ESTUDOS DE INVENTÁRIO DE USINAS HIDRELÉTRICAS REVERSÍVEIS (UHR)

METODOLOGIA E RESULTADOS PRELIMINARES PARA O ESTADO DO RIO DE JANEIRO

epe
Empresa de Pesquisa Energética

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

PÁTRIA AMADA BRASIL
GOVERNO FEDERAL

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso).

ESTUDOS DE INVENTÁRIO DE USINAS HIDRELÉTRICAS REVERSÍVEIS (UHR)

METODOLOGIA E RESULTADOS PRELIMINARES PARA O ESTADO DO RIO DE JANEIRO

GOVERNO FEDERAL
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
MME/SPE

Ministério de Minas e Energia
Ministro
Bento Costa Lima Leite de Albuquerque Junior

Secretária Executiva
Marisete Fátima Dadald Pereira

Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético
Reive Barros dos Santos

Secretário de Energia Elétrica
Ricardo de Abreu Sampaio Cyrino

Secretário de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
Márcio Félix Carvalho Bezerra

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral
Alexandre Vidigal de Oliveira

Empresa de Pesquisa Energética

Empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, a EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

Presidente
Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais
Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

Diretor de Estudos de Energia Elétrica
Amilcar Gonçalves Guerreiro

Diretor de Estudos de Petróleo, Gás e Biocombustível
José Mauro Ferreira Coelho

Diretor de Gestão Corporativa
Álvaro Henrique Matias Pereira

URL: http://www.epe.gov.br

Sede
Esplanada dos Ministérios Bloco "U" - Ministério de Minas e Energia - Sala 744 - 7º andar
70065-900 - Brasília – DF

Escritório Central
Av. Rio Branco, 01 – 11º Andar
20090-003 - Rio de Janeiro – RJ

Coordenação Geral
Amilcar Gonçalves Guerreiro

Coordenação Executiva
Bernardo Folly de Aguiar

Equipe Técnica
Superintendência de Projetos de Geração - SEG
André Makishi
Felipe Moreira Gonçalves
Maria Regina Toledo Capellão

Superintendência de Meio Ambiente - SMA
Ana Dantas Mendez de Mattos
Guilherme de Paula Salgado
Hermani de Moraes Vieira
Gustavo Fernando Schmidt

Nº. EPE-DEE-NT-006/2019-r0
Data: 13 de fevereiro de 2019

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso).

IDENTIFICAÇÃO DO DOCUMENTO E REVISÕES

Área de Estudo **EXPANSÃO DA GERAÇÃO**		
Estudo **ESTUDOS DE INVENTÁRIO DE USINAS HIDRELÉTRICAS REVERSÍVEIS (UHR)**		
Macro-atividade **METODOLOGIA E RESULTADOS PRELIMINARES PARA O ESTADO DO RIO DE JANEIRO**		
Ref. Interna (se aplicável)		
Revisões	*Data de emissão*	*Descrição sucinta*
r0	13/2/2019	Emissão original

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso).

APRESENTAÇÃO

Tendo em vista que as Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHR) constituem uma tecnologia que permite oferta de potência com a flexibilidade necessária para o atendimento à variação da carga no curto prazo, além de oferecer benefícios sistêmicos relacionados à economia, segurança e qualidade no fornecimento de energia elétrica (serviços ancilares), a sua participação na cesta de ofertas da matriz elétrica brasileira poderá constituir, num futuro próximo, uma opção para garantir uma expansão do sistema elétrico de forma econômica e sustentável.

Assim, considerando que no Brasil não existem estudos atualizados e com precisão adequada que envolvam a identificação dos locais mais propícios para implantação de UHR com a caracterização básica de funcionamento desses aproveitamentos, incluindo custo de implantação, faz-se necessário e fundamental a realização de Estudos de Inventário de UHR, a luz do estado da arte tecnológico, mercadológico e socioambiental. Neste sentido, cabe observar que o mapeamento e levantamento do potencial de implantação de UHR já foi objeto de estudos em diversos países, como nos Estados Unidos (IWR 1981), Canadá (Knight Piésold Ltd. 2010), Noruega (CEDREN), Austrália (ARENA 2016) e Europa (JRC 2012 e 2018).

Os Estudos de Inventário de UHR constituem a etapa inicial de uma sequência de estudos necessários que, além de subsidiar estudos de planejamento da expansão do sistema elétrico, poderão vir a auxiliar a definição dos aspectos regulatórios específicos, atualmente inexistentes, para inserção de usinas reversíveis no Sistema Interligado Nacional - SIN.

Apesar da ausência dessa regulamentação, entende-se que o ciclo de implantação de tais empreendimentos deve seguir uma sequência de estudos que possibilite o melhor aproveitamento do potencial local, a sincronização com o planejamento do setor elétrico e a definição da melhor solução técnica, econômica e socioambiental, considerando a intrínseca multidisciplinaridade e complexidade associadas ao projeto de empreendimentos hidrelétricos.

Nesse contexto, consoante com as atribuições da EPE estabelecidas no Art. 3° da Lei 10.847/2004, foi programada pela SEG/DEE/EPE a elaboração de Estudos de Inventário de UHR, a princípio, de cada estado brasileiro, com o objetivo de mapear os locais favoráveis para a implantação de UHR, selecionar aqueles mais promissores e caracterizá-los quanto à energia armazenada e às obras/equipamentos associados à potência instalada. As obras e equipamentos dessas UHR serão pré-dimensionados e orçados considerando os aspectos topográficos, socioambientais, geológicos, hidrológicos, tecnológicos, legais e econômicos, com vistas à hierarquização das UHR para o desenvolvimento de estudos posteriores com maior grau de detalhamento.

Os Estudos de Inventário de UHR abrangerão, em um primeiro momento, o estado do Rio de Janeiro, priorizando as áreas com aspectos socioambientais favoráveis, e, na sequência, o estado de São Paulo, para posterior desenvolvimento nos demais estados do Brasil, cabendo ressaltar que os estudos programados consideram a topologia específica de UHR de circuito semi-aberto, que apresenta um dos reservatórios formado pelo barramento de um curso d'água e o outro totalmente fechado/isolado. Esta topologia constitui uma entre outras possíveis, a exemplo das UHR de circuito fechado, cuja ferramenta para mapeamento das áreas promissoras para sua implantação está em desenvolvimento pela SEG e será objeto de Nota Técnica futura.

O objetivo desta Nota Técnica é apresentar as atividades prévias e as previstas para o desenvolvimento dos Estudos de Inventário de UHR, conforme concebido pela EPE, bem como os resultados preliminares dos estudos realizados para o estado do Rio de Janeiro, com a ressalva de que o potencial e os locais mais favoráveis à implantação de UHR só poderão ser estabelecidos de forma definitiva após a conclusão dos Estudos de Inventário.

Os Estudos de Inventário de UHR programados pela EPE, envolvem duas fases: os Estudos Preliminares (Fase 1), realizados integralmente em escritório com dados secundários, e os Estudos Finais (Fase 2), que envolve estudos mais detalhados dos aproveitamentos pré-selecionados na Fase 1, considerando informações obtidas de levantamento e serviços de campo específicos.

A parte inicial dos Estudos Preliminares (Fase 1.1) do estado do Rio de Janeiro, cuja descrição é objeto desta Nota Técnica, foram realizados pela equipe técnica da SEG/DEE/EPE, com apoio da SMA/DEA/EPE no que tange a avaliação socioambiental preliminar, e envolveu: a definição dos critérios e das metodologias, a elaboração de ferramenta em ambiente ArcGIS (GeoUHR) para o mapeamento dos locais promissores nos estados objeto dos Estudos de Inventário, o pré-dimensionamento das UHR, para obtenção das características básicas de funcionamento das usinas, e a seleção dos aproveitamentos mais promissores do estado, que serão objeto dos estudos complementares (Fase 1.2).

Para complementação dos Estudos Preliminares (Fase 1.2), é prevista a contratação de empresa de consultoria especializada para a reavaliação e consolidação dos critérios de projeto das UHR e elaboração de estudos básicos (geológico-geotécnicos, hidrometeorológicos e socioambientais), de arranjo, de avaliação de impactos, de custos de implantação nos moldes do OPE – Orçamento Padrão Eletrobrás e de operação, visando a seleção das UHR a serem detalhadas na fase de Estudos Finais. Esta fase contemplará ainda estudos de conexão das UHR, a serem desenvolvidos pela EPE, incluindo avaliação de custo.

Nos Estudos Finais (Fase 2), também objeto de contratação, as UHR selecionadas na segunda parte dos Estudos Preliminares serão detalhadas considerando os resultados dos

levantamentos e serviços de campo programados em nível de estudos de inventário e envolverão estudos de alternativas de arranjo, avaliação de interferências socioambientais, avaliação de quantidades e custos, incluindo conexão, estudo da construção, entre outros, com vistas a uma melhor caracterização dos aproveitamentos sob o ponto de vista técnico, econômico e socioambiental.

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso).

Sumário

APRESENTAÇÃO 7
1. INTRODUÇÃO 15
2. ESTUDOS EXISTENTES 17
3. METODOLOGIA 19
3.1. Os Estudos de Inventário de UHR 19
3.2. Estudos Desenvolvidos pela EPE 22
3.2.1. Mapeamento de locais promissores e priorização 22
3.2.2. Critérios de projeto 24
4. RESULTADOS PRELIMINARES PARA O ESTADO DO RIO DE JANEIRO 34
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 45
6. REFERÊNCIAS 47
ANEXOS – Desenhos 50

Lista de Desenhos

RRJ-00-000.0001-DE-R0 –UHR ID1110RJ - Arranjo Geral e Curvas Características

RRJ-00-000.0002-DE-R0 –UHR ID1198RJ - Arranjo Geral e Curvas Características

RRJ-00-000.0003-DE-R0 – UHR ID1258RJ - Arranjo Geral e Curvas Características

RRJ-00-000.0004-DE-R0 – UHR ID1303RJ - Arranjo Geral e Curvas Características

RRJ-00-000.0005-DE-R0 – UHR ID1336RJ - Arranjo Geral e Curvas Características

RRJ-00-000.0006-DE-R0 – UHR ID1362RJ - Arranjo Geral e Curvas Características

RRJ-00-000.0007-DE-R0 – UHR ID1445RJ - Arranjo Geral e Curvas Características

RRJ-00-000.0008-DE-R0 – UHR ID1448RJ - Arranjo Geral e Curvas Características

RRJ-00-000.0009-DE-R0 – UHR ID1506RJ - Arranjo Geral e Curvas Características

RRJ-00-000.0010-DE-R0 –UHR ID1572RJ - Arranjo Geral e Curvas Características

RRJ-00-000.0011-DE-R0 – UHR ID1615RJ - Arranjo Geral e Curvas Características

RRJ-00-000.0012-DE-R0 – UHR ID1667R - Arranjo Geral e Curvas Características J

RRJ-00-000.0013-DE-R0 – UHR ID1846RJ - Arranjo Geral e Curvas Características

RRJ-00-000.0014-DE-R0 – UHR ID2670RJ - Arranjo Geral e Curvas Características

RRJ-00-000.0015-DE-R0 – UHR ID2936RJ - Arranjo Geral e Curvas Características

RRJ-00-000.0016-DE-R0 – USINAS REVERSÍVEIS - Seções Típicas

Lista de Figuras

Figura 1 – Distribuição da capacidade instalada total das UHR no mundo em 2017.. 15

Figura 2 - Estudos Prévios e Estudos de Inventário de UHR – Atividades Previstas... 21

Figura 3 - Locais propícios a implantação de UHR identificados pelo GeoUHR para o RJ, classificados por desnível 37

Figura 4 - Locais propícios a implantação de UHR identificados pelo GeoUHR para o RJ, fora de áreas protegidas, classificados por desnível 38

Figura 5 - Locais propícios a implantação de UHR identificados pelo GeoUHR para o RJ, fora de áreas protegidas, classificados por relação L/H 39

Figura 6 - UHR selecionadas no RJ para a análise socioambiental preliminar 40

Figura 7 - UHR selecionadas no RJ para o pré-dimensionamento 41

Lista de Quadros

Quadro 1 - Informações utilizadas para o mapeamento das UHR no Rio de Janeiro . 23

Quadro 2 - Resultado geral do pré-dimensionamento das UHR selecionadas para o Rio de Janeiro..... 36

Quadro 3 - Características básicas das UHR pré-dimensionadas (1/3) 42

Quadro 4 - Características básicas das UHR pré-dimensionadas (2/3) 43

Quadro 5 - Características básicas das UHR pré-dimensionadas (3/3) 44

Lista de Siglas

ANA	Agência Nacional de Águas
ARENA	Australian Renewable Energy Agency
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEDREN	Centre for Environmental Design of Renewable Energy
CESP	Companhia Energética de São Paulo
DEA	Diretoria de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais
DEE	Diretoria de Estudos de Energia Elétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPRI	Electric Power Research Institute
FERC	Federal Energy Regulatory Commission
Funai	Fundação Nacional do Índio
Ibama	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEC	International Electrotechnical Commission
IHA	International Hydropower Association
Incra	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
IWR	Institute for Water Resources
JRC	Joint Research Centre
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
SEG	Superintendência de Projetos de Geração (EPE)
SMA	Superintendência de Meio Ambiente (EPE)
SIN	Sistema Interligado Nacional
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TI	Terra Indígena
UC	Unidade de Conservação
UHR	Usina Hidrelétrica Reversível
USBR	United States Bureau of Reclamation

1. INTRODUÇÃO

Desde as primeiras centrais reversíveis implantadas no início do século XX até os dias atuais, as Usinas Hidrelétricas Reversíveis - UHR têm desempenhado diferentes papéis nos mercados mundiais de energia elétrica, sendo destacada sua relação com o desenvolvimento das usinas nucleares entre as décadas de 1960 e 1980 e o suporte à penetração das energias renováveis não controláveis, como as usinas eólicas e fotovoltaicas, a partir de 2000.

Conforme relatório "*The world's water battery: Pumped hydropower storage and the clean Energy transition*" publicado pela IHA em 2018, a capacidade instalada das usinas hidrelétricas reversíveis no mundo totalizou ao final de 2017 cerca de 161 GW, sendo que a Europa, China, Japão e Estados Unidos detêm juntos mais de 85% deste valor, como pode ser observado na **Figura 1**.

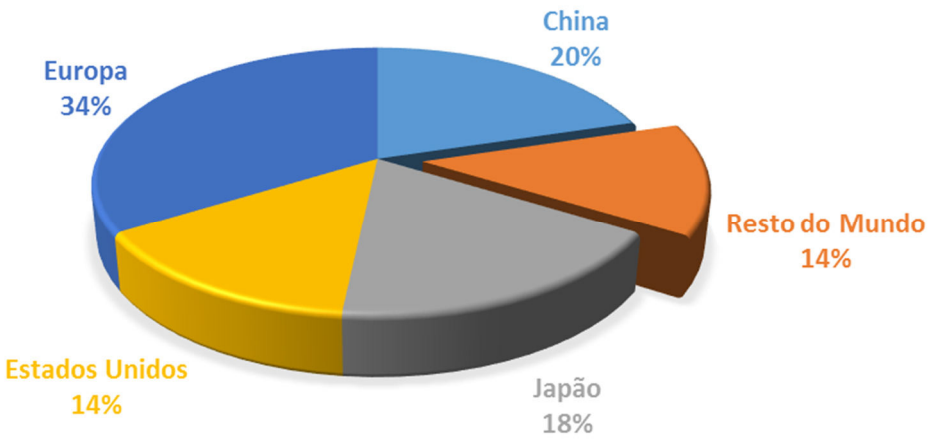


Figura 1 – Distribuição da capacidade instalada total das UHR no mundo em 2017
Fonte: Elaboração EPE a partir dos dados de IHA (2018).

No Brasil, a predominância das usinas hidrelétricas na matriz elétrica possibilitou a postergação da implantação de UHR. No entanto, a crescente participação das fontes não controláveis e a não expansão de hidrelétricas com reservatórios de regularização pode diminuir a capacidade do sistema de suprir os picos de demanda.

O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2027 identificou que a necessidade de oferta para complementação de potência aparece a partir de 2022 e se intensifica a partir de 2023, totalizando cerca de 13.200 MW em 2027, considerando tanto as tecnologias de armazenamento quanto as termelétricas para essa finalidade. Desse total, aproximadamente 2.500 MW foram indicados na região Nordeste, a partir de 2025, 3.700 MW na região Sul a partir de 2022, e 7.000 MW na região Sudeste/Centro-Oeste, a partir de 2023, com a ressalva de que uma eventual implantação futura de preços horários de

energia, que espelhem os sinais corretos de valorização nos horários de carga máxima, pode conduzir a reduções das necessidades até agora visualizadas de alternativas de ponta, principalmente na segunda metade do horizonte decenal.

Em adição, o Plano aponta a necessidade de buscar, tecnologias voltadas para o atendimento à demanda máxima e para prover a flexibilidade necessária para o atendimento à variação instantânea da carga no curto prazo. Para tanto, a **implantação de UHR constitui uma das alternativas para esse atendimento.**

Nas décadas de 1970 e 1980 foram realizados estudos de pré-inventário e inventário de UHR no Brasil, identificando grande potencial, inclusive na região Sudeste. No entanto, dados os desenvolvimentos tecnológicos, mercadológicos, socioambientais e regulatórios das últimas décadas, torna-se imprescindível a reavaliação deste potencial antes da elaboração de estudos mais detalhados como os Estudos de Viabilidade e o Projeto Básico.

Nesse contexto, a SEG/DEE/EPE programou a elaboração de Estudos de Inventário de UHR de circuito semi-aberto, conforme metodologia descrita nesta Nota Técnica (item 3.1). Esses estudos têm o objetivo de mapear os locais favoráveis para implantação desse tipo de UHR e identificar aqueles mais promissores, para o pré-dimensionamento dos reservatórios e a energia armazenada de cada aproveitamento e das obras associadas a potência instalada/tempo de geração, considerando aspectos topográficos, socioambientais, geológicos, hidrológicos, tecnológicos e econômicos, com vistas à hierarquização dos aproveitamentos para o desenvolvimento de estudos posteriores com maior grau de detalhamento. Os Estudos de Inventário de UHR abrangerão, em um primeiro momento, os estados do Rio de Janeiro e São Paulo, para posterior desenvolvimento em outros estados.

Esta Nota Técnica apresenta as principais considerações utilizadas para o desenvolvimento dos estudos de inventário e os resultados relativos à Fase 1.1 do Inventário de UHR do estado do Rio de Janeiro, elaborados pelo corpo técnico da SEG/DEE/EPE, com o apoio da SMA/DEA/EPE no que tange a análise preliminar socioambiental dos aproveitamentos estudados, e ainda descreve a estrutura dos Estudos de Inventário conforme concebido pela EPE.

Este documento apresenta a seguinte organização:

- no item 2 é apresentada uma descrição sucinta dos estudos de pré-inventário de Usinas Reversíveis realizados no Brasil, com mais detalhe para o estado do Rio de Janeiro;

- no item 3 é descrita a proposta de metodologia para elaboração dos estudos de Inventário e a programação prevista das atividades envolvidas;
- no item 4 são apresentados os resultados preliminares para o estado do Rio de Janeiro, com a identificação e características dos sítios selecionados;
- no item 5 é realizada uma discussão dos resultados preliminares, sendo identificados os aspectos que necessitam maior atenção e detalhamento para a conclusão dos estudos de Inventário de UHR;
- no item 6 são indicadas as principais referências utilizadas no estudo; e
- em Anexo, são apresentados os desenhos das UHR selecionadas nesta fase de estudo, com o arranjo geral das obras, as curvas características dos reservatórios de cada UHR e as seções típicas das estruturas principais.

2. ESTUDOS EXISTENTES

Entre o final da década de 1970 e início da década de 1980 a CESP, com o apoio do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), desenvolveu e publicou estudos de pré-inventário de UHR para o estado de São Paulo, abrangendo as serras da Mantiqueira e Geral (Relatório n° 13.197 – Inventário de usinas hidrelétricas reversíveis junto às serras Geral e da Mantiqueira no estado de São Paulo – Pré inventário - CESP/IPT 1979).

Este levantamento considerou cartas topográficas com escala de 1:50.000 para busca de locais com desníveis superiores a 300m, para implantação de UHR com tempo de geração de 14 horas.

