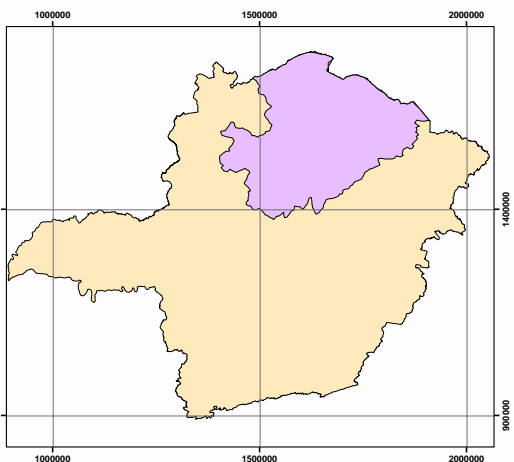


Gráfico C - Comparação com a energia hidráulica



RESULTADOS

REGIÃO NORTE:
3 usinas (5%) com complementaridade



RESULTADOS

REGIÃO NORTE:

3 usinas (5%) com complementaridade

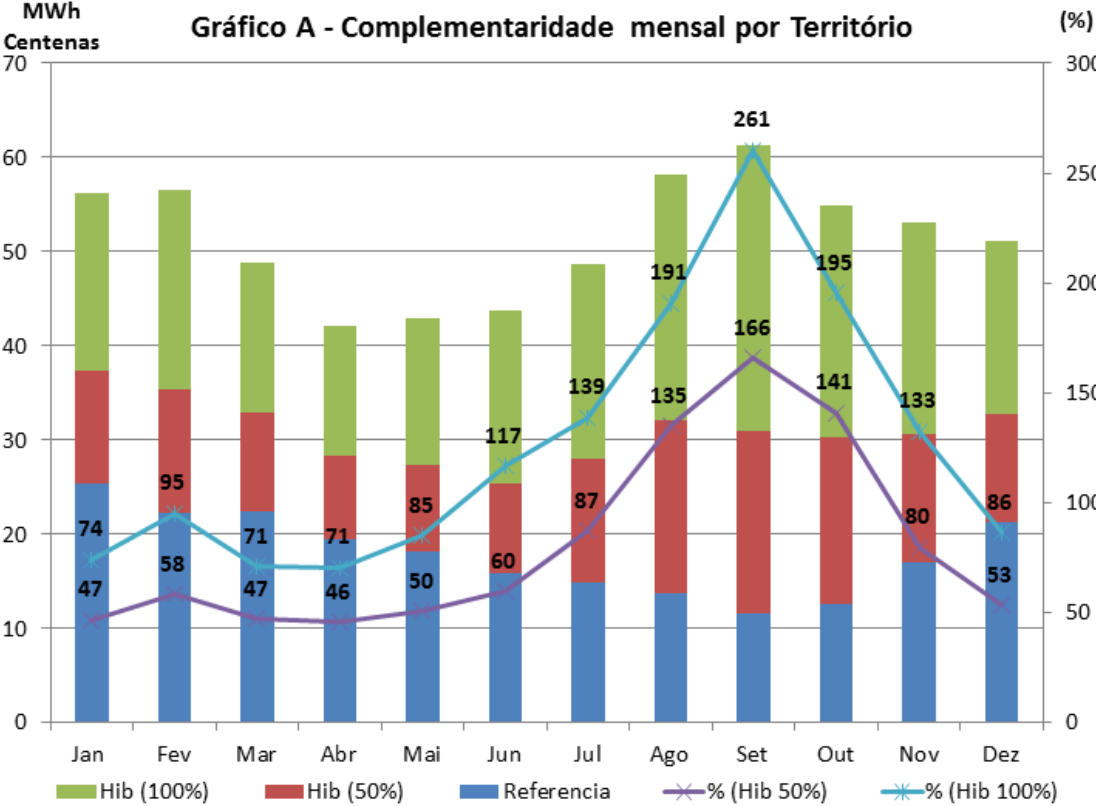
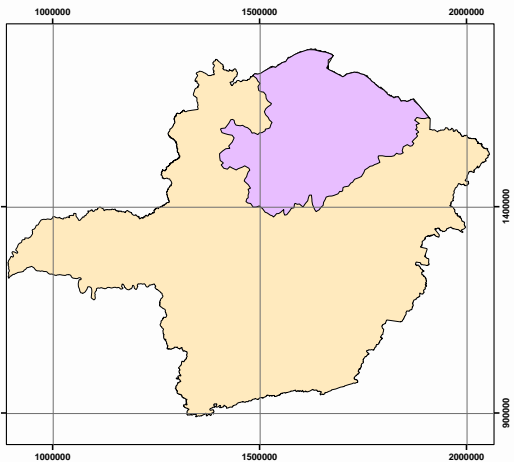


Gráfico B - Participações na potência total gerada

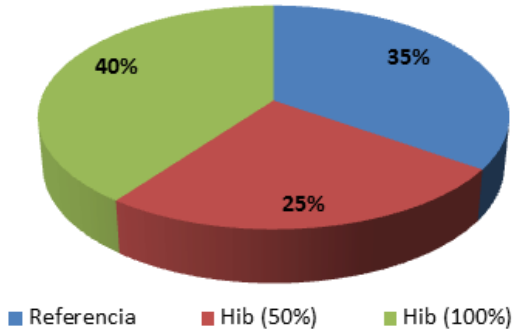
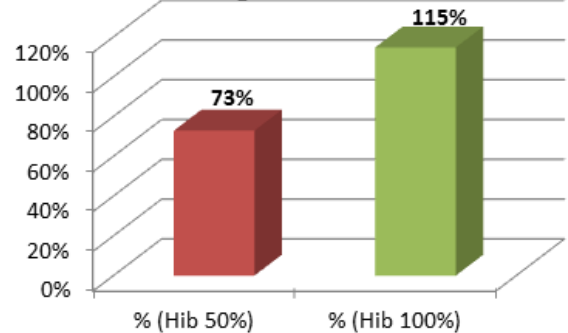