No final de década de 1980, a ELETROBRAS com o apoio da empresa CIARLINI CONSULTORIA E PROJETOS LTDA, concluiu estudos de levantamento do potencial de usinas hidrelétricas reversíveis para as regiões Sudeste, Sul e Nordeste, que foram consolidados nos seguintes documentos:

- Região Sudeste: relatório técnico "Usinas hidrelétricas reversíveis: levantamento do potencial – Região Sudeste - Espírito Santo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, Eletrobrás/CIARLINI 1987".

- Região Sul: relatório técnico "Usinas hidrelétricas reversíveis: levantamento do potencial – Região Sul – Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina, Eletrobrás/CIARLINI 1988".

- Região Nordeste: relatório técnico "Usinas Hidrelétricas Reversíveis – Levantamento do Potencial – Região Nordeste – Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe, Eletrobrás/CIARLINI 1988".

No estudo da Região Sudeste, o pré-inventário de cada estado se limitou a locais propícios para implantação de UHR distantes de no máximo 200km do centro de carga, representados pelas capitais São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Vitória, e **não considerou os aspectos socioambientais, geológico-geotécnicos e hidrometeorológicos**.

Cabe destacar que os estudos nessa região, se limitaram às áreas com disponibilidade de cartas topográficas com escala de 1:50.000 e às UHR com desnível mínimo de 300m. Foram prospectadas usinas com ciclo semanal de operação, com 14 horas de geração e 20 horas de bombeamento e relação L/H (relação entre distância entre reservatórios e desnível associado) inferior a 10.

Os projetos das UHR consideraram ainda túneis revestidos de concreto, com velocidade máxima do escoamento de 6 m/s e diâmetro máximo de 12m, limitando a potência por módulo (casa de força/túnel) a 2.000 MW, a altura máxima da barragem em 100m e o deplecionamento máximo dos níveis d'água em 15% da queda bruta média.

No Rio de Janeiro, esse estudo identificou 149 projetos, totalizando uma capacidade instalada de 341.122 MW, dos quais foram selecionados os 30 projetos com menor custo, representando uma capacidade total 142.594 MW.

No entanto, cabe destacar que estes resultados não podem ser considerados seja para o planejamento do setor elétrico, para realização de estudos mais detalhados ou para decisões de investimento, uma vez que não consideram fatores determinantes como os aspectos socioambientais, hidrometeorológicos, geológico-geotécnicos locais, e nem estão atualizados de acordo com os desenvolvimentos tecnológicos, mercadológicos, socioambientais e regulatórios das últimas três décadas. Cabe observar que, à luz da legislação vigente, a maioria dos 30 projetos selecionados no Rio de Janeiro está localizada em áreas protegidas legalmente, conforme apontado no item 4 desta Nota Técnica.

Desta forma, torna-se imprescindível a reavaliação deste potencial com a identificação dos aproveitamentos no território brasileiro[1], por meio de Estudos de Inventário de UHR utilizando metodologia e critérios que considerem o atual estado da arte da tecnologia, dos custos, da avaliação de benefícios, das necessidades do SIN, da legislação ambiental

[1] Priorizando as áreas com aspectos socioambientais favoráveis ao licenciamento e implantação do aproveitamento

e os diversos aspectos associados a empreendimentos hidrelétricos no Brasil, possibilitando uma seleção mais adequada de projetos a serem detalhados em estudos posteriores.

3. METODOLOGIA

3.1. Os Estudos de Inventário de UHR

Os Estudos de Inventário de UHR, conforme concebidos pela EPE, visam o mapeamento dos locais promissores para implantação de UHR em um determinado estado brasileiro ou região pré-estabelecida, e o detalhamento das melhores opções de UHR, envolvendo a avaliação da energia armazenada e o pré-dimensionamento das obras e equipamentos associados à Potência Instalada, determinada conforme tempo de geração, e avaliação de custos envolvidos. Esses estudos abrangerão, num primeiro momento, o estado do Rio de Janeiro (Projeto Piloto) e, na sequência o estado de São Paulo. Esses estudos serão desenvolvidos considerando os aspectos topográficos, geológico-geotécnicos, hidrológicos, socioambientais e de custos, e ainda as necessidades sistêmicas e de interesse estratégico para o planejamento do setor elétrico brasileiro.

Cabe destacar que o tipo de UHR ora inventariado é de circuito semi-aberto e envolve um reservatório superior posicionado em uma região com topografia suave e área mínima de 0,2 km², e um reservatório inferior formado pelo barramento do curso d'água, localizado dentro de uma faixa de 5 km da extremidade da área superior em uma posição que resulte no maior desnível entre os reservatórios e melhor relação L/H (relação entre distância entre reservatórios e desnível associado), cabendo ressaltar que outras topologias de UHR serão objeto de estudos futuros.

Esses Estudos de Inventário serão desenvolvidos em duas fases: os Estudos Preliminares (Fase 1), realizados integralmente em escritório com dados secundários, e os Estudos Finais (Fase 2), que envolve estudos complementares mais detalhados dos aproveitamentos pré-selecionados na Fase 1, considerando informações obtidas de levantamento e serviços de campo específicos.

Previamente ao início dos Estudos de Inventário propriamente dito, em uma etapa intitulada Fase 0, foram estabelecidas as premissas, a metodologia dos estudos, os critérios de projeto e criada a ferramenta em ambiente ArcGIS, denominada GeoUHR, para operacionalizar o mapeamento dos locais promissores nos estados para os Estudos de Inventário, determinando para cada sítio favorável o desnível entre as áreas dos reservatórios superior e inferior e a relação L/H, entre outras informações.

A parte inicial dos Estudos Preliminares (Fase 1.1) compreendendo o mapeamento dos locais da área de abrangência do estudo que apresentem características topográficas favoráveis à implantação de UHR, e a identificação e seleção daqueles com melhores desníveis e relações L/H (fator indicativo da atratividade econômica do projeto), é desenvolvida utilizando a ferramenta GeoUHR. Além disso, foram excluídas as áreas legalmente protegidas, como Unidades de Conservação, Terras Indígenas e Territórios Quilombolas.

Os locais selecionados são submetidos a uma análise socioambiental preliminar, na qual se busca verificar, por meio de inspeção visual em imagens de satélite, as interferências da implantação de projetos de UHR. Considerando áreas urbanas, núcleos populacionais, edificações, atividades agrícolas, estradas e vias locais e remanescente de vegetação, alguns locais foram excluídos do grupo de aproveitamentos a serem pré-dimensionados.

O pré-dimensionamento das UHR é realizado de forma a obter as características básicas de funcionamento das usinas para identificação dos aproveitamentos mais promissores do estado, que serão objeto dos estudos complementares da Fase 1.2.

Para complementação dos Estudos Preliminares (Fase 1.2), é prevista a contratação de empresa de consultoria especializada para reavaliação e consolidação dos critérios de projeto das UHR, e para a elaboração de estudos básicos (geológico-geotécnicos, hidrometeorológicos e socioambientais), de arranjo, de avaliação de impactos, de custos de implantação, nos moldes do OPE – Orçamento Padrão Eletrobrás, e de operação, visando a hierarquização das UHR e seleção das usinas a serem detalhadas na fase de Estudos Finais. A Fase 1.2 contemplará ainda estudos de conexão das UHR, incluindo avaliação de custo, a serem desenvolvidos pela EPE.

Na Fase 2 - Estudos Finais, também objeto de contratação, as UHR selecionadas na segunda parte dos Estudos Preliminares serão detalhadas considerando os resultados dos levantamentos e serviços de campo programados em nível de Estudos de Inventário e envolverão ajustes de projeto envolvendo estudos de alternativas de arranjo, avaliação de interferências socioambientais, avaliação de quantidades e custos, incluindo conexão, estudo da construção, entre outros, com vistas a uma melhor caracterização dos aproveitamentos sob o ponto de vista técnico, econômico e socioambiental.

As atividades previstas nos Estudos Prévios ao Inventário e nos Estudos de Inventário de UHR são apresentadas de forma simplificada na **Figura 2**.

	Atividades
0	**Fase 0 - Estudos Prévios aos Estudos de Inventário de UHR - (desenvolvido pela EPE)**
	Premissas dos Estudos de Inventário
	Desenvolvimento de ferramenta ArcGIS para mapeamento de áreas promissoras para implantação de UHR e Testes

	ESTUDOS DE INVENTÁRIO DE UHR NO ESTADO
1.	**Fase 1 - Estudos Preliminares**
1.1	**Fase 1.1 - Estudos Preliminares - Parte 1 (desenvolvido pela EPE)**
1.1.1	Critérios de Projeto e metodologia
1.1.2	Mapeamento de locais mais promissores na área de abrangencia do estudo para implantação de UHR e comparação com estudos anteriores
1.1.3	Análise socioambiental preliminar dos locais mais promissores selecionados para o RJ
1.1.4	Pré-dimensionamento das UHR nos locais identificados como promissores e obtenção das características básicas
1.1.5	Nota Técnica sobre metodologia e resultados preliminares para o RJ e Ferramenta GeoUHR
1.2	**Fase 1.2 - Estudos Preliminares - Parte 2 (a ser desenvolvido pela EPE com apoio de empresa de consultoria - previsão de contratação)**
1.2.0	Contratação
1.2.1	Estudos hidrológicos e dimensionamentos hidráulicos
1.2.2	Estudos geológico-geotécnicos
1.2.3	Arranjo final
1.2.4	Diagnóstico socioambiental e avaliação de impactos e custos socioambientais
1.2.5	Estudos de conexão para as UHR selecionadas para orçamentação das UHR (desenvolvidos pela EPE)
1.2.6	Levantamento de quantidades e custos (OPE)
1.2.7	Hierarquização das UHRs e seleção das usinas a serem detalhadas na Fase 2
1.2.8	Nota Técnica de Consolidação dos Resultados dos Estudos Preliminares
1.3	**Fase 2 - Estudos Finais (a ser desenvolvidos pela EPE com apoio de empresa de consultoria especializada - previsão de contratação)**
1.3.0	Contratação
1.3.1	Critérios básicos para a elaboração dos estudos finais
1.3.2	Planejamento dos estudos, levantamento e serviços de campo
1.3.3	Execução dos levantamentos e serviços de campo
1.3.4	Estudos básicos (cartográficos, geológico-geotécnicos, hidrometereologicos)
1.3.5	Estudos de alternativas de arranjos de UHR pré-selecionadas e de acessos
1.3.6	Detalhamento das obras e equipamentos
1.3.7	Estudos socioambientais complementares
1.3.8	Levantamento de quantidades e custos de implantação, incluindo conexão (OPE) e de operação
1.3.9	Avaliação de benefícios
1.3.10	Cronograma de implantação
1.3.11	Hierarquização das UHR
1.3.11	Nota Técnica Final dos Estudos de Inventário de UHR no estado X

Figura 2 - Estudos Prévios e Estudos de Inventário de UHR – Atividades Previstas

3.2. Estudos Desenvolvidos pela EPE

Há uma grande variedade de tipos e concepções possíveis para as UHR com diferentes aspectos de projeto, construção e operação. Outra importante questão a ser observada é o contexto socioambiental do local em que o projeto está inserido. Desta forma, deve-se destacar, conforme mencionado no item 1, que os estudos de UHR em desenvolvimento pela EPE referem-se a uma topologia específica, em que um dos reservatórios é formado pelo barramento de um curso d'água, de forma similar a uma usina hidrelétrica convencional e o outro reservatório é criado artificialmente em uma região topograficamente favorável.

3.2.1. Mapeamento de locais promissores e priorização

Visando uma busca sistemática e uniforme entre as regiões analisadas, desenvolveu-se uma ferramenta em plataforma ArcGIS denominada **GeoUHR,** que permite a incorporação de informações georreferenciadas relacionadas a topografia, hidrografia, características socioambientais, linhas de transmissão e reservatórios existentes, entre outras. As fontes principais dos dados utilizados são indicadas no **Quadro 1**.

A ferramenta desenvolvida utiliza ainda critérios e parâmetros de busca pré-estabelecidos para identificar os sítios mais interessantes a implementação de UHR, como resumidos a seguir:

- Topologia: **circuito semi-aberto**;
- São considerados somente **reservatórios novos**, tendo em vista que a utilização de reservatórios existentes requer tratamento específico relacionado ao compartilhamento da água e informações técnicas mais detalhadas que permitam identificar restrições e avaliar os efeitos da implantação da UHR. Entretanto, a ferramenta permite sinalizar os casos de locais promissores para UHR que dispõem de reservatório existente nas proximidades, para eventual consideração em estudos futuros;
- Identificação das áreas elevadas com topo suave (inclinação H:V menor que 3:1), com raio mínimo de 250m ou cerca de 0,2km², para o reservatório superior;
- Para cada área elevada: Identificação das possibilidades para o reservatório inferior, envolvendo pesquisa, num raio de 5km em torno da área superior, da localização do curso d'água mais próximo da área do reservatório superior, que apresente no ponto provável de captação, desnível superior a 100m;
- Determinação da menor distância em planta entre os reservatórios superior e inferior (L) e seleção dos locais favoráveis à UHR que apresentem relação L/H inferior a 10, para o caso do Rio de Janeiro e São Paulo. Este fator (L/H) pode variar a depender das características da região do estudo e quanto menor o seu valor e maior a queda, mais promissor é o local para implantação de UHR;

- Exclusão de sítios onde foi verificada interferência em áreas urbanas e legalmente protegidas (Unidades de Conservação, Terras Indígenas, Territórios Quilombolas).

A GeoUHR conforme desenvolvida, mapeia locais potenciais para implantação de UHR de circuito semi-aberto envolvendo um reservatório superior posicionado em uma região com topografia suave e um reservatório inferior formado pelo barramento do curso d'água, localizado dentro de uma faixa de 5 km da extremidade da área do reservatório superior, que resulte em desnível >100m.

Como resultado, o GeoUHR gera uma planilha com a relação de todos os locais potenciais, nomeados (ID), georreferenciados e com as seguintes informações: desnível (H) e distância (L) entre reservatórios, a relação L/H (distância entre reservatórios /desnível associado), área disponível para implantação do reservatório superior e outras informações.

Esta planilha permite ordenar os parâmetros de cada local (nomeado ID) de modo a identificar aqueles mais promissores para implantação de UHR: maior queda (H) e de menor relação L/H, para caracterização/pré-dimensionamento.

A GeoUHR representa, em planta, para cada UHR (ID): os locais identificados para o reservatório superior, o curso d'água do reservatório inferior e posição indicativa do caminhamento do circuito hidráulico, para detalhamento na Fase 1.1 dos Estudos Preliminares.

Cabe ressaltar que outras topologias de UHR, a exemplo daquelas de circuito fechado, serão objeto de estudos futuros.

As informações georreferenciadas (shapes) utilizados pela GeoUHR no mapeamento das UHR no Rio de Janeiro constam do **Quadro 1**, a seguir.

Quadro 1 - Informações utilizadas para o mapeamento das UHR no Rio de Janeiro

Informação Georreferenciada	**Fonte**
Base Cartográfica	SRTM
Hidrografia	SRTM
Reservatórios Existentes	ANA
Linhas de Transmissão Planejadas e Existentes	Webmap EPE

Informação Georreferenciada	Fonte
Unidade de Conservação	MMA
Áreas Urbanas	Vetorizada pelo IBGE em cima de imagens CBERS entre os anos de 2005 e 2007
Terras Indígenas	FUNAI
Terras Quilombolas	INCRA
Acessos	Imagens de satélites do ArcGIS

Fonte: Elaboração EPE

Conforme mencionado, na identificação preliminar dos locais para o aproveitamento foi considerada um desnível mínimo de 100m e selecionadas as mais promissoras para serem pré-dimensionadas na Fase 1.1 do Estudo de Inventário. No estado do Rio de Janeiro, as UHR mais promissoras correspondem àquelas com desníveis iguais ou superiores a 300m e L/H <10, que resultaram 23 UHR. Entre essas, as 15 UHR que apresentam condições socioambientais mais favoráveis, foram selecionadas para pré-dimensionamento.

3.2.2. Critérios de projeto

Este item apresenta as premissas e metodologias utilizadas para a Fase 1.1 dos Estudos Preliminares do estado do Rio de Janeiro, no que tange o pré-dimensionamento das principais estruturas e componentes, e obtenção das características operativas básicas de cada usina selecionada na etapa anterior. Para o desenvolvimento desses estudos foi utilizada a melhor base cartográfica disponível do estado do Rio de Janeiro (Carta IBGE, escala 1:25.000)

Assim como para as usinas hidrelétricas convencionais, entende-se que projeto de uma usina reversível deve buscar melhores relações custo-benefício para cada solução de engenharia analisada. No entanto, nesta fase dos estudos, ainda não se dispõe de informações suficientes para uma estimativa adequada de custos e nem forma definida para a quantificação dos benefícios oferecidos por este tipo de usina, impossibilitando a realização de estudos de otimização nesta etapa.

Devido à forte interdependência entre as características da usina, os procedimentos utilizados para a definição das estruturas principais foram realizados de forma iterativa,

e desta forma os itens apresentados a seguir não representam a sequência lógica do processo de pré-dimensionamento, mas sim os principais aspectos considerados para a obtenção das características das usinas.

Cabe ainda destacar que as características previstas das obras e equipamentos das UHR decorrem da premissa de operação considerada (tempo de geração de 3horas na potência máxima) da energia armazenada disponível no seu reservatório superior.

3.2.2.1. Reservatórios

Considerando os locais identificados pela GeoUHR com condições topográficas e socioambientais favoráveis, foram selecionadas as melhores opções de sítios para implantação de UHR que, para o caso do estado do Rio de Janeiro, foram os que apresentaram desníveis ≥300m e L/H<10.

Cada sítio selecionado teve os arranjos das obras dos reservatórios superior e inferior concebidos de forma a aproveitar o máximo possível da área disponível para o reservatório superior, que em geral é o mais limitado, buscando maximizar o volume de armazenamento (volume útil) e minimizar os volumes associados aos custos das obras civis, limitando a 10m[nota2] o deplecionamento de ambos os reservatórios. Para tanto foram previstos para a conformação do reservatório superior: diques de enrocamento com núcleo argiloso para o fechamento do seu contorno, com crista 3m acima do nível d'água máximo (borda livre), e escavação da área interna do reservatório.

A região mais profunda do reservatório é tomada como referência para a implantação do canal de aproximação e tomada/saída d'água, prevendo em alguns casos aumento de profundidade ou adequação do terreno por escavação.

A definição da elevação da tomada d'água e submergência necessária para evitar a formação de vórtices, conforme indicado no item 3.2.2.6, determinará o nível de água mínimo do reservatório superior.

Definida a geometria do reservatório superior, a sua curva cota x área x volume e o seu nível d'água mínimo, e considerando o critério de depleção máxima de 10m, foi determinado seu volume útil, que será utilizado para dimensionar o reservatório inferior.

Vale destacar que nesta etapa dos estudos não foram consideradas as perdas por evaporação e infiltração e de outros usos da água no reservatório superior.

[2] **O limite de 10m de deplecionamento dos níveis d'água dos reservatórios, é preliminar e está associado a limitação da velocidade de deplecionamento, ao tempo de geração de 3horas e às características das obras de fechamento dos reservatórios (diques e encostas).**

Para a criação do reservatório inferior foi previsto um barramento fechando o curso d'água identificado pela GeoUHR, de forma similar a uma hidrelétrica convencional, com localização e elevação de crista que permita criar um reservatório com o mesmo volume útil do reservatório superior, nível d'água mínimo considerando a submergência da tomada/saída d'água, conforme critério apresentado no item 3.2.2.6 e deplecionamento máximo de 10 metros.

Verifica-se em muitos casos a possibilidade de instalação de casa de força complementar para aproveitar o desnível criado pelo barramento do reservatório inferior e a vazão remanescente, ou mesmo utilizar o reservatório inferior para obtenção de potência adicional. No entanto, esta análise e detalhamento não será realizada nesta fase dos estudos.

Cabe observar também a possibilidade de modificar o critério de velocidade de depleção máxima, em etapa futura dos estudos, após conhecimento dos aspectos geológico-geotécnicos e hidrogeológicos locais e/ou ainda no caso de se prever proteção superficial interna do reservatório com concreto, por exemplo.

Com a definição dos reservatórios superior e inferior, são determinadas as quedas brutas operativas da central como indicadas na continuação.

Queda Bruta Máxima = N.A.máx.sup. - N.A.mín.inf.

Queda Bruta Mínima = N.A.mín.sup. - N.A.máx.inf.

Queda Bruta Média = (Queda Bruta Máxima + Queda Bruta Mínima) / 2

3.2.2.2. Barramento

O barramento utilizado para a criação dos reservatórios superior e inferior possui seção típica de terra e enrocamento, com taludes externos de 1V:2H a montante e 1V:1,5H a jusante e crista com largura de 7 metros e elevação 3 metros acima do N.A.Máximo, conforme apresentado no desenho de seções típicas RRJ-00-000.0016-DE-R0A.

O tipo e as características do barramento podem ser reavaliados após estudos mais aprofundados que possibilitem identificar, entre outras coisas, as condições geológico-geotécnicas de fundação e das encostas, e a disponibilidade de materiais naturais de construção.

3.2.2.3. Tempo de geração

Para determinar a vazão turbinada a partir do volume útil do reservatório, adota-se uma constante denominada neste estudo como Tempo de Geração, que indica o intervalo de tempo em que a usina pode operar produzindo energia com a potência máxima, causando a diminuição do nível de água do reservatório superior do N.A.máximo normal até o N.A.mínimo normal, sendo representada pela relação entre a energia armazenada (MWh) e a potência instalada (MW).

O Tempo de Geração adotado tem influência direta na definição da potência da usina, nas dimensões e concepção do circuito hidráulico e de todas as demais características e estruturas associadas, como tomadas/saídas d'água, chaminés de equilíbrio, casa de força e equipamentos.

Devido à ausência de informações que possibilitem uma análise de custo-benefício para diferentes alternativas e que melhor atendam as condições do sistema, adotou-se inicialmente o valor de 3 horas para o desenvolvimento dos estudos.

Como é possível observar pelos resultados preliminares encontrados para o estado do Rio de Janeiro (item 4), a adoção deste valor para todos os aproveitamentos resulta em potências elevadas e circuitos hidráulicos de grande porte para as usinas com reservatórios com grande capacidade de armazenamento, cabendo ressaltar que a potência e demais características assim determinadas não representarão necessariamente a solução com melhor relação custo-benefício, indicando ainda que os resultados obtidos desta forma não representam o potencial economicamente viável.

Cabe também ressaltar que o tempo de geração assim adotado, refere-se a uma premissa para o pré-dimensionamento da usina, não representando uma regra operativa da UHR.

Adicionalmente, deve-se observar que a consideração da vazão turbinada como sendo constante durante o tempo de geração é uma simplificação que não será verificada caso a usina produza energia com potência constante durante o mesmo intervalo de tempo, devido a variação dos níveis d'água e queda operativa, do rendimento da unidade reversível e de suas restrições referentes a faixa operativa.

3.2.2.4. Vazão Turbinada

A vazão turbinada foi calculada, como primeira aproximação, pela relação entre o volume útil do reservatório e o tempo de geração adotado.

Cabe destacar que o valor assim obtido refere-se a um valor médio, uma vez que a vazão máxima turbinada ao longo da operação será dada em função das características das unidades reversíveis.

3.2.2.5. Circuito Hidráulico

Para a concepção geral do circuito hidráulico, foram utilizadas as recomendações do guia "*Pumped-Storage Planning and Evaluation Guide*" da EPRI (1990), selecionando uma alternativa entre as possibilidades apresentadas, conforme perfil topográfico entre os dois reservatórios de cada usina.

As características do circuito hidráulico determinam as perdas de carga e influenciam a capacidade de resposta (rampa) e habilidade de prover serviços ancilares pelas unidades reversíveis.

Ressalta-se que estudos com maior detalhamento incluindo a avaliação de métodos construtivos, estudos geológico-geotécnicos e de custos, conforme condições locais, podem indicar concepções mais adequadas para o circuito hidráulico previamente estabelecido pela EPE.

3.2.2.6. Tomadas/saídas d'água:

3.2.2.6.1. Tipos

Como simplificação, foram considerados dois tipos de estruturas para a tomada/saída, a horizontal e a vertical, conforme indicados no guia da EPRI (1990), sendo a seleção feita conforme características locais de cada aproveitamento.

Durante etapas posteriores dos estudos, o tipo de tomada/saída d'água deverá ser reavaliado, considerando ainda aspectos como os custos das obras civis e equipamentos, a perda de carga e as características associadas a operação e manutenção da usina.

3.2.2.6.2. Submergência

Conforme relatório "*Intake Vortex Formation and Suppression at Hydropower Facilities*" publicado pelo *U.S. Department of the Interior* em 2016, a formação de vórtices na tomada/saída d'água está associada a diversos problemas verificados em instalações hidráulicas, incluindo vibrações, oscilações de carga, perda de rendimento, danos em estruturas e equipamentos, cavitação, redução da vazão, desbalanceamento, ruído, aumento da manutenção e restrições operacionais.

Assim, de forma a considerar a submergência mínima necessária para a tomada/saída d'água e seu efeito nas características do aproveitamento, utilizou-se a fórmula proposta por Gordon (1970), cabendo ressaltar que estudos mais detalhados deverão ser

realizados em fases mais avançadas do projeto para definir de melhor forma as características e a submergência necessária para as tomadas/saídas d'água.

3.2.2.6.3. Geometria

Diferente das usinas hidrelétricas convencionais, o duplo sentido de escoamento nas usinas reversíveis impõe necessidades especiais relacionadas ao projeto hidráulico de algumas estruturas, dentre elas a tomada/saída d'água.

Durante o bombeamento a estrutura passa a ter um gradiente de pressão adverso (pressão estática aumenta na direção do fluxo) trazendo riscos associados ao descolamento da camada limite, como indicado por IDEL'CIK (1960), demandando uma transição de seção adequada.

Assim, para as tomadas/saídas d'água do tipo horizontal consideradas no estudo, adotou-se um ângulo de 9° entre cada uma das paredes e o plano médio longitudinal da estrutura e entre a superfície superior (teto) e a inferior (piso), conforme recomendação apresentada no Apêndice A do guia da EPRI (1990) e conforme apresentado no desenho de seções típicas RRJ-00-000.0016-DE-R0A.

Para as tomadas/saídas d'água do tipo vertical, foi utilizada a geometria hidráulica indicada no artigo "*Head-loss Reduction in the Water Intakes/Outlets of Pumped-Storage Tower (Shaft) Type Power Plants*" de de IE Mikhailov (1992).

Adicionalmente, considerou-se a soleira da tomada/saída d'água superior implantada a 1,0 [m] acima do fundo do reservatório superior e a soleira da tomada/saída d'água inferior implantada a 2,0 [m] acima do fundo do reservatório inferior.

Também foram consideradas a instalação de grades em todas as tomadas/saídas d'água, embora tal consideração possa ser reavaliada em fases posteriores dos estudos. A velocidade média do escoamento na seção bruta onde serão instaladas as grades foi limitada a 1 [m/s].

3.2.2.7. Túneis

Os túneis considerados no estudo possuem seção circular, com revestimento de concreto, conforme apresentado no desenho de seções típicas RRJ-00-000.0016-DE-R0A, e diâmetro limitado a 10,7 [m].

A velocidade máxima do escoamento, sob vazão máxima turbinada, foi estabelecida como sendo de 4,6 [m/s], cabendo ressaltar que a velocidade admissível adotada deve ser reavaliada em estudos futuros, conforme melhor relação custo-benefício (diâmetro econômico).

Para o cálculo da perda de carga distribuída nos túneis, considerou-se uma rugosidade absoluta uniforme de 2,5 [mm].

O arranjo dos túneis considerou ainda a cobertura de rocha mínima, conforme indicado no guia da EPRI (1990).

Devido a indisponibilidade das informações geológicas locais, nesta etapa dos estudos adotou-se que o topo rochoso se encontra a 10 [m] abaixo do perfil topográfico analisado, permitindo a verificação do critério e traçado do circuito.

3.2.2.8. Conduto forçado revestido de aço

Conforme recomendações estabelecidas no guia da EPRI (1990), adotou-se como comprimento mínimo do trecho revestido de aço o valor correspondente a 25% da queda bruta máxima, medido a partir da casa de força, e para determinar diâmetro foi considerada a velocidade média do escoamento em função da queda, conforme indicado no guia da EPRI (1990).

A diâmetro final será determinado em função de aspectos econômicos, hidráulicos e de operação, sendo estas análises feitas em fases posteriores dos estudos.

Para o cálculo da perda de carga distribuída nos condutos forçados revestidos com aço, considerou-se uma rugosidade absoluta uniforme de 0,5 [mm].

O estudo considerou até 4 unidades reversíveis por túnel e para as bifurcações/junções dos condutos forçados revestidos de aço foram adotados ângulos entre 30° e 45°, de forma a minimizar as perdas em ambos os modos de operação (geração e bombeamento) e reduzir os custos.

Para as convergências/expansões, foram utilizados ângulos entre 6° e 14°.

3.2.2.9. Túnel de sucção

Os túneis de sucção são extensões do tubo de sucção das unidades reversíveis, havendo um para cada unidade e compreendem o trecho entre a casa de força e a chaminé de equilíbrio de baixa pressão, sendo revestimentos com concreto.

Para o pré-dimensionamento adotou-se as velocidades indicadas pelo guia da EPRI (1990), em função da queda da usina.

O comprimento foi adotado como sendo de 2 vezes a largura da casa de força ou entre a faixa de 45 [m] a 60 [m].

3.2.2.10. Chaminé de Equilíbrio

Nesta fase dos estudos não foram realizados estudos de transitórios hidráulicos.

Desta forma, para verificar a necessidade de chaminé de equilíbrio no circuito hidráulico, foram utilizados critérios simplificados de avaliação da estabilidade, indicados no guia da EPRI (1990), e adicionalmente o critério de Hardley, além das curvas de Gordon apresentadas em "*Applied Hydraulic Transients*" de Chaudhry (2013).

A chaminé de equilíbrio no túnel inferior, próximo a caverna de máquinas, possibilita a instalação de comportas para o fechamento das unidades reversíveis durante a manutenção, no entanto, outras concepções podem ser estudadas durante fase de estudos mais detalhados.

3.2.2.11. Submergência das turbinas-bomba

A submergência das turbinas-bomba é determinada para o modo de operação como bomba (condição mais crítica), sendo calculada para cada usina utilizando a monografia "*Estimating Reversible Pump-Turbine Characteristics*" publicado pelo *United States Department of the Interior – USBR* (1977).

3.2.2.12. Perda de carga

Dada sua importância para a obtenção das características operativas, tanto no bombeamento quanto na geração, e portanto, no ciclo da UHR, optou-se por calcular com maior detalhamento a perda de carga em cada aproveitamento, em cada elemento do circuito hidráulico e em cada modo de funcionamento, possibilitando assim uma melhor caracterização da usina, possibilitando o uso como referência em estudos futuros e auxiliando a definição do arranjo e passagens hidráulicas do circuito.

O cálculo da perda de carga foi realizado utilizando referências consagradas como "*Memento des Pertes de Charge*" de I.E.IDEL'CIK (1960) e "*Hydraulic Design Criteria*" do USBR (1977), levando em conta as seguintes parcelas:

- Perdas distribuídas, considerando o número de Reynolds, as velocidades, as áreas e a rugosidade e outros aspectos em cada trecho do circuito;
- Perdas localizadas em curvas;
- Perdas localizadas em bifurcações e junções de escoamento;
- Perdas localizadas em transições e mudança de seção, incluindo convergências, difusores, entradas e saídas;

- Perdas localizadas nas grades, ranhuras de comportas e elementos relacionados aos equipamentos instalados no circuito.

3.2.2.13. Potência de geração e energia elétrica armazenada

A potência de geração da usina é obtida pela expressão:

$$P = \rho . g . Q . H . \eta_t . \eta_g \quad (1)$$

Onde:

P: Potência elétrica produzida nos bornes dos motores-geradores em [W];

ρ: Massa específica da água em [kg/m³], variável em função da temperatura e pressão, calculada para cada usina conforme norma IEC 60193:1999, assumindo uma temperatura média da água como sendo de 30 °C;

g: Aceleração da gravidade local em [m/s²], variável em função da altitude e latitude, calculada para cada usina conforme normas IEC 60041:1991 e IEC 60193:1999;

Q: Vazão turbinada total em [m³/s], calculada, como primeira aproximação, pela relação entre o volume útil do reservatório e o tempo de geração adotado.

H: Queda líquida em [m], compatível com a definição dada pelas normas IEC 60041:1991 e IEC 60193:1999, sendo calculada nesta fase dos estudos como a média entre a queda bruta máxima e a queda bruta mínima, subtraída a perda de carga calculada para o modo de geração com a vazão turbinada calculada anteriormente;

η_t: Rendimento da turbina-bomba no modo turbina, adotado nesta fase dos estudos como sendo um valor constante de 90%.

Cabe ressaltar que o rendimento da turbina-bomba depende da geometria e tecnologia adotada por cada fabricante conforme requisitos e características de cada usina e é variável em função das condições operativas como queda líquida e vazão.

η_g: Rendimento do motor-gerador no modo gerador, adotado nesta fase dos estudos como sendo um valor constante igual a 98%.

Assim como para a turbina-bomba, o rendimento do motor-gerador depende da concepção e tecnologia adotada por cada fabricante conforme requisitos e características de cada usina e é variável em função da potência.

A partir da potência de geração obtida pela expressão (1) calcula-se a energia elétrica armazenada, multiplicando a potência pelo Tempo de Geração adotado. Ressalta-se que

a energia elétrica armazenada obtida desta forma considera a potência gerada constante ao longo do tempo de geração.

3.2.2.14. Vazão da bomba, energia consumida e tempo de bombeamento

Considera-se que a potência máxima consumida pelas unidades reversíveis no bombeamento é igual a potência máxima produzida pelas mesmas no modo de geração, e desta forma a vazão de bombeamento será dada pela expressão

$$Q_b = \frac{P.\eta_b.\eta_m}{\rho.g.(H_b + \Delta h)} \quad (2)$$

Onde:

P: Potência elétrica consumida nos bornes dos motores-geradores em [W], variável com a altura efetiva de elevação $(H_b + \Delta h)$, conforme característica da turbina-bomba, sendo considerado que a potência máxima ocorre na altura efetiva de elevação mínima, tendo em vista os tipos de máquinas consideradas neste estudo.

Para estimar o comportamento da turbina-bomba no modo de bombeamento utilizou-se as curvas apresentadas na monografia da USBR (1977).

Q_b: Vazão bombeada em [m³/s], calculada para cada altura efetiva de elevação $(H_b + \Delta h)$.

Neste estudo analisou-se as seguintes condições de funcionamento:

i. Uma unidade em funcionamento sob queda bruta máxima;

ii. Uma unidade em funcionamento sob queda bruta mínima;

iii. Todas as unidades em funcionamento sob queda bruta máxima;

iv. Todas as unidades em funcionamento sob queda bruta mínima;

v. Todas as unidades em funcionamento sob queda bruta média.

Para cada condição, calcula-se a vazão bombeada conforme expressão (2) e a perda de carga (Δh) correspondente, de forma iterativa até a convergência.

η_b: Rendimento da turbina-bomba no modo bomba, adotado nesta fase dos estudos como sendo um valor constante de 92%.

η_m: Rendimento do motor-gerador no modo motor, adotado nesta fase dos estudos como sendo um valor constante igual a 98%.

A média das vazões calculadas para as condições (iii) e (iv) é utilizada para estimar o tempo mínimo[3] para o enchimento do volume útil do reservatório, neste estudo denominado Tempo de Bombeamento.

A média das potências elétricas consumidas para as condições (iii) e (iv) é utilizada para calcular a energia consumida durante a operação de bombeamento.

O rendimento do ciclo é calculado pela relação entre a energia elétrica armazenada e a energia consumida durante o bombeamento, cabendo destacar que o valor assim determinado não inclui perdas associadas ao rendimento dos transformadores, ao consumo de equipamentos auxiliares, as perdas volumétricas, por evaporação, infiltração, vazamento e as perdas relacionadas a comutação entre modos operativos.

4. RESULTADOS PRELIMINARES PARA O ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Utilizando a metodologia apresentada, foram identificados para o estado do Rio de Janeiro os locais com condições topográficas mais favoráveis à implantação de usinas reversíveis com a topologia descrita no item 3.

A **Figura 3** indica os locais identificados, classificando-os por faixa de desnível, incluindo os locais apontados no estudo da Eletrobrás de 1987 (indicados com triângulos da cor magenta), permitindo observar que muitos dos aproveitamentos identificados no estudo de 1987 localizam-se em áreas atualmente protegidas por lei.

A **Figura 4** apresenta os locais com características favoráveis, fora de áreas legalmente protegidas e classificadas por desnível, enquanto a **Figura 5** apresenta os mesmos locais classificados pela relação L/H, onde L refere-se a distância em planta entre os reservatórios e H o desnível topográfico entre os dois reservatórios.

Cabe ressaltar que projetos com quedas maiores, possibilitam maior capacidade de armazenamento e potência quando comparados a projetos com quedas menores e mesmo volume útil dos reservatórios. Além disso, circuitos hidráulicos mais curtos podem ser associados a custos mais baixos de implantação da UHR e menores perdas hidráulicas. Desta forma, o desnível topográfico (H) e a relação L/H são parâmetros que indicam uma tendência de atratividade técnica e econômica dos aproveitamentos.

[3] **Caso em que todas as unidades reversíveis estão disponíveis e podem operar sem restrição conforme sua capacidade prevista em projeto.**

De forma a concentrar os estudos nos aproveitamentos mais propícios, foram adotados como limites um desnível mínimo de 300 metros e uma relação L/H máxima de 10, valores iguais aos adotados no estudo da Eletrobrás de 1987. Além disso, foram excluídos os aproveitamentos dentro das áreas legalmente protegidas (Unidades de Conservação, Terras Indígenas e Territórios Quilombolas).

Como resultado, foram obtidos 23 locais propícios à implantação de usinas reversíveis, conforme apresenta a **Figura 6**.

Vale ressaltar que os locais não selecionados devido aos critérios adotados não são necessariamente inviáveis para a construção de usinas reversíveis, mas apresentam indícios de condições técnicas, econômicas e socioambientais menos atrativas, favorecendo a priorização de outros locais.

Aproveitamentos com quedas inferiores a 300 metros e/ou relação L/H superior a 10 podem se tornar atraentes economicamente ao considerar outros fatores como a utilização de reservatórios existentes e usos múltiplos da água, não sendo esta análise alcançada pela presente fase do estudo.

Para os 23 sítios identificados foi realizada uma análise uma análise socioambiental preliminar por meio de inspeção visual em imagens de satélite. A análise socioambiental preliminar resultou na exclusão de 8 sítios em função do contexto socioambiental observado, tendo em vista as áreas urbanas, núcleos populacionais, edificações, atividades agrícolas, estradas e vias locais e remanescente de vegetação, dentre outros aspectos.

A partir dessa análise foram priorizados 15 projetos para pré-dimensionamento (**Figura 7),** com o objetivo de obter as características básicas de cada usina.

O resultado geral do pré-dimensionamento das usinas selecionadas para o estado do Rio de Janeiro encontra-se resumidas no **Quadro 2**, cabendo destacar que a relação L/H determinada após o pré-dimensionamento, refere-se ao comprimento efetivo do circuito hidráulico e a queda bruta média.

Dos 15 locais selecionados, verifica-se que 11 encontram-se na mesorregião do Centro Fluminense, 2 no Norte Fluminense, 1 no Noroeste Fluminense e 1 no Sul Fluminense.

As características individuais determinadas para cada aproveitamento, conforme critérios estabelecidos no item 3, são apresentadas no **Quadro 3**.

Adicionalmente, os desenhos dos reservatórios e circuito hidráulico de cada usina pré-dimensionada, com as seções típicas consideradas são apresentados no Anexo B.