Gráfico C - Comparação com a energia hidráulica

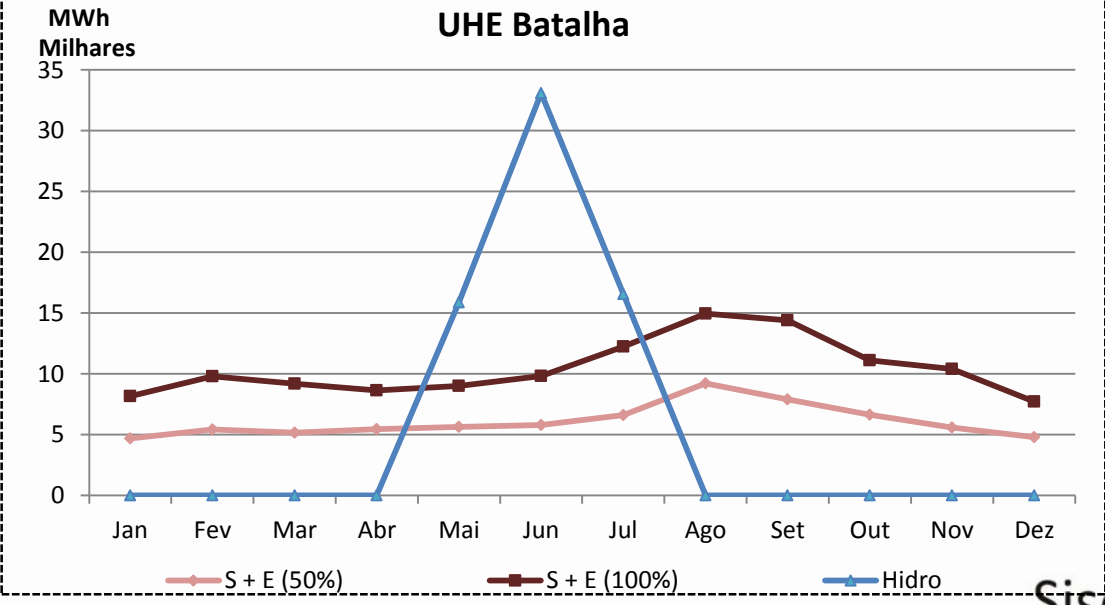
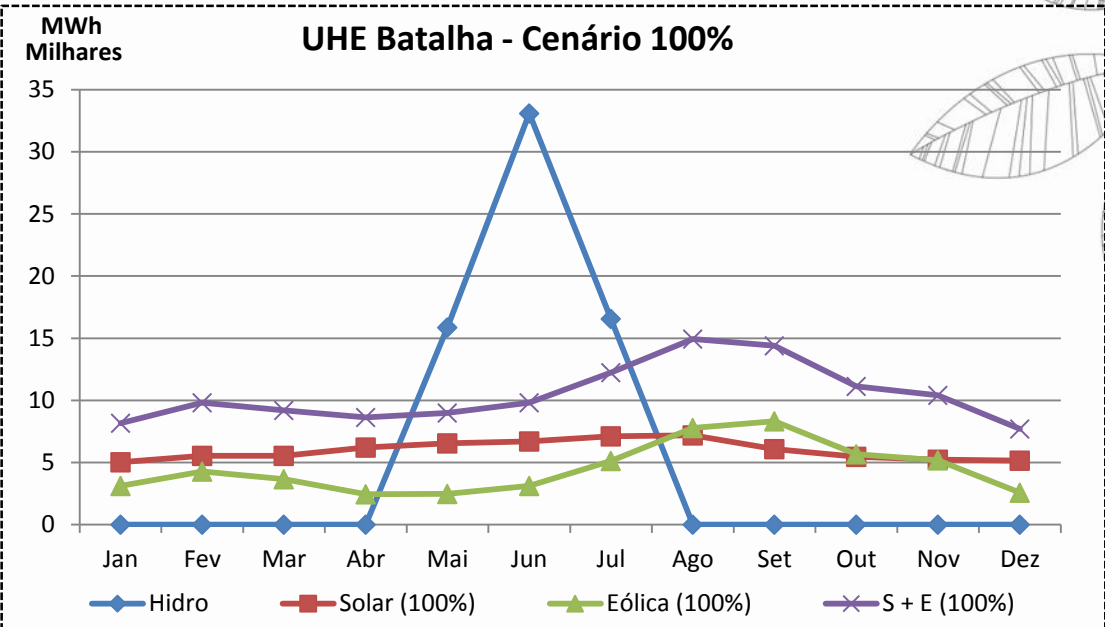
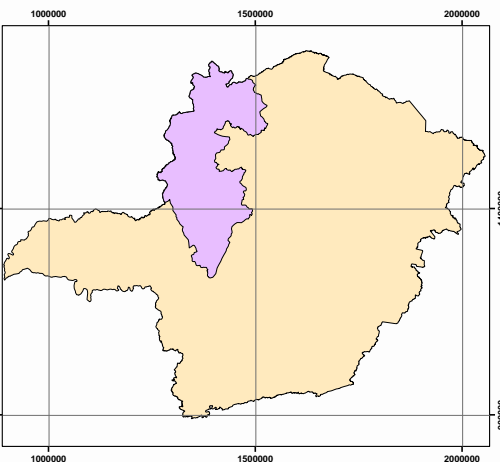


Sisema

Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

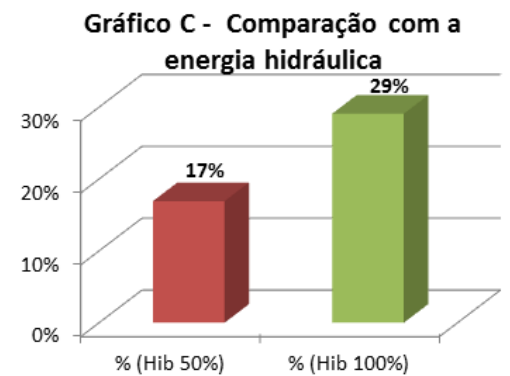
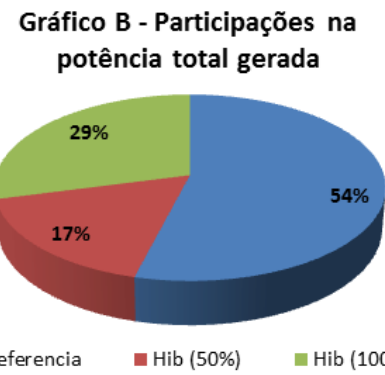
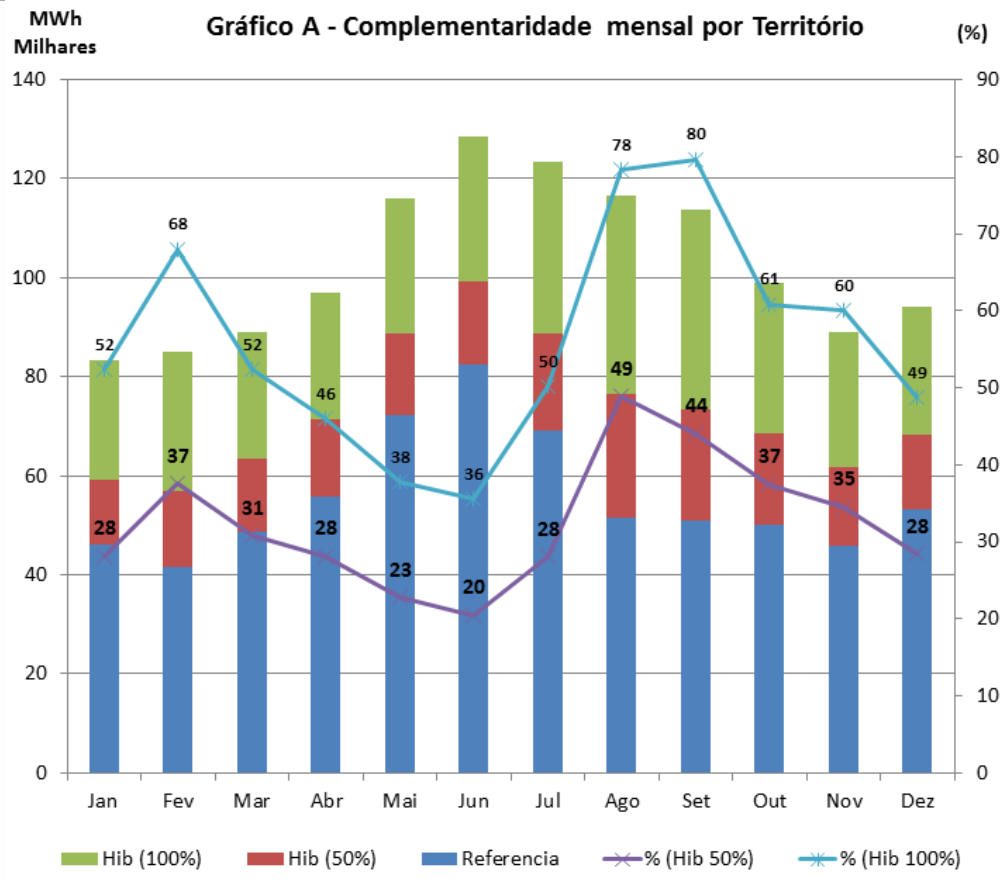
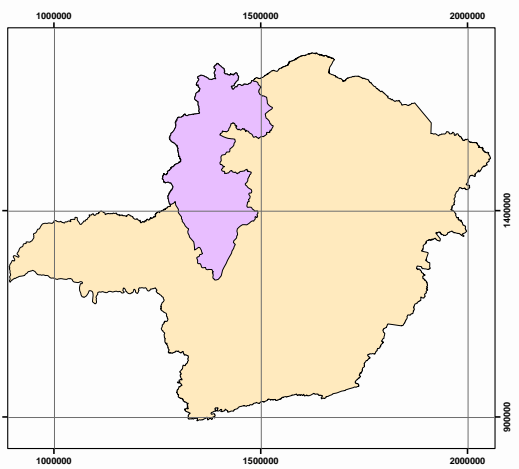
RESULTADOS