Quadro 2 - Resultado geral do pré-dimensionamento das UHR selecionadas para o RJ

Característica	**Valor encontrado**
Número de UHRs	15
Capacidade Instalada (Geração) [MW]	21.109
Ciclo de Operação	Diário
Tempo de Geração [h] / Ciclo	3
Tempo Mínimo de Bombeamento [h] / Ciclo	4
Energia Armazenada [MWh]	63.326
Energia Consumida [MWh]	83.936
Volume Útil [hm³]	71
Rendimento Global	75%
Queda Bruta Média [m]	283,3 a 450,2
Relação L/H	5,3 a 11,6

Fonte: Elaboração EPE

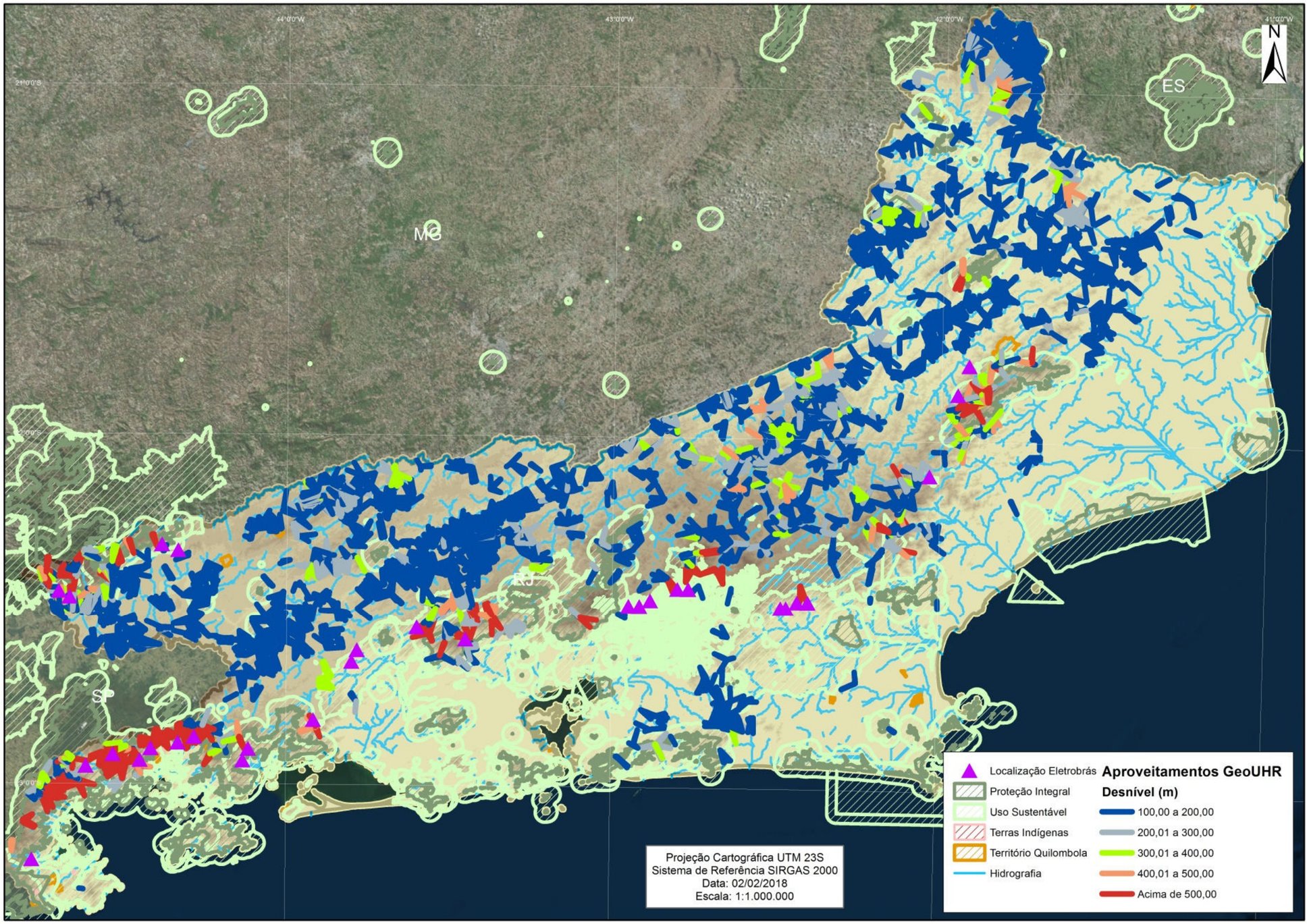


Figura 3 - Locais propícios a implantação de UHR identificados pelo GeoUHR para o RJ, classificados por desnível
Fonte: Elaboração EPE

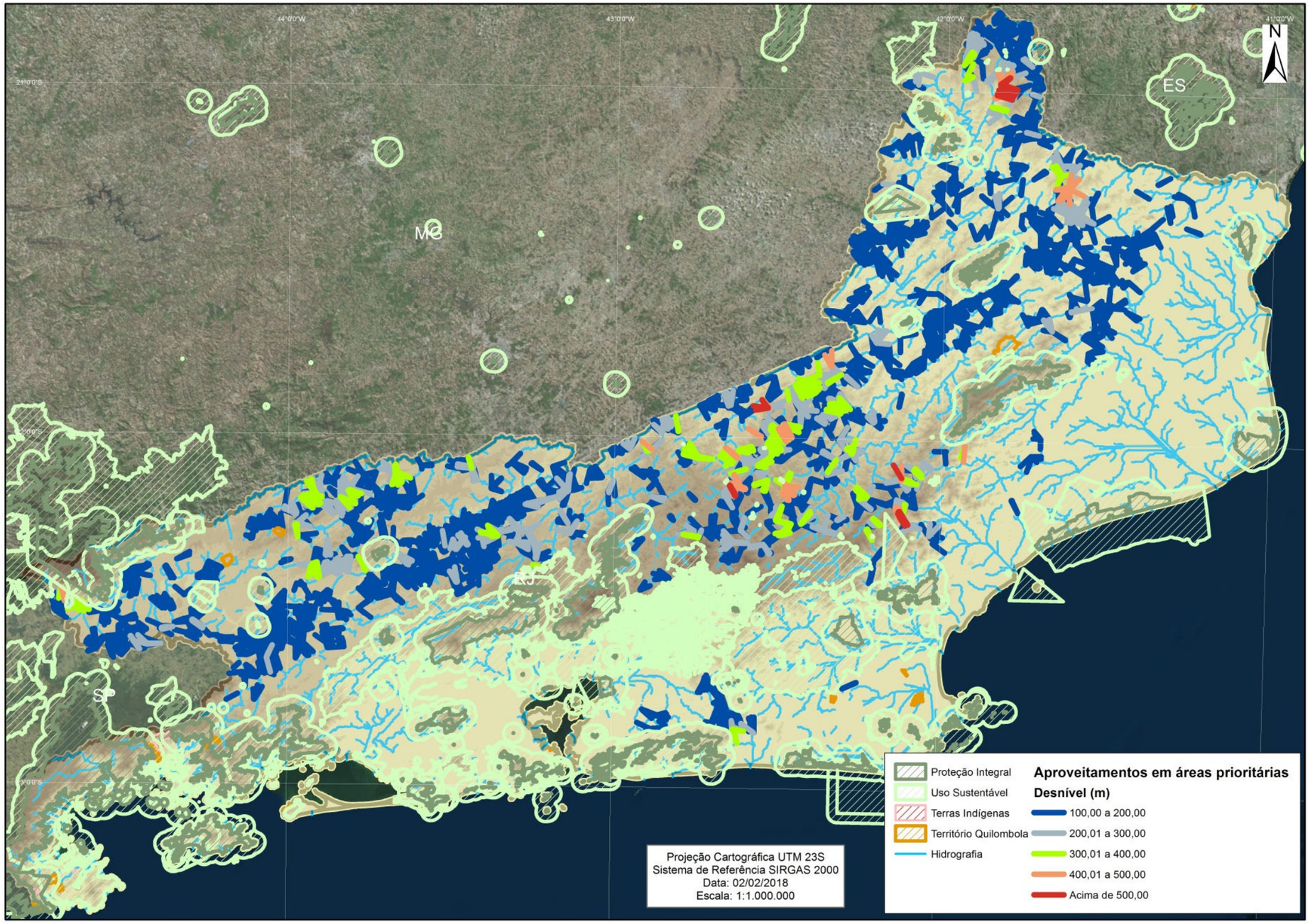


Figura 4 - Locais propícios a implantação de UHR identificados pelo GeoUHR para o RJ, fora de áreas protegidas, classificados por desnível
Fonte: Elaboração EPE

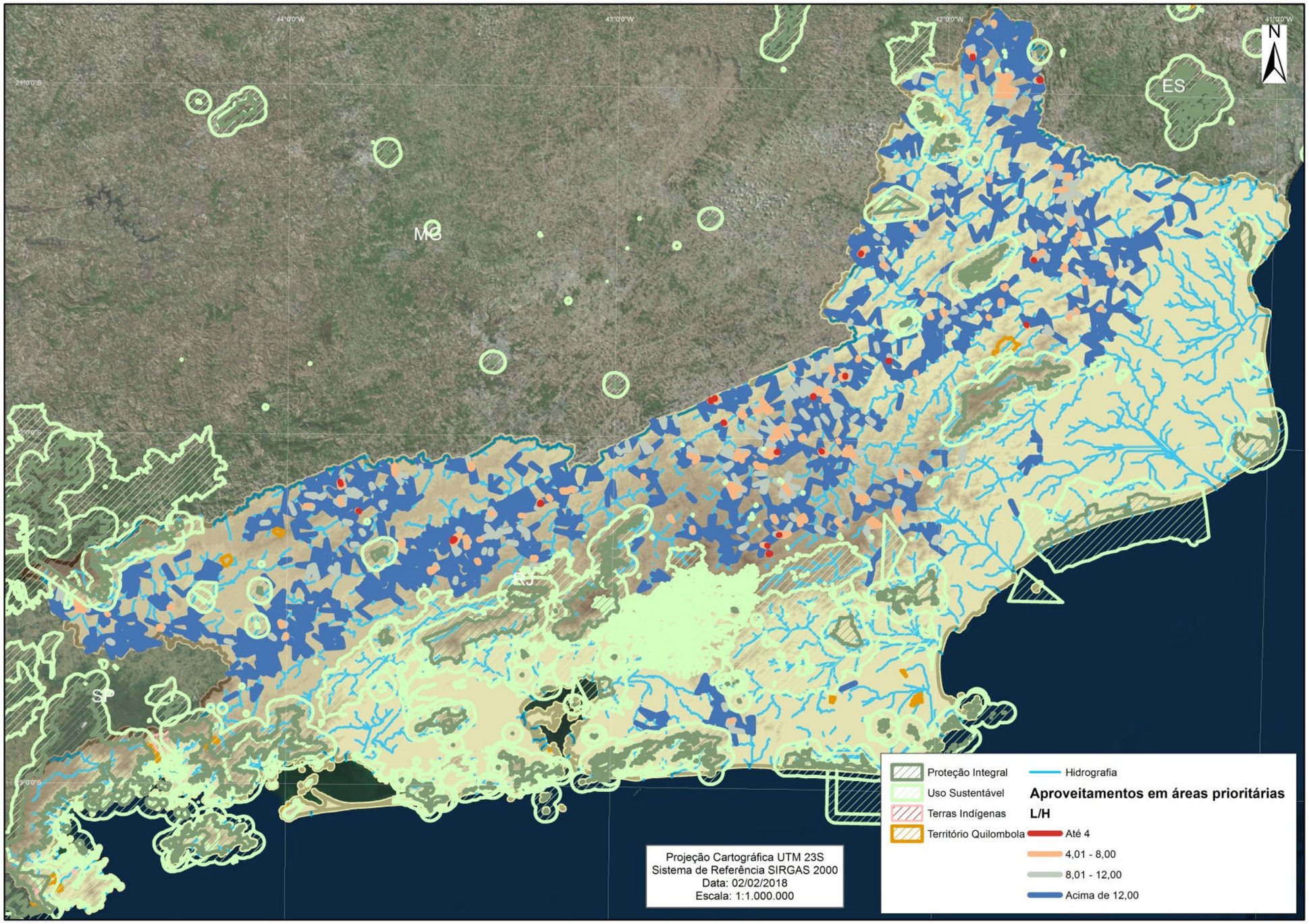
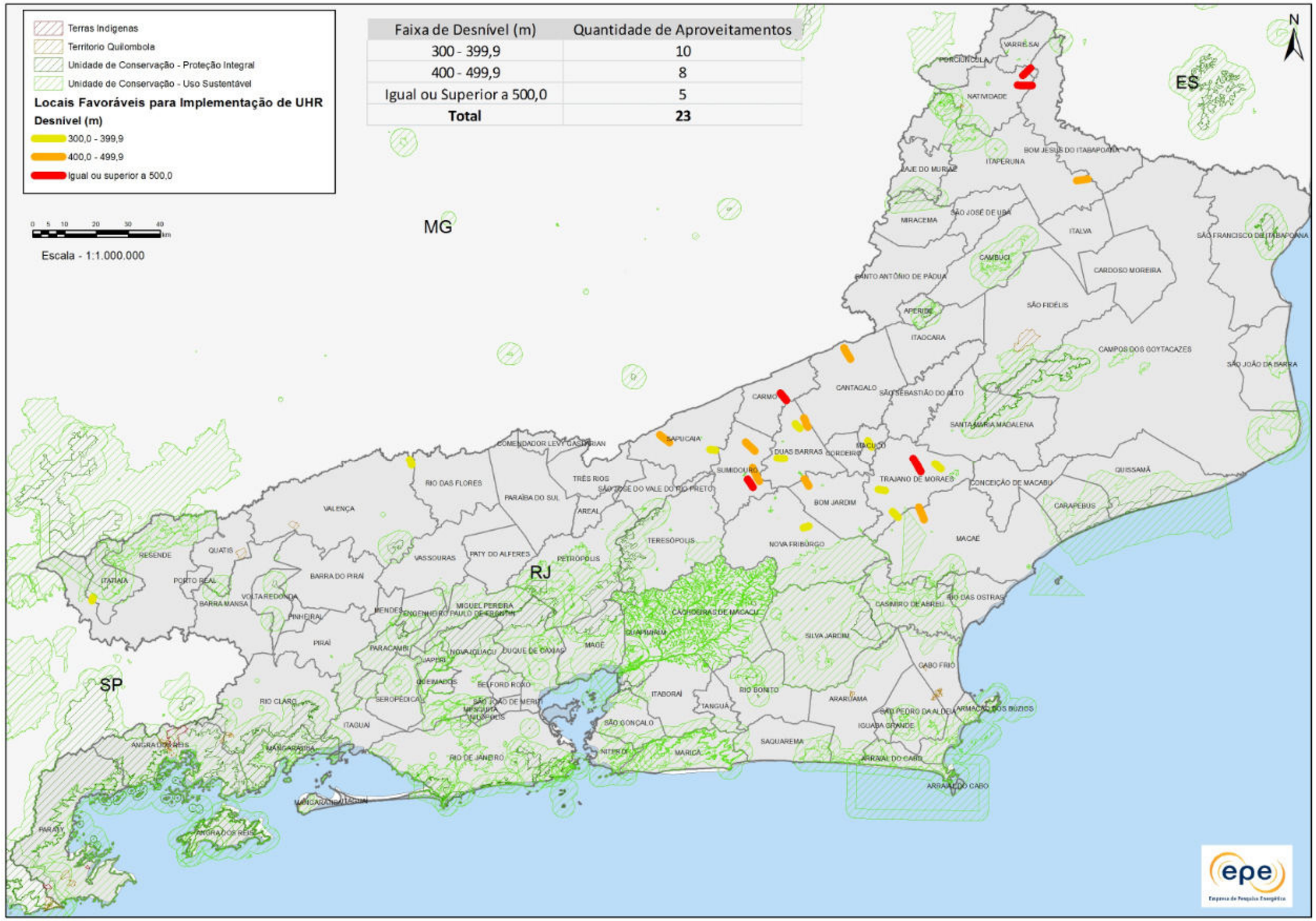
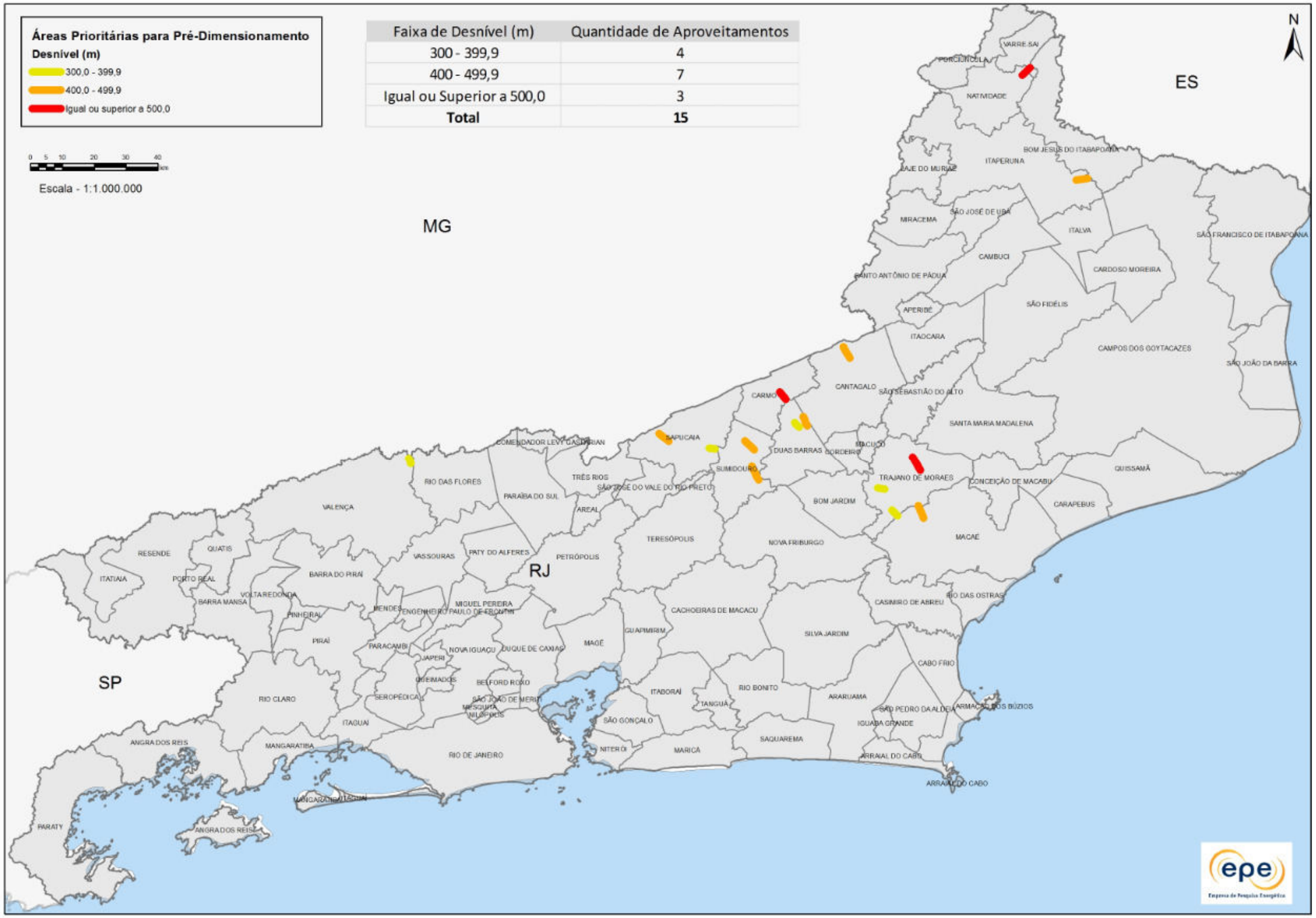


Figura 5 - Locais propícios a implantação de UHR identificados pelo GeoUHR para o RJ, fora de áreas protegidas, classificados por relação L/H
Fonte: Elaboração EPE



Faixa de Desnível (m)	Quantidade de Aproveitamentos
300 - 399,9	10
400 - 499,9	8
Igual ou Superior a 500,0	5
Total	**23**

Figura 6 - UHR selecionadas no RJ para a análise socioambiental preliminar
Fonte: Elaboração EPE



Faixa de Desnível (m)	Quantidade de Aproveitamentos
300 - 399,9	4
400 - 499,9	7
Igual ou Superior a 500,0	3
Total	**15**

Figura 7 - UHR selecionadas no RJ para o pré-dimensionamento
Fonte: Elaboração EPE

Quadro 3 - Características básicas das UHR pré-dimensionadas (1/3)