REGIÃO NOROESTE:
2 usinas (3.33%) com complementaridade



RESULTADOS

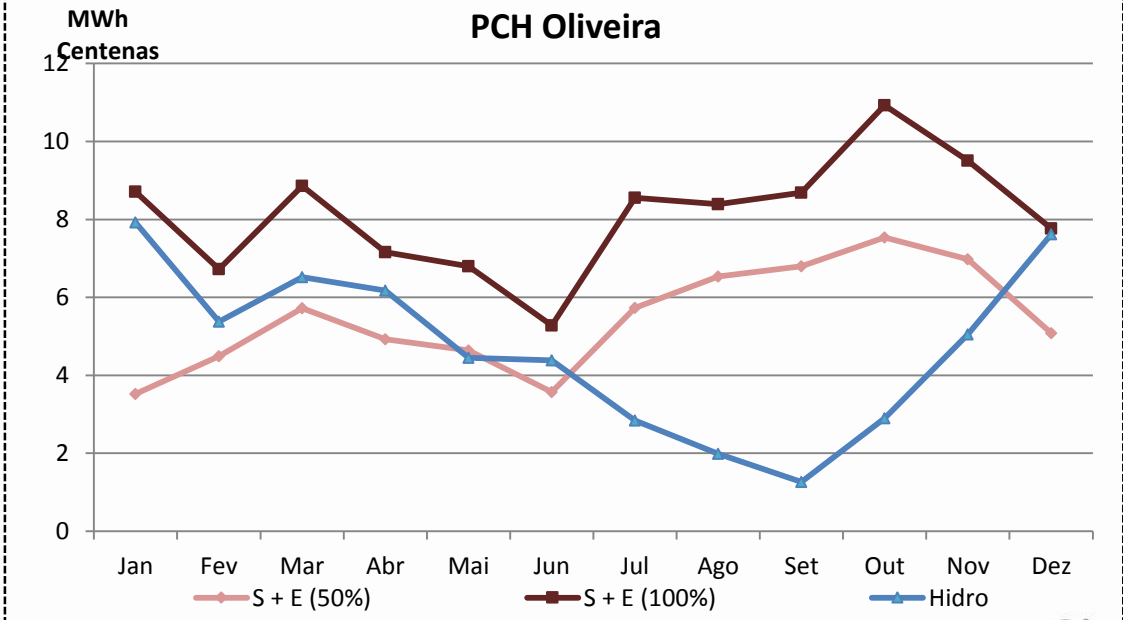
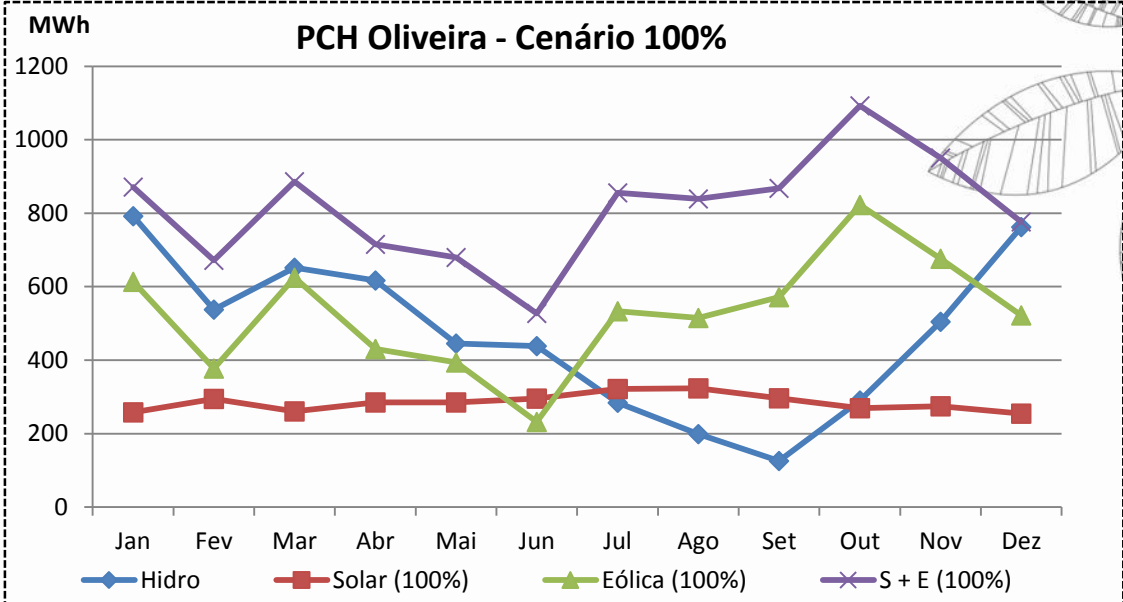
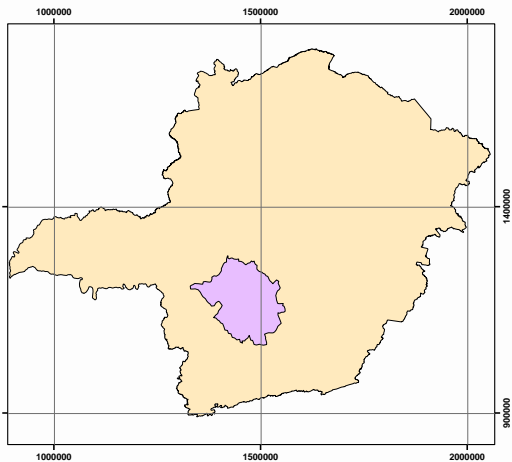
REGIÃO NOROESTE:
2 usinas (3.33%) com complementaridade