Identificação / ID	ID1110RJ	ID1198RJ	ID1258RJ	ID1303RJ	ID1336RJ
Desenho	RRJ-I-00-000.0001-DE-R0A	RRJ-I-00-000.0002-DE-R0A	RRJ-I-00-000.0003-DE-R0A	RRJ-I-00-000.0004-DE-R0A	RRJ-I-00-000.0005-DE-R0A
Município	Trajano de Moraes / Macaé	Macaé / Trajano de Moraes	Trajano de Moraes	Sumidouro	Trajano de Moraes
Curso d'água (reservatório inferior)	Rio Macabu	Rio São Pedro	Ribeirão São Lourenço	Rio Paquerer	Córrego Trajano de Morais
Potência instalada (Geração) [MW]	737,1	988,3	656,3	3.258,50	1.704,70
Energia armazenada [MWh]	2.211	2.965	1.969	9.775	5.114
Volume útil [hm³]	2,92	2,86	2,57	10,59	4,98
Queda bruta máxima [m]	336,1	460,0	340,0	410,0	458,0
Queda bruta mínima [m]	320,0	440,4	325,2	390,3	438,2
Queda bruta média (H) [m]	328,1	450,2	332,6	400,2	448,1
Perda de carga (geração, 100%) [m]	11,1	15,2	11,8	13,4	17,6
Vazão total turbinada [m³/s]	271	264	238	980	461
Vazão média de bombeamento [m³/s]	200	196	176	725	338
Energia consumida [MWh]	2.940	3.939	2.623	12.981	6.849
Quantidade de túneis [-]	1	1	1	3	2
Diâmetro do túnel [m]	8,65	8,55	8,10	9,50	8,00
Comprimento total de cada circuito (L) [m]	2.686	3.951	2.612	3.925	4.850
Relação L/H	8,2	8,8	7,9	9,8	10,8
Reservatório Superior (N.A.máx.) Cota [m.a.n.m.] / Área [m²]	1355,0 / 0,33	895,0 / 0,32	800,0 / 0,28	1040,0 / 1,17	898,0 / 0,53
Reservatório Superior (N.A.mín.) Cota [m.a.n.m.] / Área [m²]	1.345,0 / 0,25	885,0 / 0,26	790,0 / 0,24	1.030,0 / 0,94	888,0 / 0,47
Reservatório Inferior (N.A.máx.) Cota [m.a.n.m.] / Área [m²]	1025,0 / 0,52	444,6 / 0,34	464,8 / 0,58	639,7 / 1,18	449,8 / 0,56
Reservatório Inferior (N.A.mín.) Cota [m.a.n.m.] / Área [m²]	1.018,9 / 0,44	435,0 / 0,26	460,0 / 0,50	630,0 / 1,00	440,0 / 0,45
Quantidade de unidades reversíveis	4	4	4	12	8
Rotação Síncrona [rpm]	400,00	450,00	450,00	360,00	450,00
Diâmetro de referência da turbina	3,85	3,95	3,50	4,60	3,90
Elevação de referência da turbina-bomba	970,5	377,0	408,0	581,5	386,0

Fonte: Elaboração EPE

Quadro 3 - Características básicas das UHR pré-dimensionadas (2/3)

Identificação / ID	ID1362RJ	ID1445RJ	ID1448RJ	ID1506RJ	ID1572RJ
Desenho	RRJ-I-00-000.0006-DE-R0A	RRJ-I-00-000.0007-DE-R0A	RRJ-I-00-000.0008-DE-R0A	RRJ-I-00-000.0009-DE-R0A	RRJ-I-00-000.0010-DE-R0A
Município	Valença / Rio das Flores	Sumidouro	Sapucaia	Sapucaia	Duas Barras
Curso d'água (reservatório inferior)	Não identificado	Córrego Pamparrão	Córrego Sujo	Ribeirão São João	Córrego Três Barras
Potência instalada (Geração) [MW]	761,6	542,5	491,9	1.321,10	1.443,40
Energia armazenada [MWh]	2.285	1.628	1.476	3.963	4.330
Volume útil [hm³]	3,45	1,82	2,25	5,10	6,01
Queda bruta máxima [m]	295,0	399,0	290,0	350,0	320,0
Queda bruta mínima [m]	277,3	384,3	276,6	330,0	303,5
Queda bruta média (H) [m]	286,2	391,7	283,3	340	311,8
Perda de carga (geração, 100%) [m]	8,6	17,7	8,6	14,6	9,8
Vazão total turbinada [m³/s]	319	169	208	472	556
Vazão média de bombeamento [m³/s]	236	123	155	346	412
Energia consumida [MWh]	3.020	2.196	1.948	5.305	5.731
Quantidade de túneis [-]	1	1	1	2	2
Diâmetro do túnel [m]	9,40	6,80	7,60	8,10	8,80
Comprimento total de cada circuito (L) [m]	1.809	4.556	1.862	3.427	1.998
Relação L/H	6,3	11,6	6,6	10,1	6,4
Reservatório Superior (N.A.máx.) Cota [m.a.n.m.] / Área [m²]	725,0 / 0,37	720,0 / 0,20	735,0 / 0,24	750,0 / 0,57	820,0 / 0,68
Reservatório Superior (N.A.mín.) Cota [m.a.n.m.] / Área [m²]	715,0 / 0,32	710,0 / 0,17	725,0 / 0,21	740,0 / 0,45	810,0 / 0,52
Reservatório Inferior (N.A.máx.) Cota [m.a.n.m.] / Área [m²]	437,7 / 0,53	325,7 / 0,41	448,4 / 0,66	410,0 / 0,62	506,5 / 0,99
Reservatório Inferior (N.A.mín.) Cota [m.a.n.m.] / Área [m²]	430,0 / 0,37	321,0 / 0,36	445,0 / 0,60	400,0 / 0,42	500,0 / 0,83
Quantidade de unidades reversíveis	4	3	2	6	8
Rotação Síncrona [rpm]	360,00	450,00	300,00	360,00	400,00
Diâmetro de referência da turbina	4,05	3,70	4,80	4,35	3,80
Elevação de referência da turbina-bomba	383,5	268,0	402,0	353,0	451,5

Fonte: EPE

Quadro 3 - Características básicas das UHR pré-dimensionadas (3/3)

Identificação / ID	ID1615RJ	ID1667RJ	ID1846RJ	ID2670RJ	ID2936RJ
Desenho	RRJ-I-00-000.0011-DE-R0A	RRJ-I-00-000.0012-DE-R0A	RRJ-I-00-000.0013-DE-R0A	RRJ-I-00-000.0014-DE-R0A	RRJ-I-00-000.0015-DE-R0A
Município	Duas Barras / Cantagalo	Carmo / Duas Barras	Cantagalo	Itaperuna / Bom Jesus do Itabapoana	Natividade / Varre Sai / Bom Jesus do Itabapoana
Curso d'água (reservatório inferior)	Córrego Três Barras	Córrego da Glória	Córrego das Pedras	Córrego da Lama	Ribeirão Inverno
Potência instalada (Geração) [MW]	1.118,00	1.720,90	987,5	1101,2	4.275,70
Energia armazenada [MWh]	3.354	5.163	2.963	3.304	12.827
Volume útil [hm³]	4,15	5,10	3,30	3,45	12,46
Queda bruta máxima [m]	355,0	445,0	395,0	420,0	448,9
Queda bruta mínima [m]	342,4	431,5	382,9	408,1	435,0
Queda bruta média (H) [m]	348,7	438,2	388,9	414	442
Perda de carga (geração, 100%) [m]	10,5	14,4	13,2	13,0	10,6
Vazão total turbinada [m³/s]	385	472	306	320	1153
Vazão média de bombeamento [m³/s]	287	351	227	238	870
Energia consumida [MWh]	4.436	6.854	3.940	4.377	16.799
Quantidade de túneis [-]	1	2	1	1	3
Diâmetro do túnel [m]	10,30	8,10	9,20	9,40	10,30
Comprimento total de cada circuito (L) [m]	2.887	3.542	3.692	3.582	2.331
Relação L/H	8,3	8,1	9,5	8,7	5,3
Reservatório Superior (N.A.máx.) Cota [m.a.n.m.] / Área [m²]	800,0 / 0,45	755,0 / 0,59	515,0 / 0,35	555,0 / 0,39	675,0 / 1,29
Reservatório Superior (N.A.mín.) Cota [m.a.n.m.] / Área [m²]	790,0 / 0,39	745,0 / 0,33	505,0 / 0,31	545,0 / 0,30	665,0 / 1,20
Reservatório Inferior (N.A.máx.) Cota [m.a.n.m.] / Área [m²]	447,6 / 1,62	313,5 / 1,59	122,1 / 1,49	136,9 / 1,71	230,0 / 3,26
Reservatório Inferior (N.A.mín.) Cota [m.a.n.m.] / Área [m²]	445,0 / 1,50	310,0 / 1,30	120,0 / 1,40	135,0 / 1,64	226,1 / 3,06
Quantidade de unidades reversíveis	4	8	4	4	12
Rotação Síncrona [rpm]	360,00	450,00	400,00	400,00	360,00
Diâmetro de referência da turbina	4,45	3,85	4,15	4,27	4,85
Elevação de referência da turbina-bomba	390,0	256,5	65,0	79,0	172,5

Fonte: Elaboração EPE

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Deve ser observado o caráter preliminar dos resultados apresentados, devido às considerações associadas à esta fase do estudo. Assim, o potencial e os locais mais favoráveis à implantação de UHR só poderão ser estabelecidos de forma definitiva após a conclusão dos Estudos de Inventário programados.

Entre os fatores que condicionam os resultados finais do Inventário e que serão contemplados nas fases seguintes, podem ser destacados:

- Os aspectos geológicos-geotécnicos locais são determinantes para o arranjo e características da usina e têm importância acentuada em projetos com obras subterrâneas significativas, como é o caso da maioria das UHR avaliadas. Estes aspectos irão determinar a concepção dos reservatórios e barramentos (incluindo o deplecionamento admissível e volume útil), a concepção do circuito hidráulico, dos túneis de acesso e auxiliares, as condições de fundação, os materiais, os métodos construtivos, o cronograma de implantação e os custos associados, permitindo desta forma uma comparação mais adequada das alternativas avaliadas;

- Informações cartográficas mais precisas devem ser utilizadas para uma definição mais adequada dos reservatórios e, portanto, da energia armazenada, barramentos e demais estruturas do aproveitamento, com reflexos na concepção da UHR, nas características operativas e custos associados;

- Os estudos hidrometeorológicos trarão subsídios para avaliação do primeiro enchimento da usina, para o dimensionamento de estruturas hidráulicas como o vertedouro e desvio do rio (reservatório inferior) e para uma avaliação mais detalhada das características operativas (como a estimativa das perdas por evaporação);

- Os custos e restrições relacionados à conexão e linhas de transmissão, bem como as necessidades elétricas locais do sistema, têm potencial para influenciar a hierarquização dos locais com condições mais favoráveis à implantação de UHR;

- Estudos socioambientais mais detalhados fornecerão um diagnóstico mais apropriado dos impactos locais associados a UHR, e auxiliarão a composição de custos, como aqueles relacionados a aquisição de terras, desapropriações, programas sociais e programas ambientais, previsão de outros usos da água, vazão remanescente, entre outros;

- As formas de avaliação dos benefícios de cada UHR e de remuneração, constituem fatores condicionantes das concepções e escolhas de projeto conforme relação custo-benefício e para a seleção dos "melhores" aproveitamentos de forma mais adequada, identificando aqueles que são mais atraentes para as necessidades do sistema.

- Tendo em vista o caráter preliminar da fase 1.1, foi considerado o critério de tempo de geração de 3 horas para todos os aproveitamentos, como uma primeira aproximação das características das usinas mais promissoras. Entretanto, este critério resultou, para o estado do Rio de Janeiro, em potências elevadas e circuitos hidráulicos de grande porte para as UHR com maior capacidade de armazenamento, e que não representarão necessariamente a melhor solução para um determinado local, com melhor relação custo-benefício.

  Assim, para as fases seguintes do Inventário (Fases 1.2 e 2) que envolvem estudos mais aprofundados de cada UHR, a luz de novas informações, cabe uma reavaliação/aperfeiçoamento das premissas e critérios de projeto no sentido de possibilitar a caracterização mais adequada de cada UHR selecionada.

Considerando as particularidades associadas às usinas hidrelétricas reversíveis, nota-se a ausência de normativos e procedimentos específicos destinados a Estudos de Inventário de UHR. Neste sentido, os estudos programados poderão fornecer subsídios para a elaboração de instrumentos que contenham a abrangência e forma de desenvolvimento de estudos futuros, para obtenção de resultados representativos, comparáveis e adequados aos objetivos a que se destinam.

Por fim, ressalta-se que o presente estudo não dá permissão ou autorização para implementação das usinas nos locais indicados.

6. REFERÊNCIAS

ANL – *Argonne National Laboratory*, *Pumped Storage Hydropower: Benefits for Grid Reliability and Integration of Variable Renewable Energy*, 2014. Disponível em: <http://www.ipd.anl.gov/anlpubs/2014/12/106380.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2018.

ARENA – Australian Renewable Energy Agency, Australian Government, An Atlas of Pumped Hydro Energy Storage, 2016. Disponível em: https://arena.gov.au/projects/atlas-pumped-hydro-energy-storage/. Acesso em: 2 mar. 2018.

CEDREN - Centre for Environmental Design of Renewable Energy, GIS mapping of PSH potential in Europe. Disponível em: < https://www.cedren.no/Portals/Cedren/Publications/2014_0617_Zinke_RERC2014_ArcGIS-project.pdf?ver=2016-01-19-152149-520>. Acesso em: 2 mar. 2018.

CESP, IPT, Inventário de usinas hidrelétricas reversíveis junto às serras geral e da Mantiqueira no Estado de São Paulo – Pré-inventário, Relatório n° 13.197, 1979.

CHAUDHRY, M. Hanif, *Applied Hydraulic Transients*, 3° ed., Springer Verlag NY, 2013.

EERA – *European Energy Research Alliance*, *Technological Developments for Pumped-Hydro Energy Storage, Joint Programme on Energy Storage, Mechanical Storage Subprograme,* 2014. Disponível em: <https://www.eera-set.eu/wp-content/uploads/Technological-Developments-for-Pumped-Hydro-Energy-Storage_EERA-report-2014.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2018.

ELETROBRÁS, CIARLINI, Usinas hidrelétricas reversíveis: levantamento do potencial – Região Sudeste, Espírito Santo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, 1987.

ELETROBRÁS, CIARLINI, Usinas hidrelétricas reversíveis: levantamento do potencial – Região Nordeste, Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe, 1988.

ELETROBRÁS, CIARLINI, Usinas hidrelétricas reversíveis: levantamento do potencial – Região Sul, Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina, 1988.

EPRI – *Electric Power Research Institute*, *Pumped-Storage Planning and Evaluation Guide*, 1990. Disponível em: <https://www.epri.com/#/pages/product/GS-6669/?lang=en-US>. Acesso em: 2 mar. 2018.

GORDON, J.L., *Vortices at intake structures*, *Water Power*, 1970.

IDEL'CIK, I.E., *Memento des Pertes de Charge*, Eyrolles, 1960.

IEC 60193, *International Electrotechnical Commission*, *Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines - Model acceptance tests*, 1999.

IEC 60041, *International Electrotechnical Commission*, *Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines*, 1991.

IHA – *International Hydropower Association*, *The world's water battery: Pumped hydropower storage and clean energy transition, Working Paper*, 2018. Disponível em <https://www.hydropower.org/publications/the-world%E2%80%99s-water-battery-pumped-hydropower-storage-and-the-clean-energy-transition>. Acesso em: 28 dez. 2018.

IWR – Institute for Water Resources, Department of the Army Corps of Engineers, An Assessment of Hydroelectric Pumped Storage, 1981. Disponível em: <www.iwr.usace.army.mil/portals/70/docs/iwrreports/iwr019-000001-000517.pdf>.Acesso em: 2 mar.2018.

JRC – *Joint Research Centre*, *Assessment of the European potential for pumped hydropower energy storage*, JRC Scientific and Policy Reports, 2013. Disponível em: <https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/jrc_20130503_assessment_european_phs_potential.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2018.

JRC – Joint Research Centre, SETIS expert workshop on the assessment of the potential of pumped hydropower storage, 2012. Disponível em: <https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/reports/SETIS-expert-workshop-assessment-potential-pumped-hydropower-storage.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2018.

KNIGHT PIÉSOLD LTD., Evaluation of Pumped Storage Hydroelectric Potential, 2010. Disponível em: <https://www.bchydro.com/content/dam/hydro/medialib/internet/documents/plan

ning_regulatory/iep_ltap/ror/appx_10a_pumped_storage_screening_assessment_report.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2018.

MIKHAILOV, I.E., POLIKARPOV, Yu. V., FINK A.K., Head-loss reduction in the water-intakes/outlets of pumped-storage tower (shaft)-type power plants, 1992.

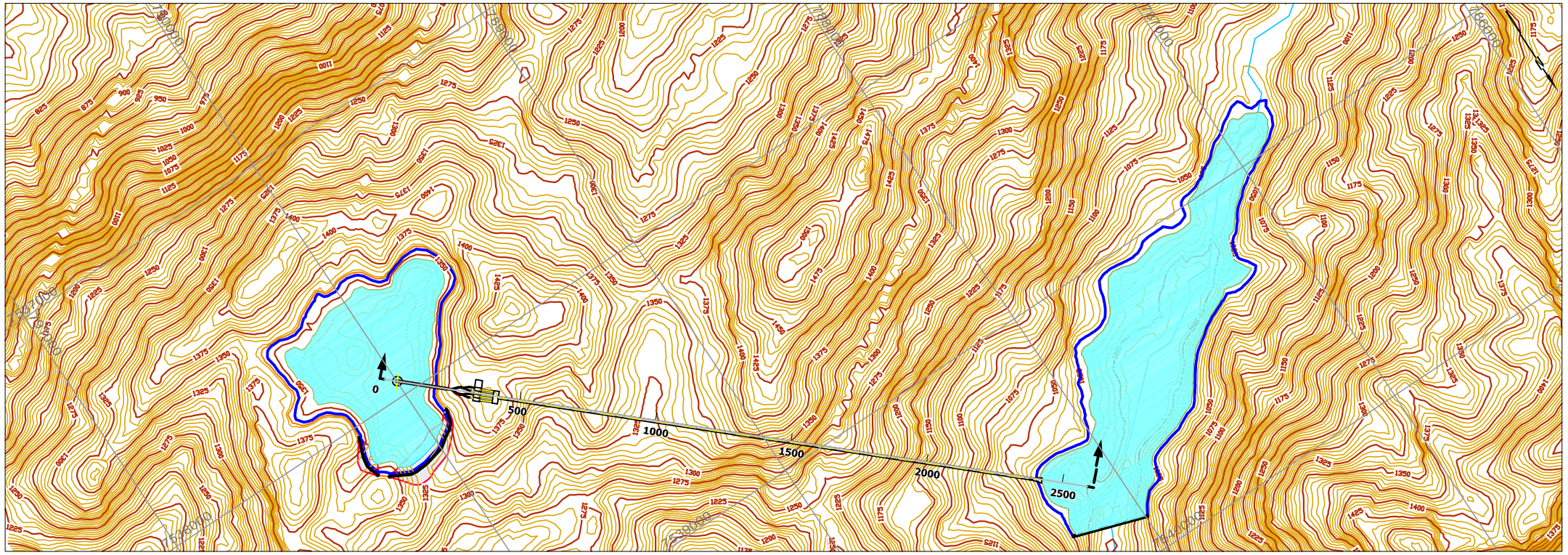
MME/EPE, Plano Decenal de Expansão de Energia 2027. Disponível em <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2027>. Acesso em 28 jan. 2018.

USBR – *United States Bureau of Reclamation*,_Estimating Reversible Pump-turbine Characteristics, Engineering Monograph n° 39, 1977. Disponível em< https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/hydraulics_lab/pubs/EM/EM39.pdf>. Acesso em 2 mar. 2018.

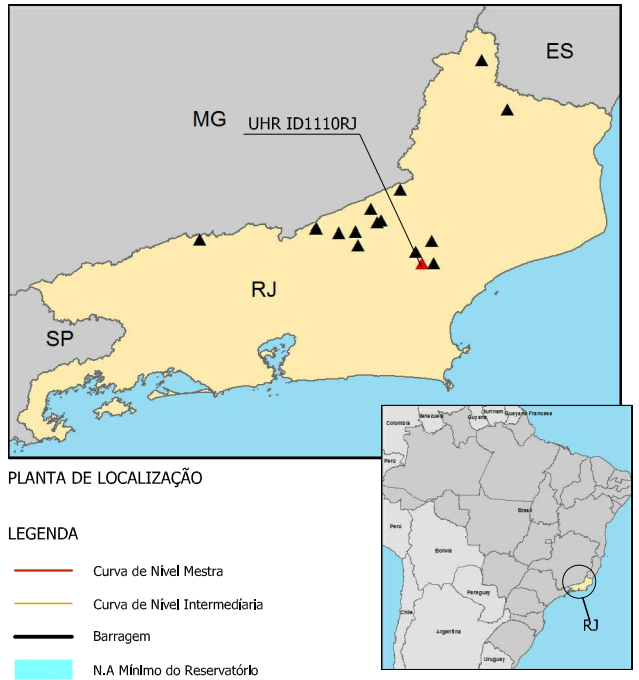
USBR – *United States Bureau of Reclamation*, *Hydraulic Design Criteria Vol.1 e Vol.2*, 1977. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a092237.pdf> e < www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a092238.pdf>. Acesso em 2 mar. 2018.

USBR – *United States Bureau of Reclamation*, *Intake Vortex Formation and Suppression at Hydropower Facilities*, 2016. Disponível em: < https://www.usbr.gov/research/publications/download_product.cfm?id=2494>. Acesso em: 2 mar. 2018.

ANEXOS – Desenhos



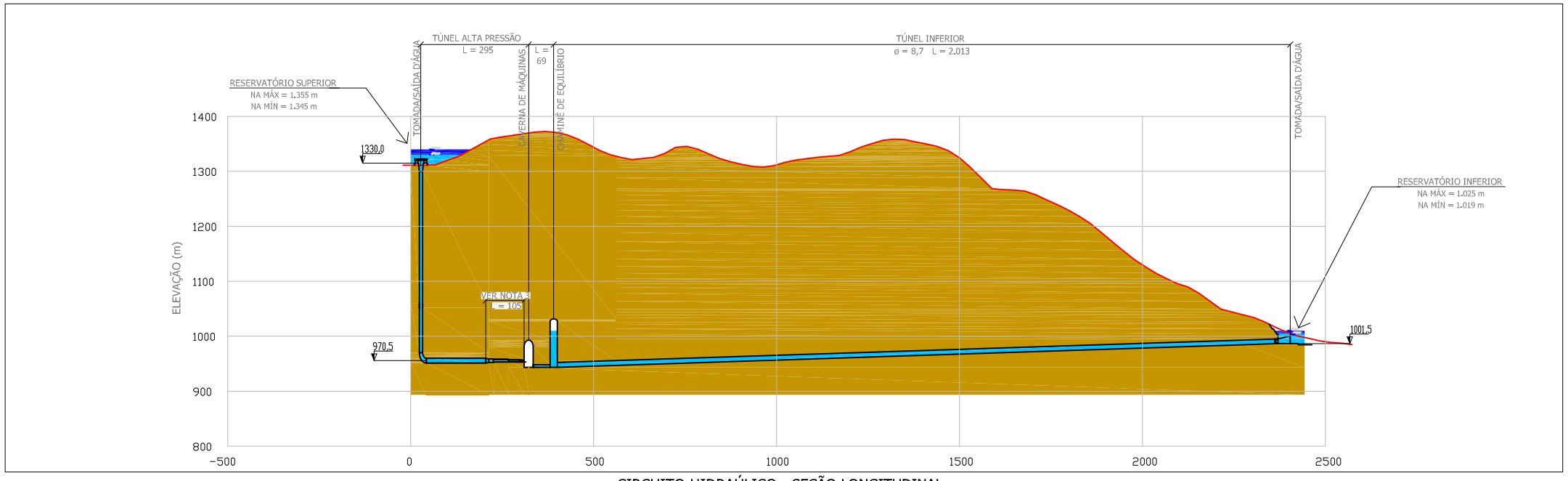
PLANTA GERAL
ESC. 1:20.000



PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

LEGENDA

- Curva de Nível Mestra
- Curva de Nível Intermediária
- Barragem
- N.A Mínimo do Reservatório
- N.A Máximo do Reservatório
- Usina Hidrelétrica Reversível (UHR) Pré-Dimensionada



CIRCUITO HIDRAÚLICO - SEÇÃO LONGITUDINAL
ESC. H= 1:15.000
V= 1:10.000

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	
CICLO	DIÁRIO
TEMPO DE GERAÇÃO/CICLO (h)	3
POTÊNCIA INSTALADA (MW)	737
QUANTIDADE DE UNIDADES REVERSÍVEIS	4
QUEDA BRUTA MÉDIA (m)	328,1
L/H	8,2

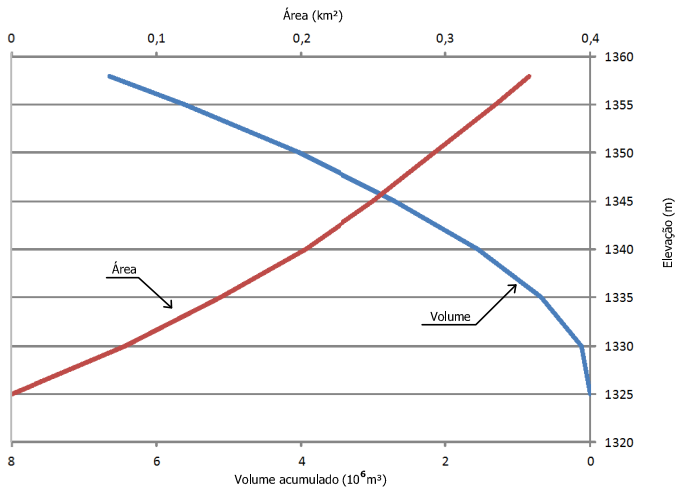
L = COMPRIMENTO DO CIRCUITO H = QUEDA

REFERÊNCIAS:

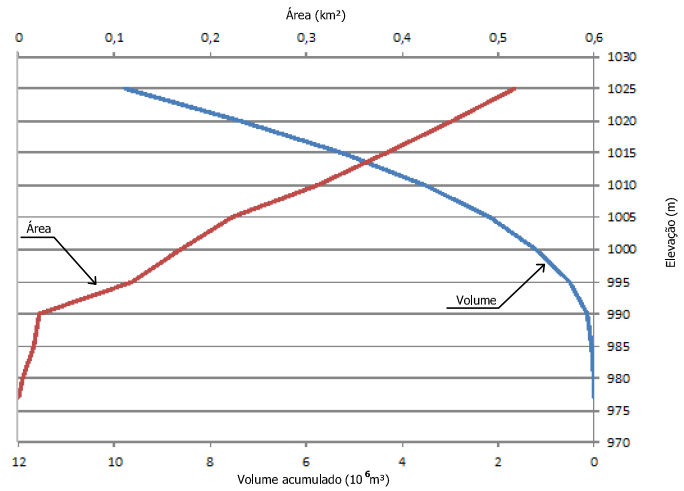
1. DADOS ALTIMÉTRICOS OBTIDOS A PARTIR DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO DO PROJETO RJ-25 DO IBGE COM PRECISÃO COMPÁTIVEL A ESCALA 1:25.000; SISTEMA GEODÉSICO: SIRGAS 2000; PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA: UTM 23S

NOTAS:

1. DISTÂNCIAS, DIMENSÕES E ELEVAÇÕES EM METROS, EXCETO QUANDO INDICADO
2. PARA SEÇÕES TÍPICAS DAS OBRAS VER DESENHO RRJ-I-00-000.0016-DE-R0
3. TRECHO BLINDADO (ø =3,3 a 6,6)



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO SUPERIOR



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO INFERIOR

0 250 500 1000 m
Escala Original 1:20.000

REV.	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES	ELAB.	APROV.	DATA
R0	APROVADO	FMG	MRT	11/02/2019

ESTUDOS DE INVENTÁRIO DE UHR
RIO DE JANEIRO
ESTUDOS PRELIMINARES

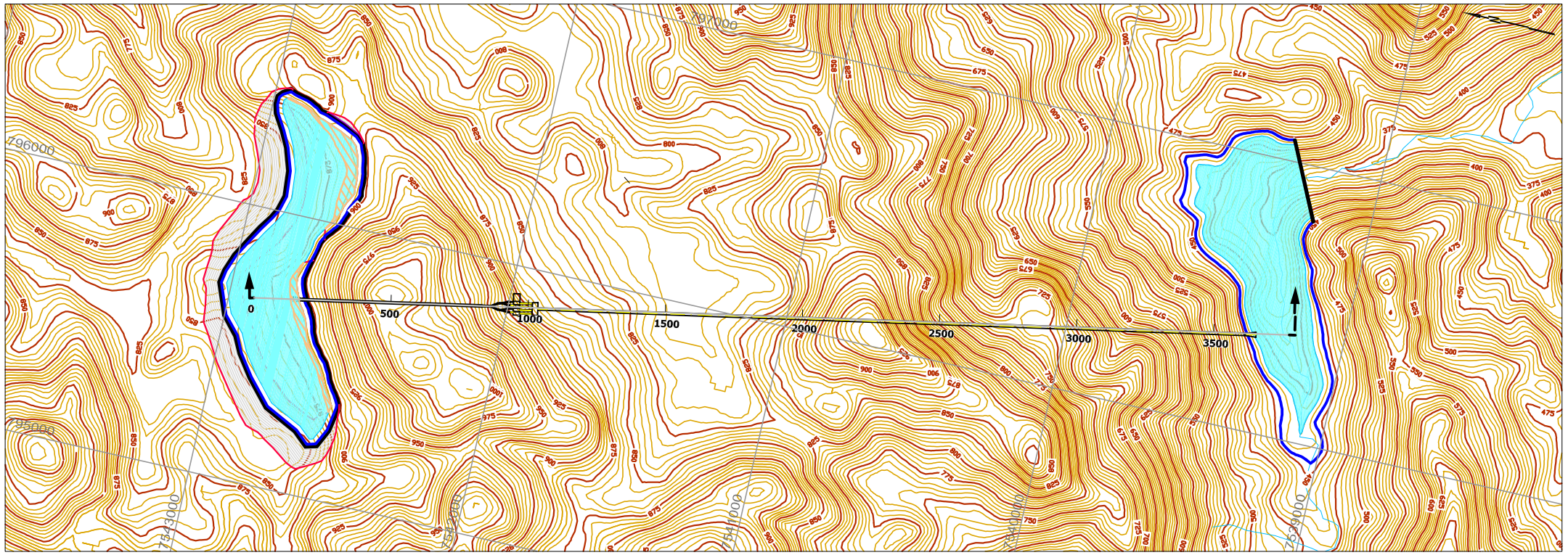
TÍTULO
UHR ID1110RJ
ARRANJO GERAL E CURVAS CARACTERÍSTICAS

ESCALA
INDICADA

DATA
11/02/2019

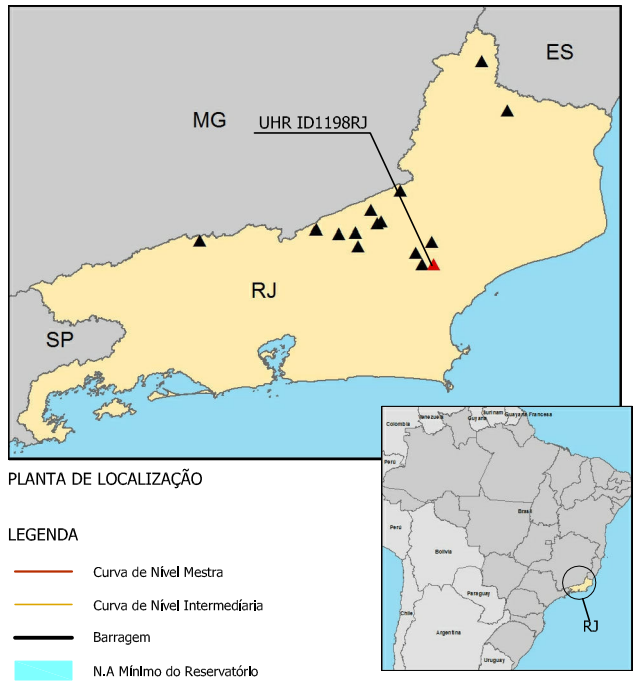
NOMENCLATURA EPE
RRJ-I-00-000.0001-DE-R0

EXECUÇÃO
epe
Empresa de Pesquisa Energética



PLANTA GERAL

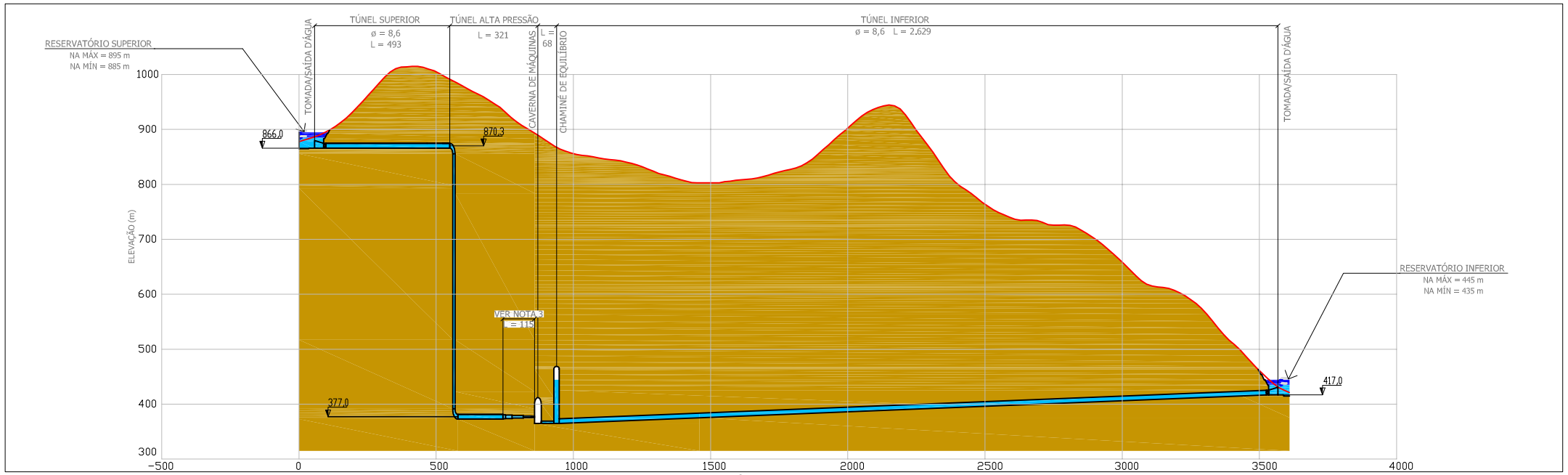
ESC. 1:20.000



PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

LEGENDA

- Curva de Nível Mestra
- Curva de Nível Intermediária
- Barragem
- N.A Mínimo do Reservatório
- N.A Máximo do Reservatório
- Escavação na elevação 885 m
- Usina Hidrelétrica Reversível (UHR) Pré-Dimensionada



CIRCUITO HIDRAÚLICO - SEÇÃO LONGITUDINAL

ESC. H= 1:20.000
V= 1:10.000

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	
CICLO	DIÁRIO
TEMPO DE GERAÇÃO/CICLO (h)	3
POTÊNCIA INSTALADA (MW)	988
QUANTIDADE DE UNIDADES REVERSÍVEIS	4
QUEDA BRUTA MÉDIA (m)	450,2
L/H	8,8

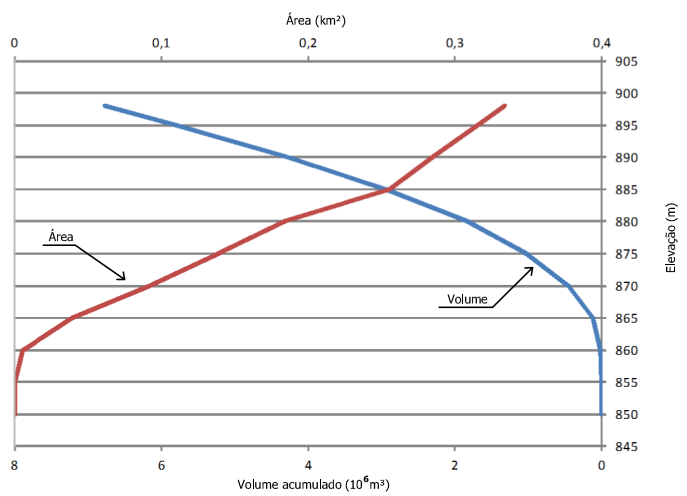
L = COMPRIMENTO DO CIRCUITO H = QUEDA

REFERÊNCIAS:

1. DADOS ALTIMÉTRICOS OBTIDOS A PARTIR DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO DO PROJETO RJ-25 DO IBGE COM PRECISÃO COMPÁTIVEL A ESCALA 1:25.000; SISTEMA GEODÉSICO: SIRGAS 2000; PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA: UTM 23S

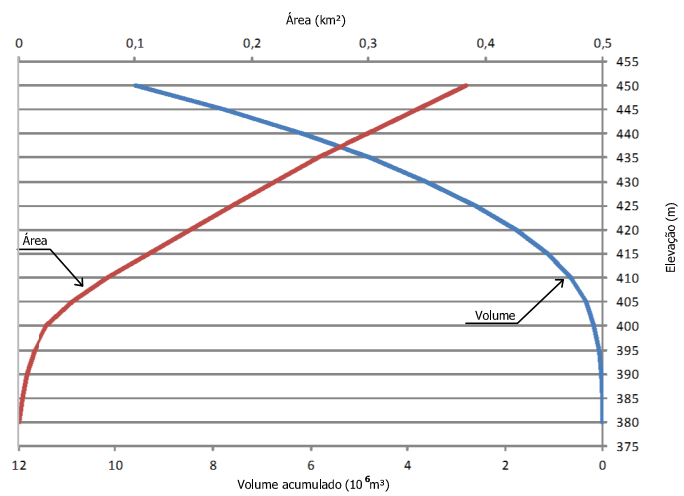
NOTAS:

1. DISTÂNCIAS, DIMENSÕES E ELEVAÇÕES EM METROS, EXCETO QUANDO INDICADO
2. PARA SEÇÕES TÍPICAS DAS OBRAS VER DESENHO RRJ-I-00-000.0016-DE-R0
3. TRECHO BLINDADO (ø = 3,2 a 6,3)



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME

RESERVATÓRIO SUPERIOR



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME

RESERVATÓRIO INFERIOR

0 250 500 1000 m

Escala Original 1:20.000

REV.	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES	ELAB.	APROV.	DATA
R0	APROVADO	FMG	MRT	11/02/2019