RESULTADOS

REGIÃO OESTE:

2 usinas (3.33%) com complementaridade



RESULTADOS

REGIÃO OESTE:

2 usinas (3.33%) com complementaridade

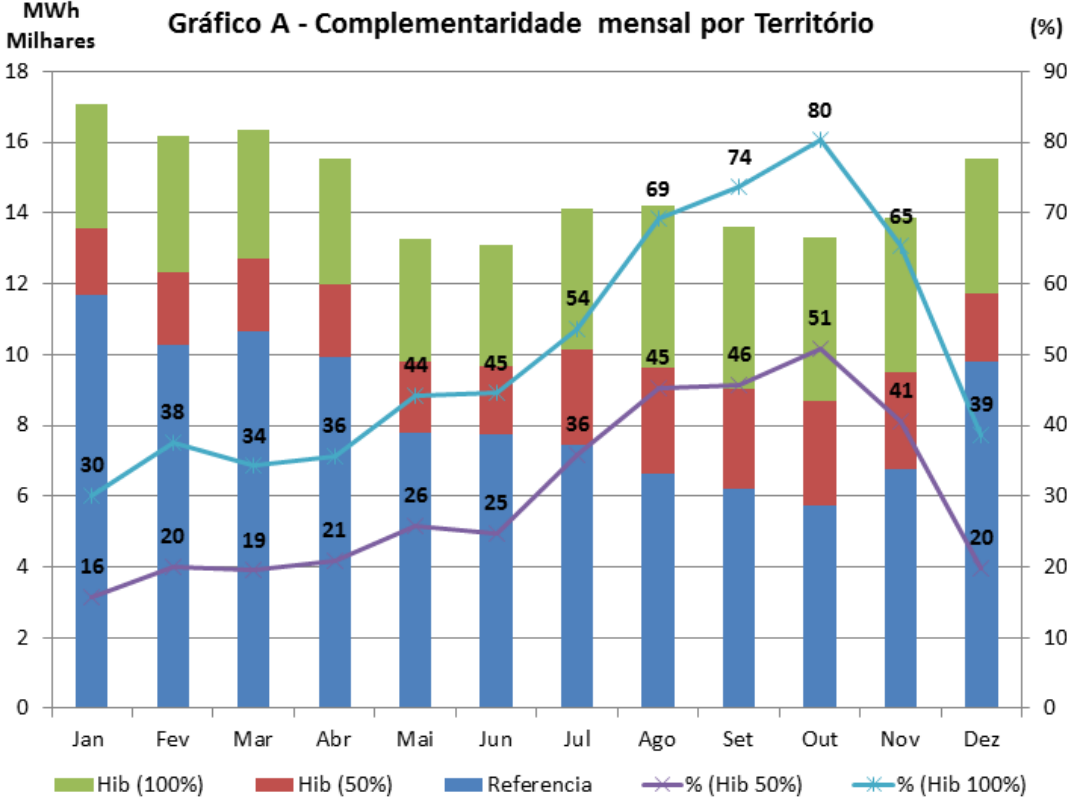
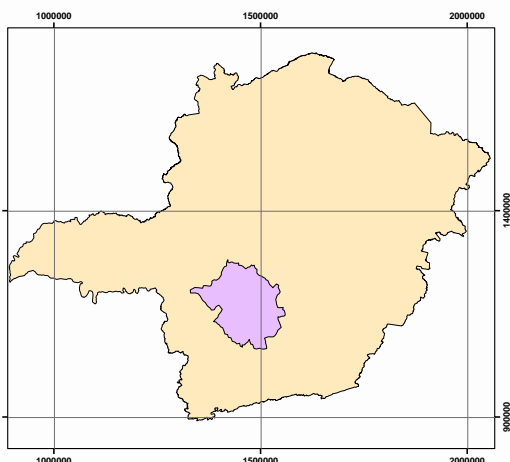


Gráfico B - Participações na potência total gerada

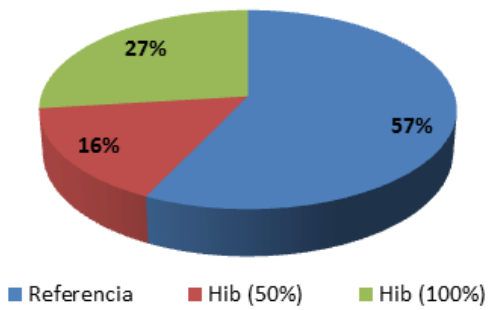
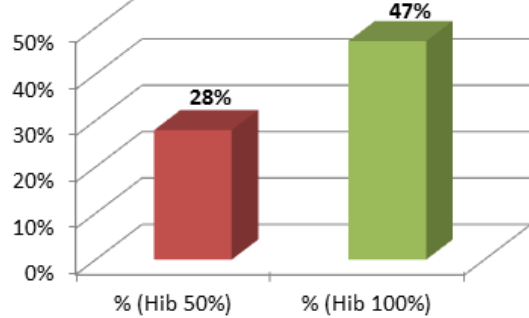
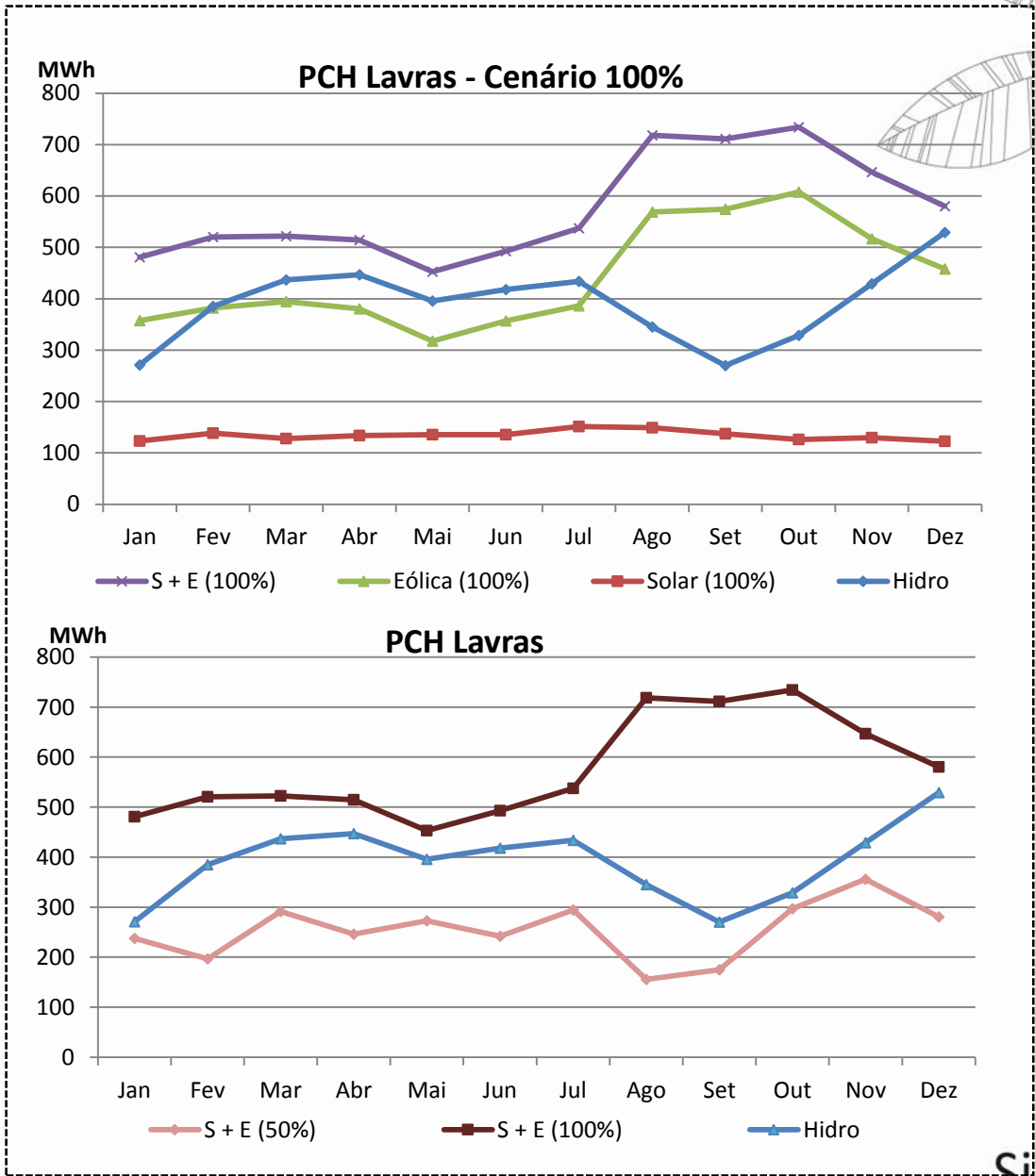
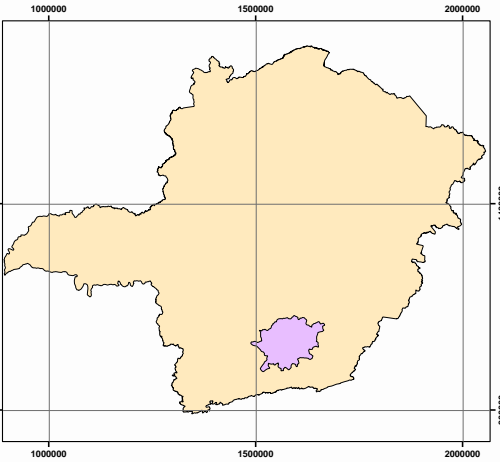