ESTUDOS DE INVENTÁRIO DE UHR

RIO DE JANEIRO

ESTUDOS PRELIMINARES

TITULO

UHR ID1198RJ

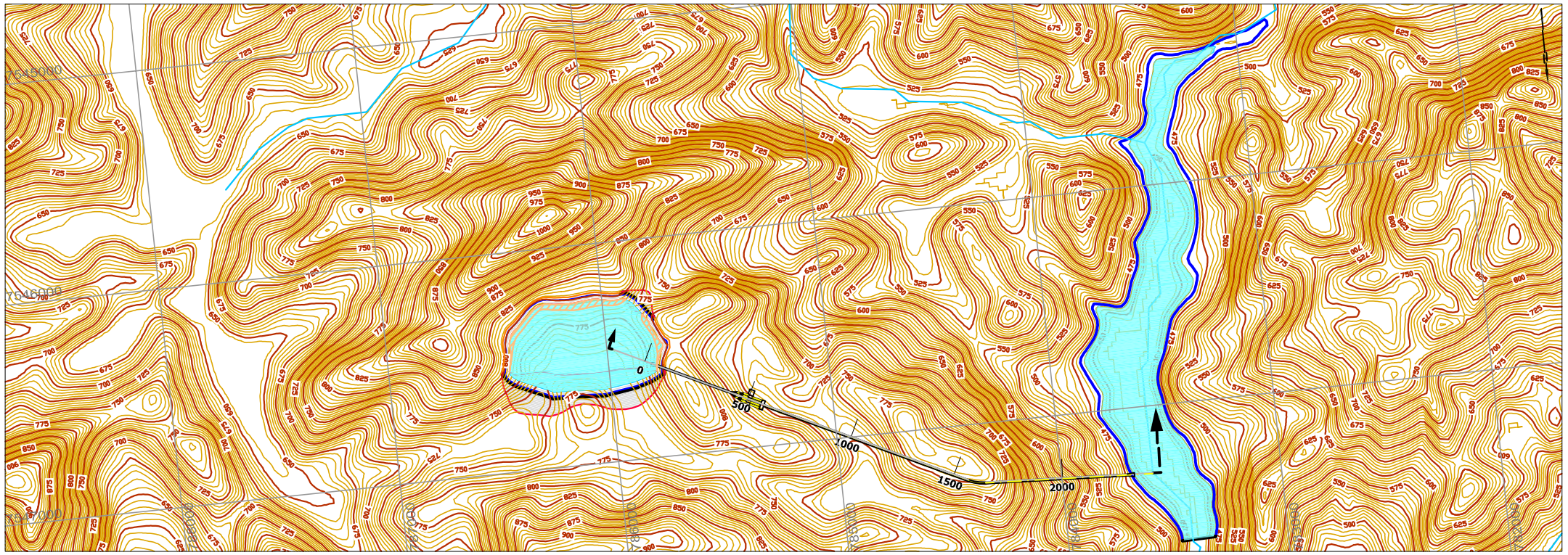
ARRANJO GERAL E CURVAS CARACTERÍSTICAS

ESCALA: INDICADA

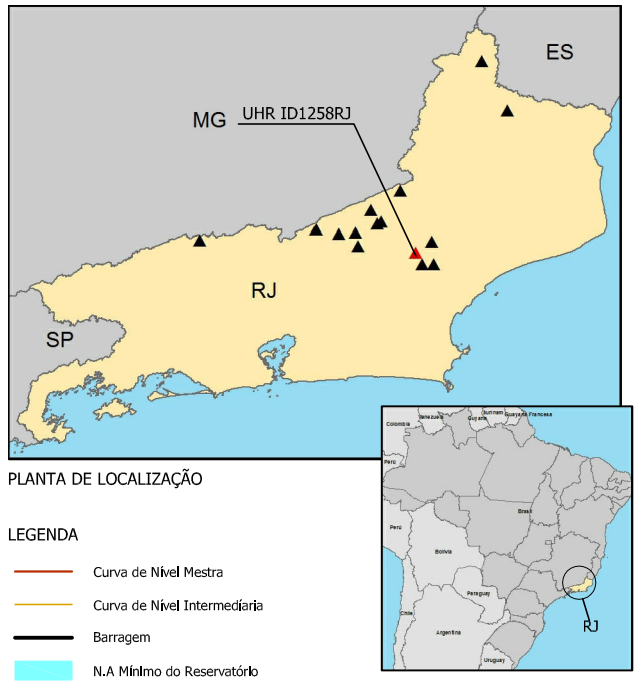
DATA: 11/02/2019

NOMENCLATURA EPE: RRJ-I-00-000.0002-DE-R0

EXECUÇÃO: epe Empresa de Pesquisa Energética



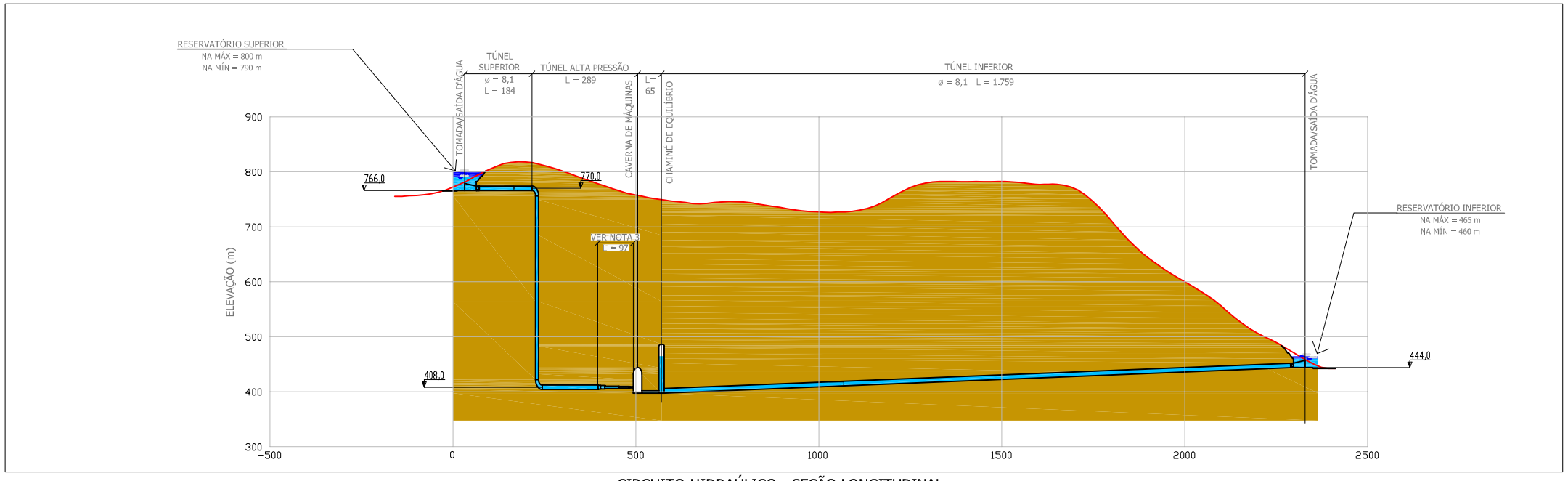
PLANTA GERAL
ESC. 1:25.000



PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

LEGENDA

- Curva de Nível Mestra
- Curva de Nível Intermediária
- Barragem
- N.A Mínimo do Reservatório
- N.A Máximo do Reservatório
- Escavação na elevação 790 m
- Usina Hidrelétrica Reversível (UHR) Pré-Dimensionada



CIRCUITO HIDRAÚLICO - SEÇÃO LONGITUDINAL
ESC. H= 1:15.000
V= 1:10.000

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	
CICLO	DIÁRIO
TEMPO DE GERAÇÃO/CICLO (h)	3
POTÊNCIA INSTALADA (MW)	656
QUANTIDADE DE UNIDADES REVERSÍVEIS	4
QUEDA BRUTA MÉDIA (m)	332,6
L/H	7,9

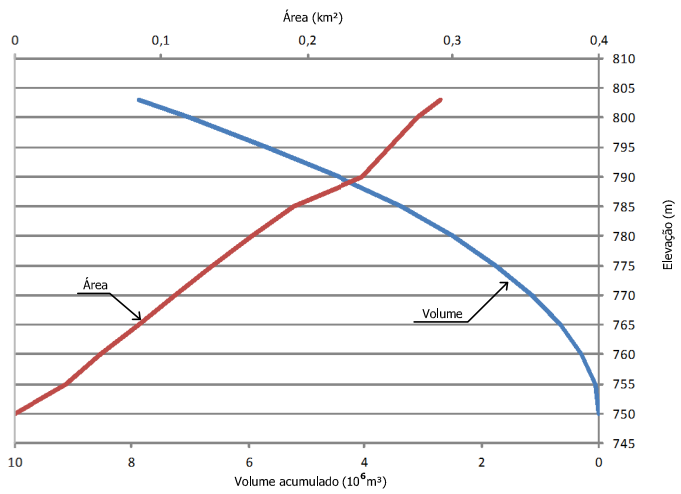
L = COMPRIMENTO DO CIRCUITO H = QUEDA

REFERÊNCIAS:

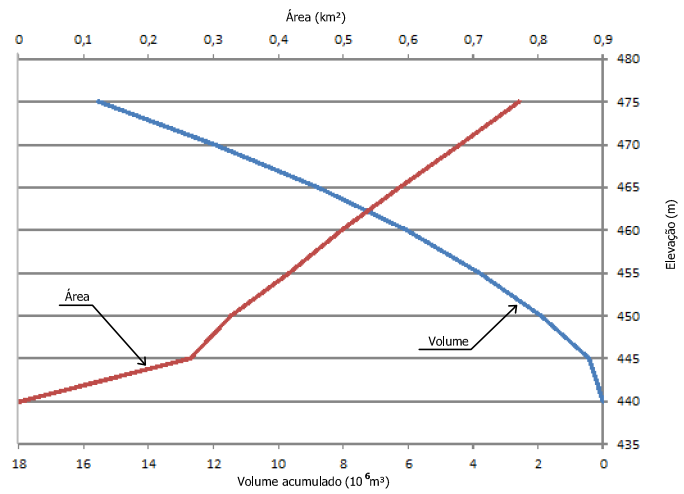
1. DADOS ALTIMÉTRICOS OBTIDOS A PARTIR DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO DO PROJETO RJ-25 DO IBGE COM PRECISÃO COMPÁTIVEL A ESCALA 1:25.000; SISTEMA GEODÉSICO: SIRGAS 2000; PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA: UTM 23S

NOTAS:

1. DISTÂNCIAS, DIMENSÕES E ELEVAÇÕES EM METROS, EXCETO QUANDO INDICADO
2. PARA SEÇÕES TÍPICAS DAS OBRAS VER DESENHO RRJ-I-00-000.0016-DE-R0
3. TRECHO BLINDADO (ø =3,1 a 6,2)



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO SUPERIOR



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO INFERIOR

0 500 1000 2000 m
Escala Original 1:25.000

REV.	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES	ELAB.	APROV.	DATA
R0	APROVADO	FMG	MRT	11/02/2019

MRT 11/02/2019

ESTUDOS DE INVENTÁRIO DE UHR
RIO DE JANEIRO
ESTUDOS PRELIMINARES

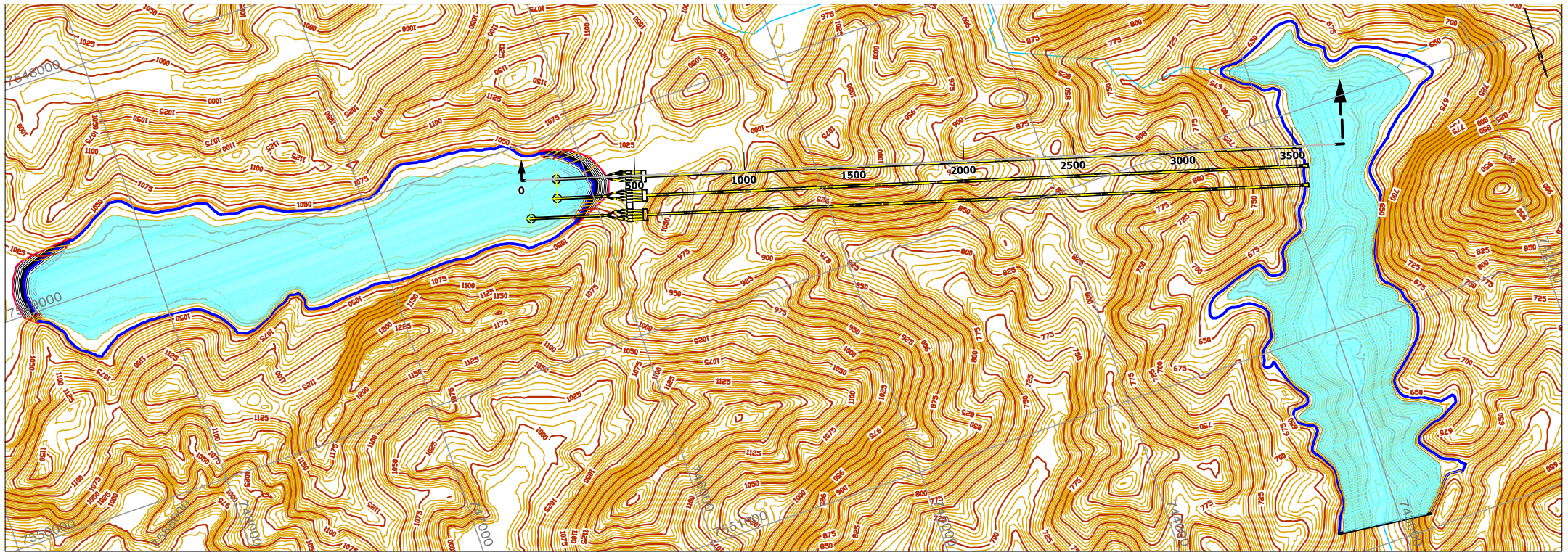
TÍTULO
UHR ID1258RJ
ARRANJO GERAL E CURVAS CARACTERÍSTICAS

ESCALA
INDICADA

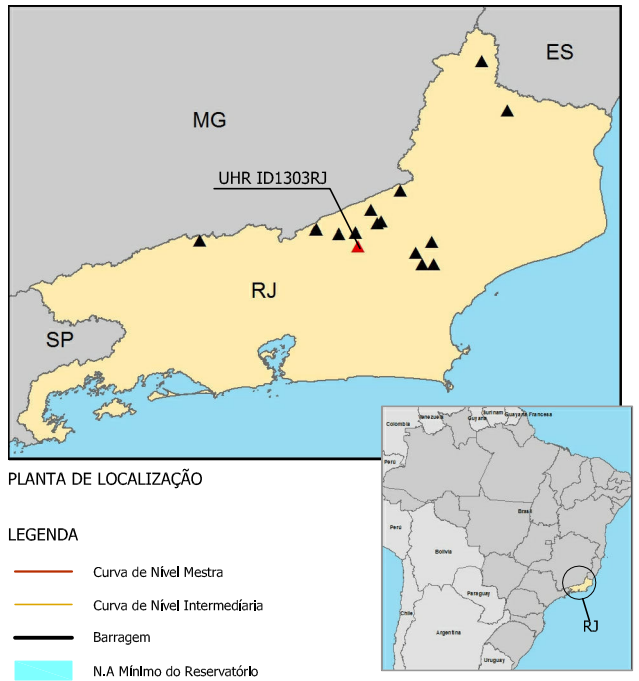
DATA
11/02/2019

NOMENCLATURA EPE
RRJ-I-00-000.0003-DE-R0

EXECUÇÃO
epe
Empresa de Pesquisa Energética



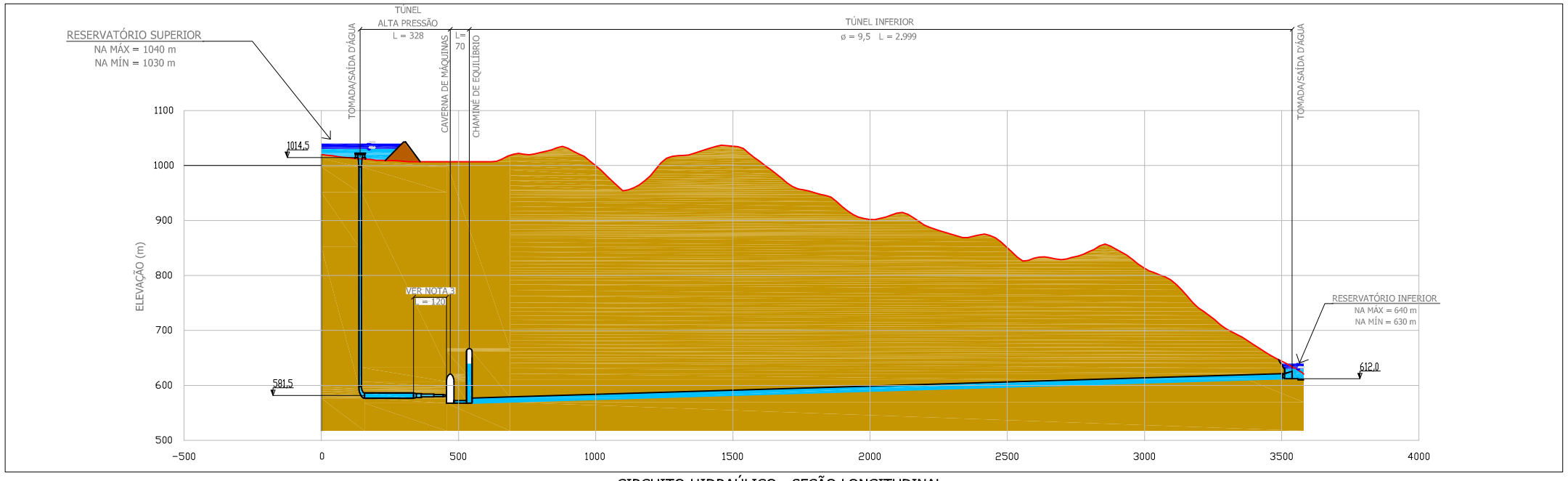
PLANTA GERAL
ESC. 1:25.000



PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

LEGENDA

- Curva de Nível Mestra
- Curva de Nível Intermediária
- Barragem
- N.A Mínimo do Reservatório
- N.A Máximo do Reservatório
- Usina Hidrelétrica Reversível (UHR) Pré-Dimensionada



CIRCUITO HIDRAÚLICO - SEÇÃO LONGITUDINAL
ESC. H= 1:20.000
V= 1:10.000

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	
CICLO	DIÁRIO
TEMPO DE GERAÇÃO/CICLO (h)	3
POTÊNCIA INSTALADA (MW)	3258
QUANTIDADE DE UNIDADES REVERSÍVEIS	12
QUEDA BRUTA MÉDIA (m)	400,2
L/H	9,8

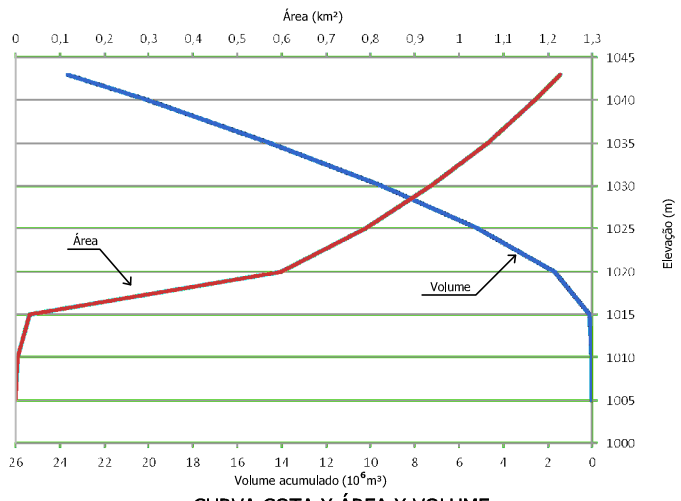
L = COMPRIMENTO DO CIRCUITO H = QUEDA

REFERÊNCIAS:

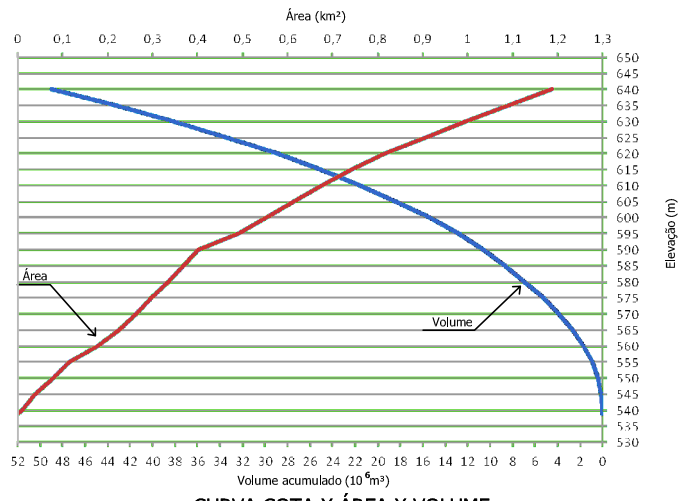
1. DADOS ALTIMÉTRICOS OBTIDOS A PARTIR DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO DO PROJETO RJ-25 DO IBGE COM PRECISÃO COMPÁTIVEL A ESCALA 1:25.000; SISTEMA GEODÉSICO: SIRGAS 2000; PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA: UTM 23S

NOTAS:

1. DISTÂNCIAS, DIMENSÕES E ELEVAÇÕES EM METROS, EXCETO QUANDO INDICADO
2. PARA SEÇÕES TÍPICAS DAS OBRAS VER DESENHO RRJ-I-00-000.0016-DE-R0
3. TRECHO BLINDADO (ø = 3,6 a 7,1)



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO SUPERIOR



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO INFERIOR

0 500 1000 2000 m
Escala Original 1:25.000

REV.	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES	ELAB.	APROV.	DATA
R0	APROVADO	FMG	MRT	11/02/2019