Gráfico C - Comparação com a energia hidráulica



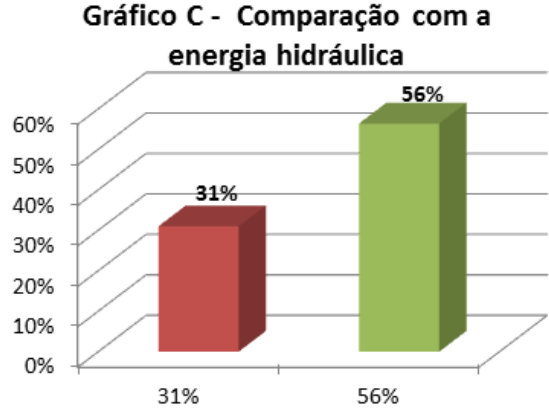
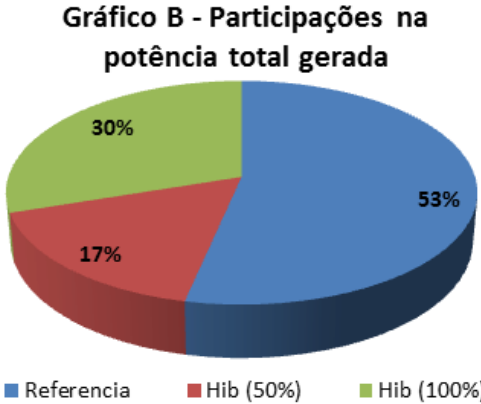
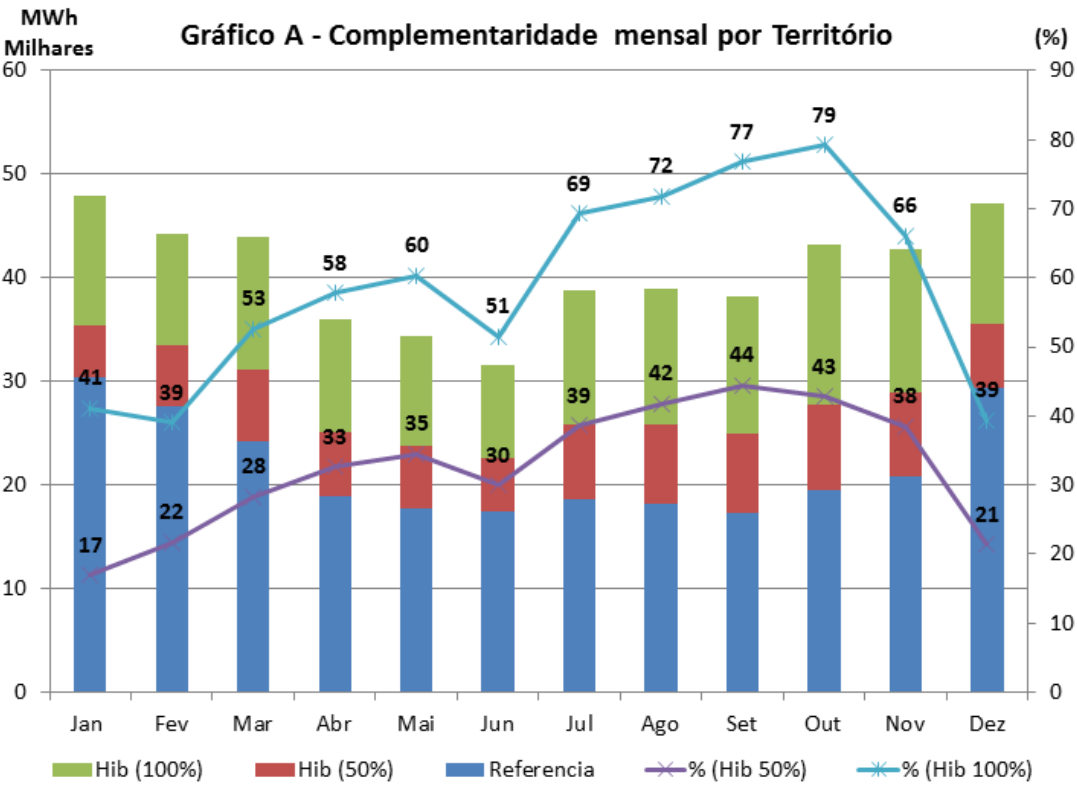
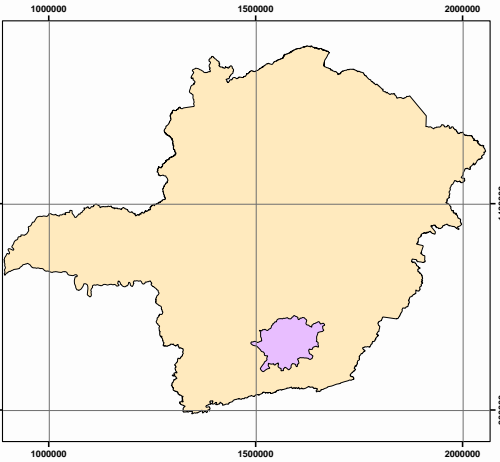
RESULTADOS

REGIÃO VERTENTES:
01 usina (1.67%) com complementaridade



RESULTADOS

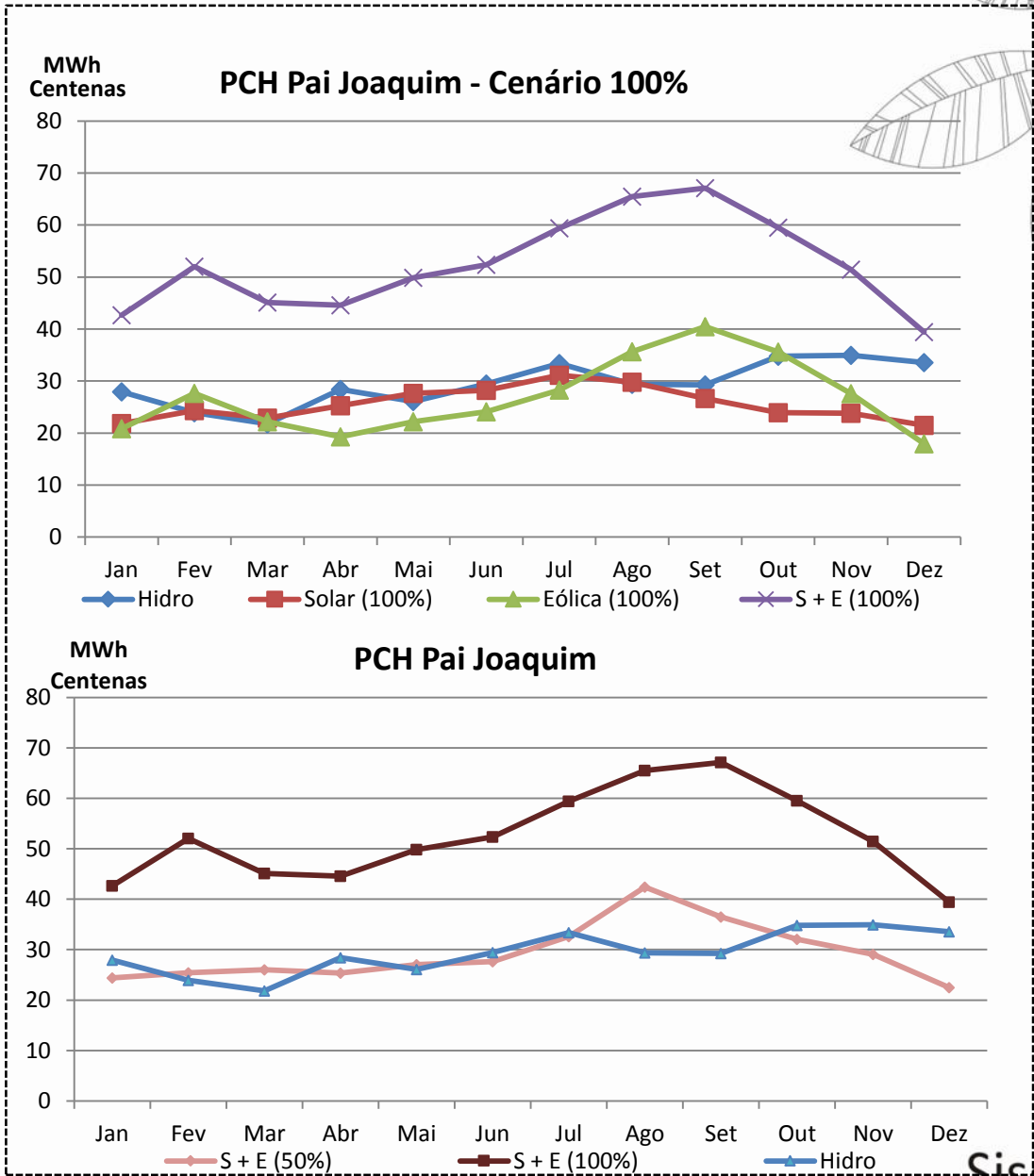
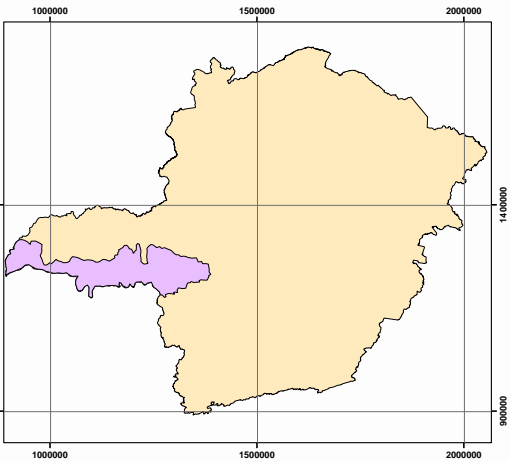
REGIÃO VERTENTES:
01 usina (1.67%) com complementaridade



RESULTADOS

REGIÃO TRIÂNGULO SUL:

01 usina (1.67%) com complementariedade



RESULTADOS

REGIÃO TRIÂNGULO SUL:

01 usina (1.67%) com complementariedade

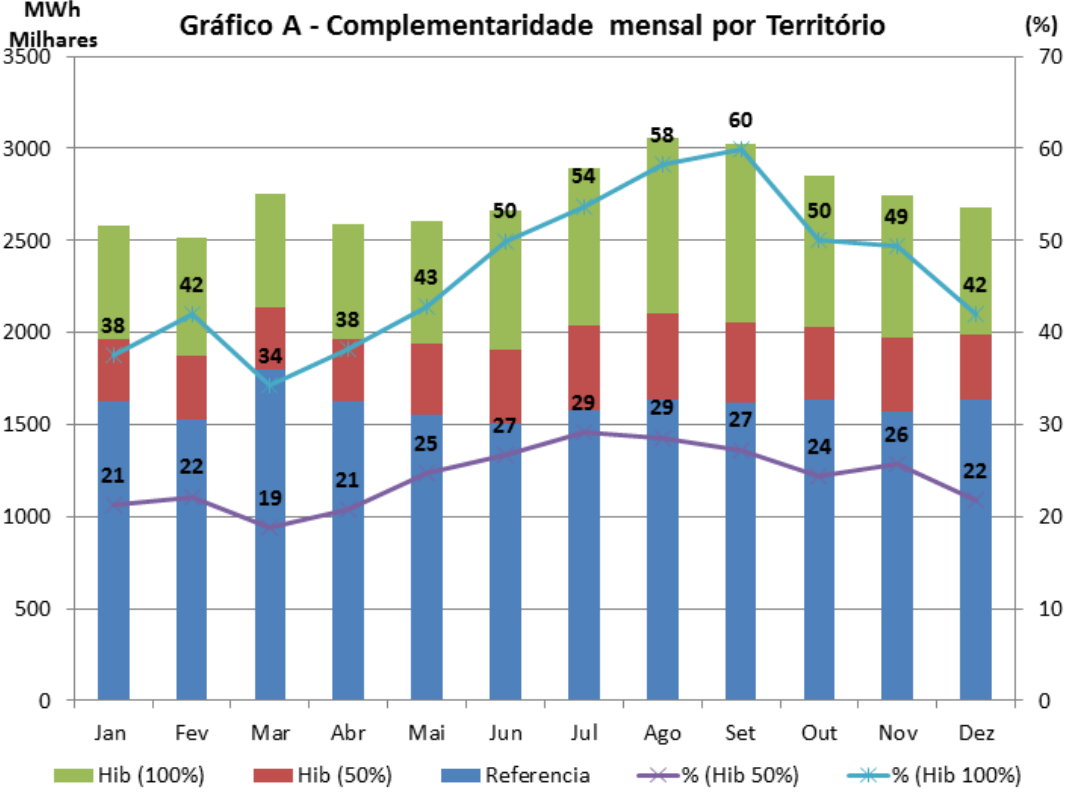
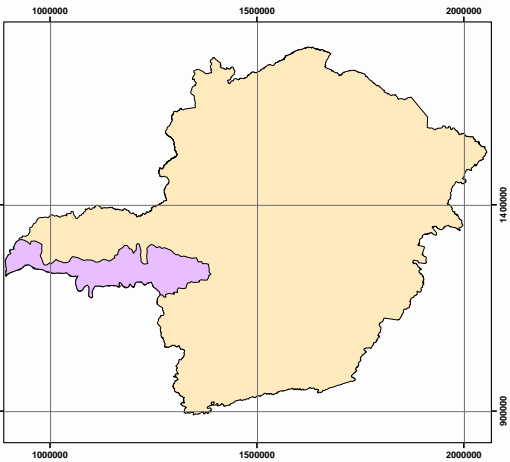


Gráfico B - Participações na potência total gerada

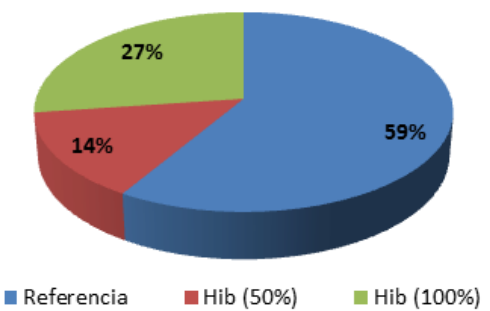
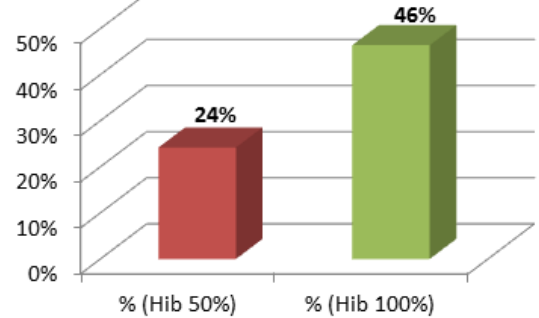


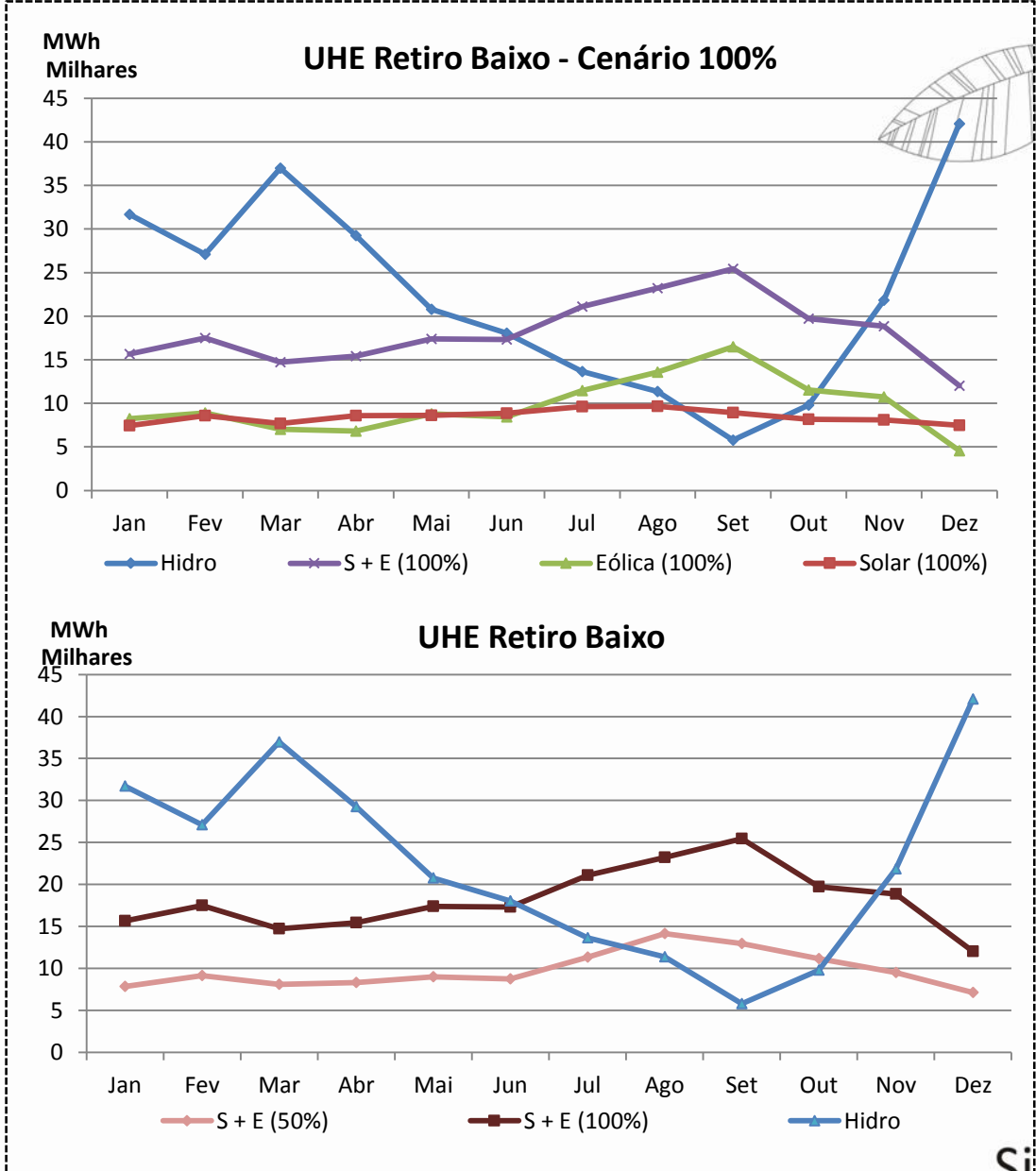
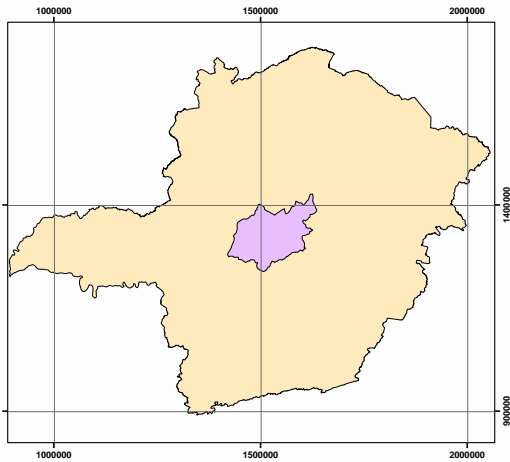
Gráfico C - Comparação com a energia hidráulica



RESULTADOS

REGIÃO CENTRAL:

01 usina (1.67%) com complementariedade



RESULTADOS

REGIÃO CENTRAL:

01 usina (1.67%) com complementariedade

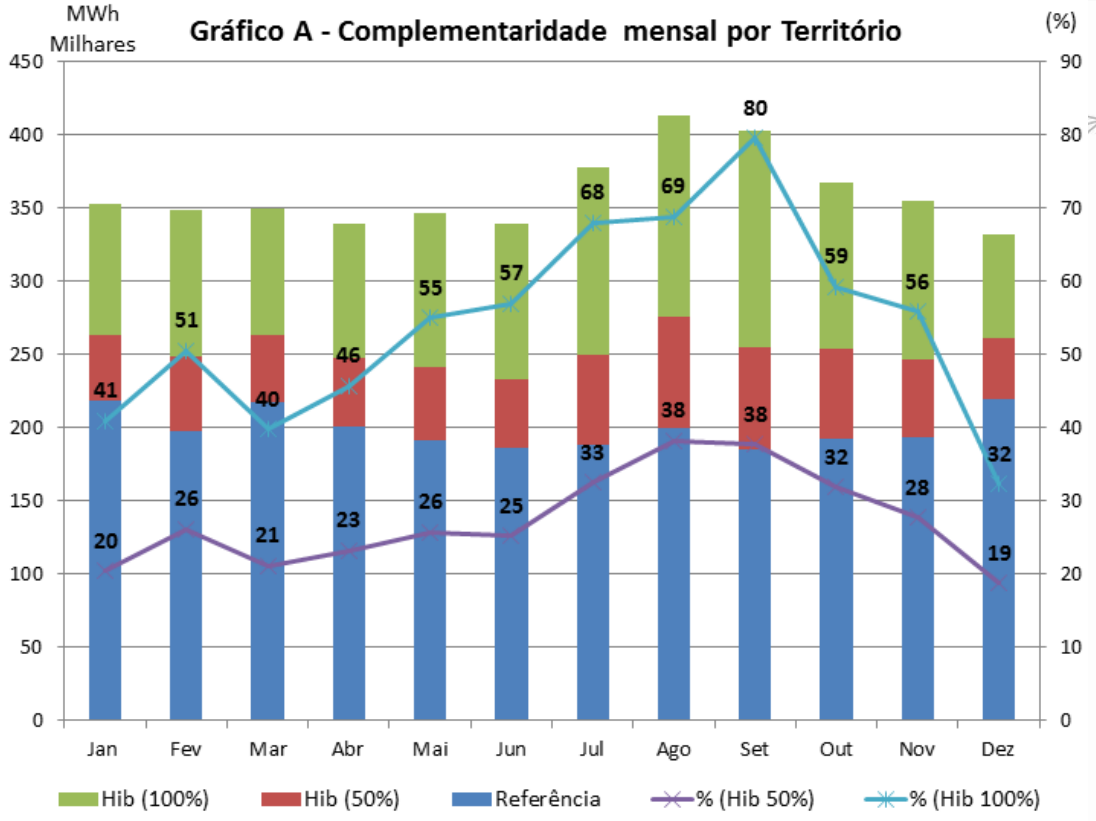
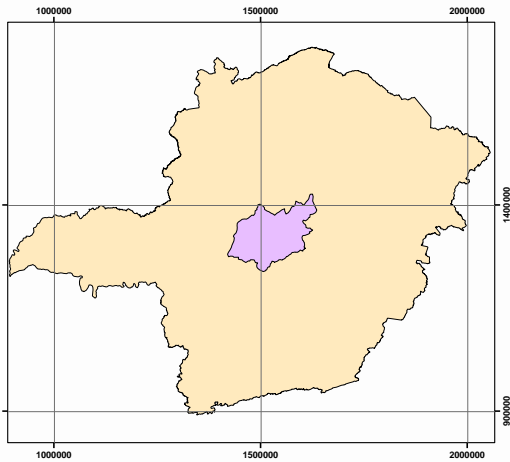


Gráfico B - Participações na potência total gerada

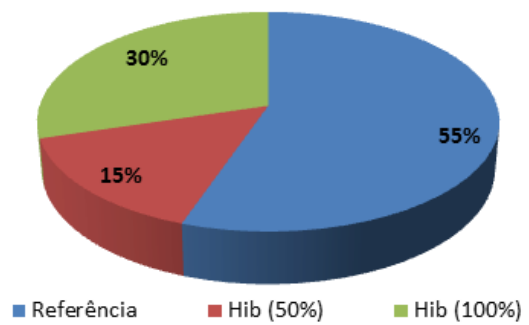
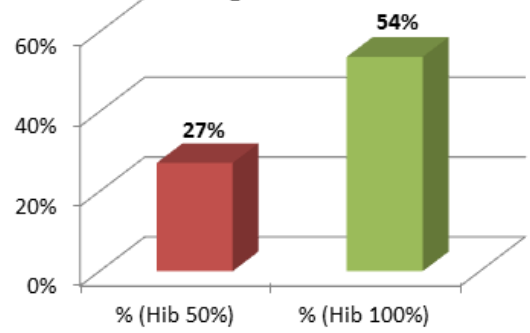


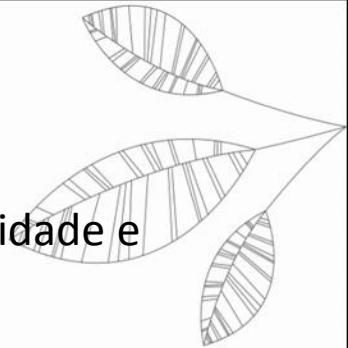
Gráfico C - Comparação com a energia hidráulica



Sisema

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

- ✓ Os resultados mostram ganhos significativos em termos de complementaridade e repotencialização de usinas existentes;
- ✓ Alto potencial para a geração renovável em Minas Gerais;
- ✓ Melhores resultados em termos de complementaridade: PCHs;
- ✓ Baixa variação anual da parcela de geração solar;
- ✓ Relatório completo: Publicação prevista → Maio/2016 (Considerações econômicas sobre as fontes, análise do Fator de Capacidade das usinas, detalhamento dos dimensionamentos, etc...)
- ✓ Artigos publicados: Abordagem adicional → Potencial mineiro de biomassa em regiões com potencial de complementaridade.





Sistema

Sistema Estadual de Meio Ambiente
e Recursos Hídricos

Obrigado!

Wilson Pereira Barbosa Filho

wilson.filho@meioambiente.mg.gov.br

Lívia Maria Leite da Silva

livia.leite@meioambiente.mg.gov.br

Wemerson Rocha Ferreira

wemerson.rocha@meioambiente.mg.gov.br