ESTUDOS DE INVENTÁRIO DE UHR
RIO DE JANEIRO
ESTUDOS PRELIMINARES

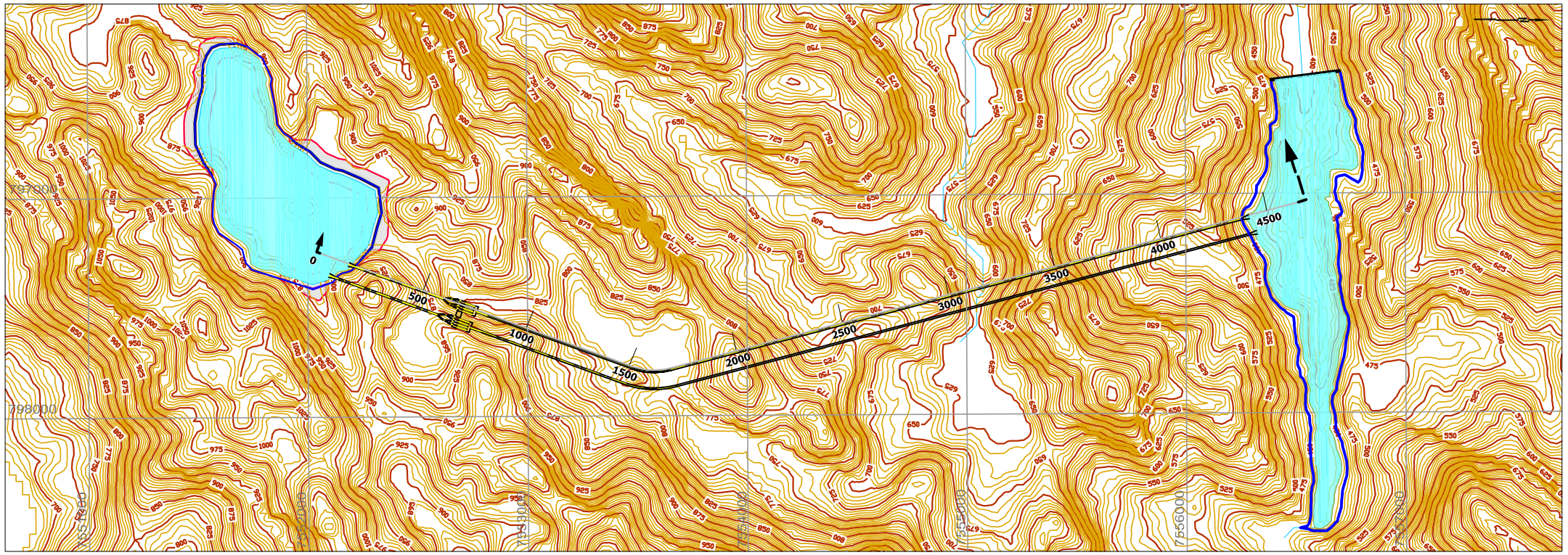
TÍTULO
UHR ID1303RJ
ARRANJO GERAL E CURVAS CARACTERÍSTICAS

ESCALA
INDICADA

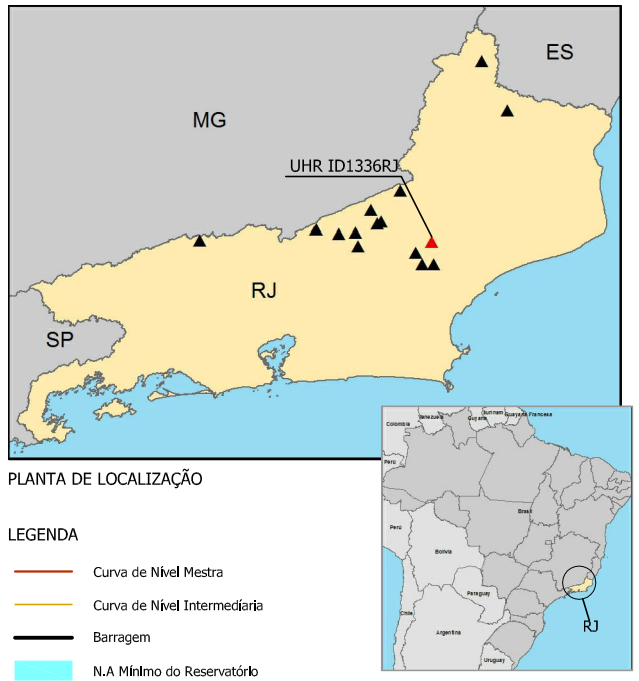
DATA
11/02/2019

NOMENCLATURA EPE
RRJ-I-00-000.0004-DE-R0

EXECUÇÃO
epe
Empresa de Pesquisa Energética



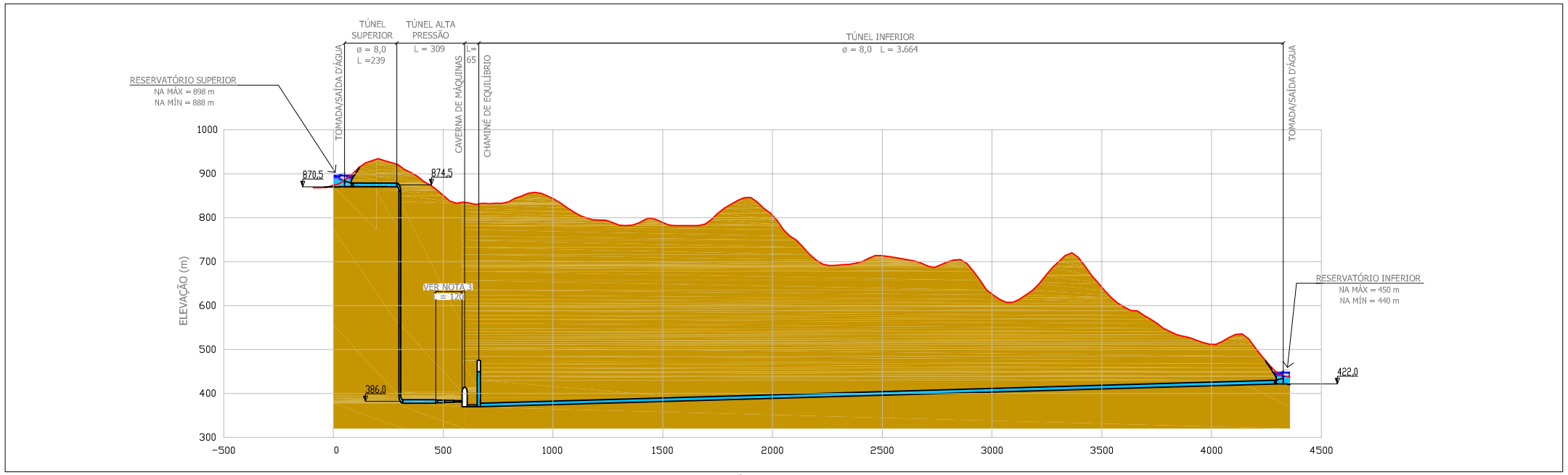
PLANTA GERAL
ESC. 1:25.000



PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

LEGENDA

- Curva de Nível Mestra
- Curva de Nível Intermediária
- Barragem
- N.A Mínimo do Reservatório
- N.A Máximo do Reservatório
- ▲ ▲ Usina Hidrelétrica Reversível (UHR) Pré-Dimensionada



CIRCUITO HIDRAÚLICO - SEÇÃO LONGITUDINAL
ESC. H= 1:25.000
V= 1:12.500

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	
CICLO	DIÁRIO
TEMPO DE GERAÇÃO/CICLO (h)	3
POTÊNCIA INSTALADA (MW)	1704
QUANTIDADE DE UNIDADES REVERSÍVEIS	8
QUEDA BRUTA MÉDIA (m)	448,1
L/H	10,8

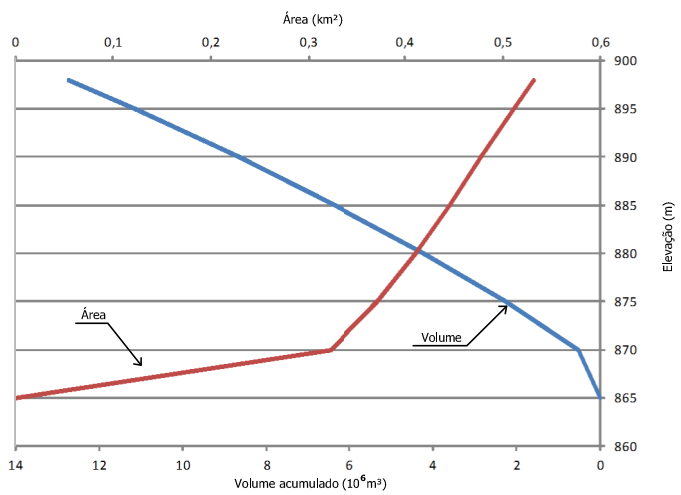
L = COMPRIMENTO DO CIRCUITO H = QUEDA

REFERÊNCIAS:

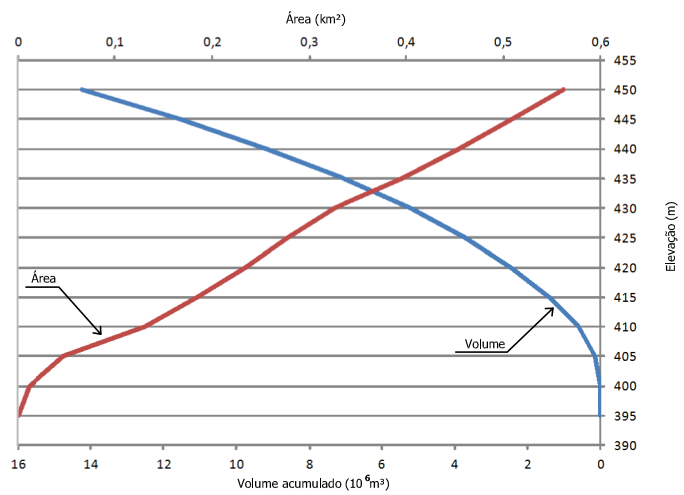
1. DADOS ALTIMÉTRICOS OBTIDOS A PARTIR DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO DO PROJETO RJ-25 DO IBGE COM PRECISÃO COMPÁTIVEL A ESCALA 1:25.000; SISTEMA GEODÉSICO: SIRGAS 2000; PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA: UTM 23S

NOTAS:

1. DISTÂNCIAS, DIMENSÕES E ELEVAÇÕES EM METROS, EXCETO QUANDO INDICADO
2. PARA SEÇÕES TÍPICAS DAS OBRAS VER DESENHO RRJ-I-00-000.0016-DE-R0
3. TRECHO BLINDADO (ø = 2,9 a 5,9)



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO SUPERIOR



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO INFERIOR

0 500 1000 2000 m
Escala Original 1:25.000

REV.	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES	ELAB.	APROV.	DATA
R0	APROVADO	FMG	MRT	11/02/2019

ESTUDOS DE INVENTÁRIO DE UHR
RIO DE JANEIRO
ESTUDOS PRELIMINARES

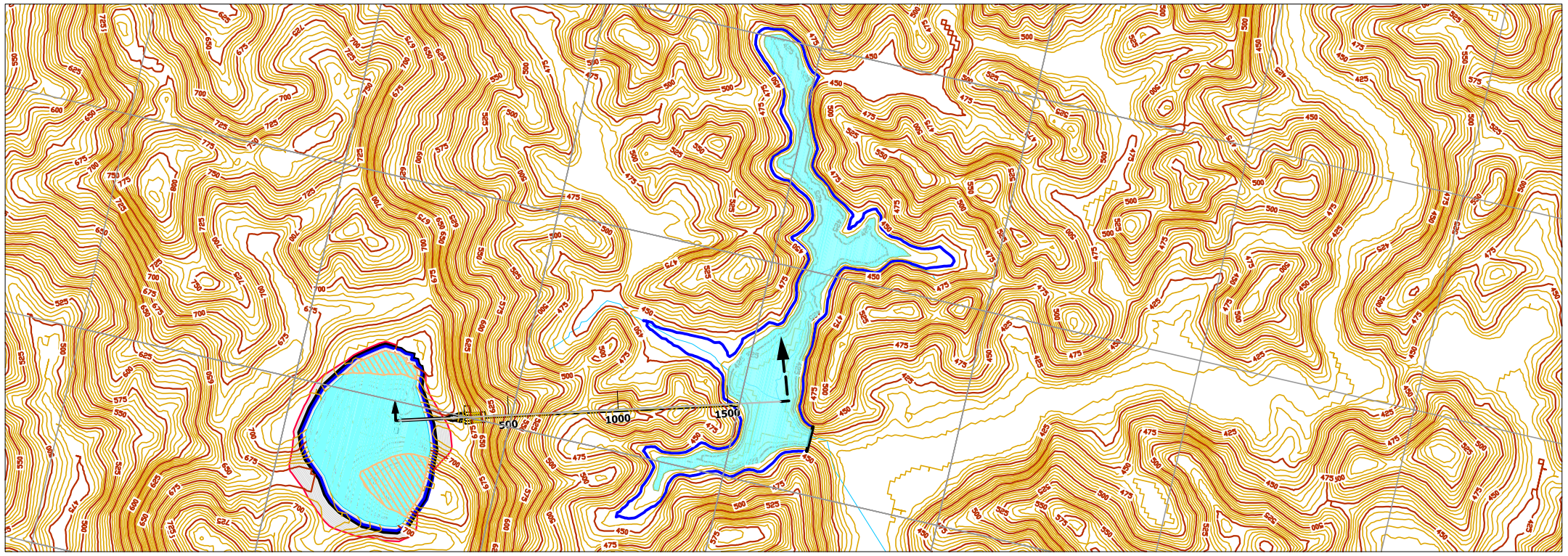
TITULO
UHR ID1336RJ
ARRANJO GERAL E CURVAS CARACTERÍSTICAS

ESCALA
INDICADA

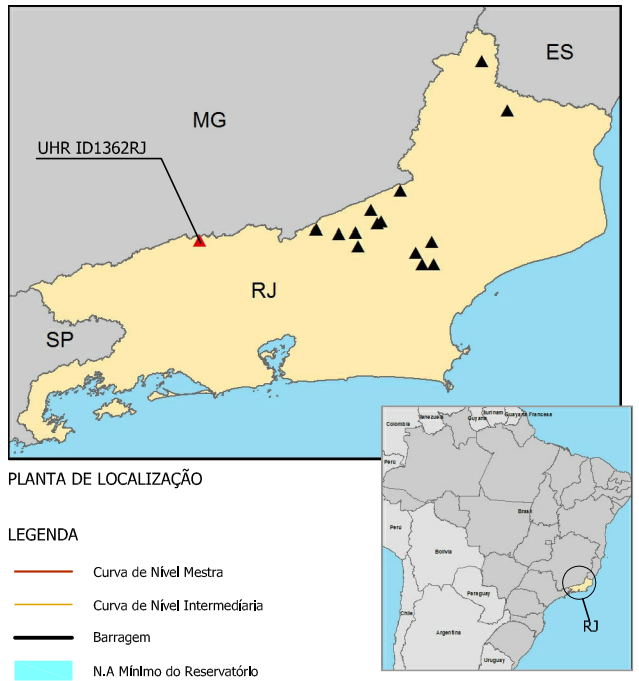
DATA
11/02/2019

NOMENCLATURA EPE
RRJ-I-00-000.0005-DE-R0

EXECUÇÃO
epe
Empresa de Pesquisa Energética



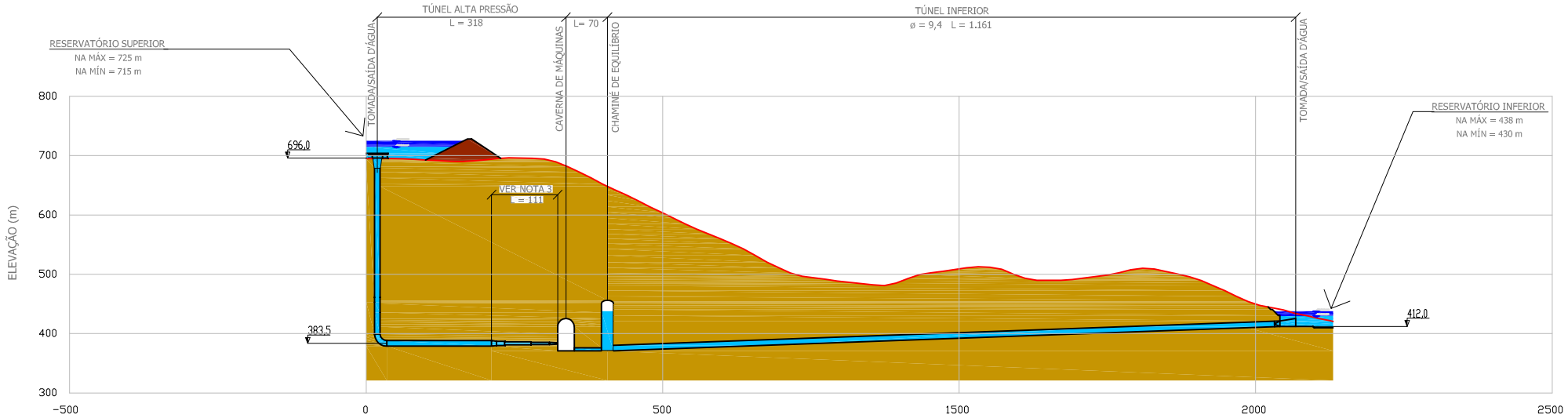
PLANTA GERAL
ESC. 1:25.000



PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

LEGENDA

- Curva de Nível Mestra
- Curva de Nível Intermediária
- Barragem
- N.A Mínimo do Reservatório
- N.A Máximo do Reservatório
- Escavação na elevação 715 m
- Usina Hidrelétrica Reversível (UHR) Pré-Dimensionada



CIRCUITO HIDRAÚLICO - SEÇÃO LONGITUDINAL
ESC. H= 1:10.000
V= 1:10.000

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	
CICLO	DIÁRIO
TEMPO DE GERAÇÃO/CICLO (h)	3
POTÊNCIA INSTALADA (MW)	761
QUANTIDADE DE UNIDADES REVERSÍVEIS	4
QUEDA BRUTA MÉDIA (m)	286,2
L/H	6,3

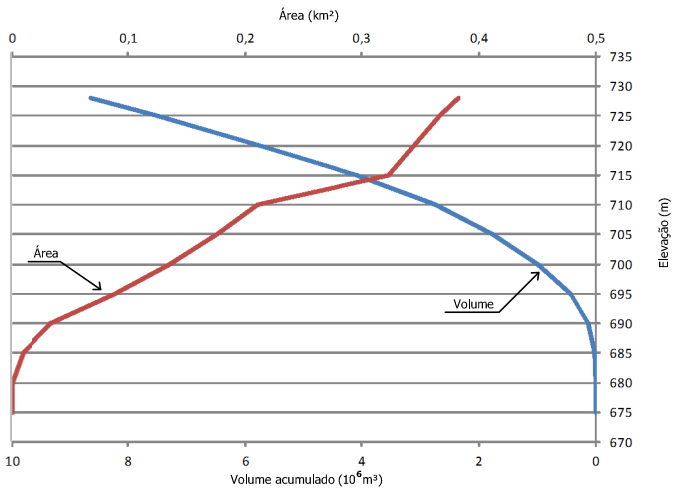
L = COMPRIMENTO DO CIRCUITO H = QUEDA

REFERÊNCIAS:

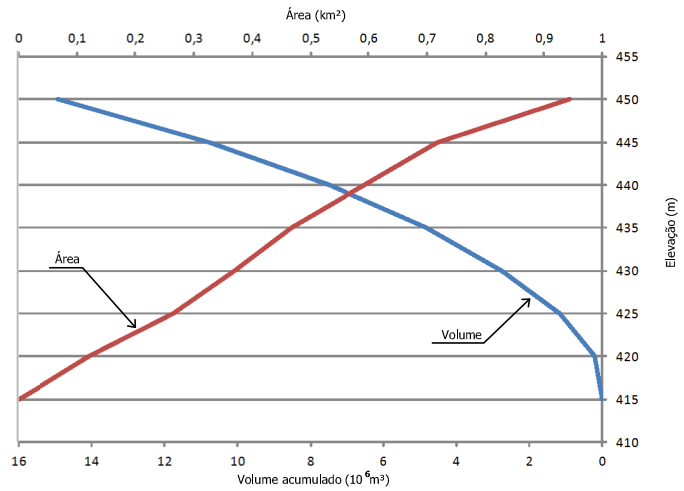
1. DADOS ALTIMÉTRICOS OBTIDOS A PARTIR DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO DO PROJETO RJ-25 DO IBGE COM PRECISÃO COMPÁTIVEL A ESCALA 1:25.000; SISTEMA GEODÉSICO: SIRGAS 2000; PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA: UTM 23S

NOTAS:

1. DISTÂNCIAS, DIMENSÕES E ELEVAÇÕES EM METROS, EXCETO QUANDO INDICADO
2. PARA SEÇÕES TÍPICAS DAS OBRAS VER DESENHO RRJ-I-00-000.0016-DE-R0
3. TRECHO BLINDADO (ø = 3,7 a 7,4)



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO SUPERIOR



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO INFERIOR

0 500 1000 2000 m
Escala Original 1:25.000

REV.	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES	ELAB.	APROV.	DATA
R0	APROVADO	FMG	MRT	11/02/2019

MRT 11/02/2019

ESTUDOS DE INVENTÁRIO DE UHR
RIO DE JANEIRO
ESTUDOS PRELIMINARES

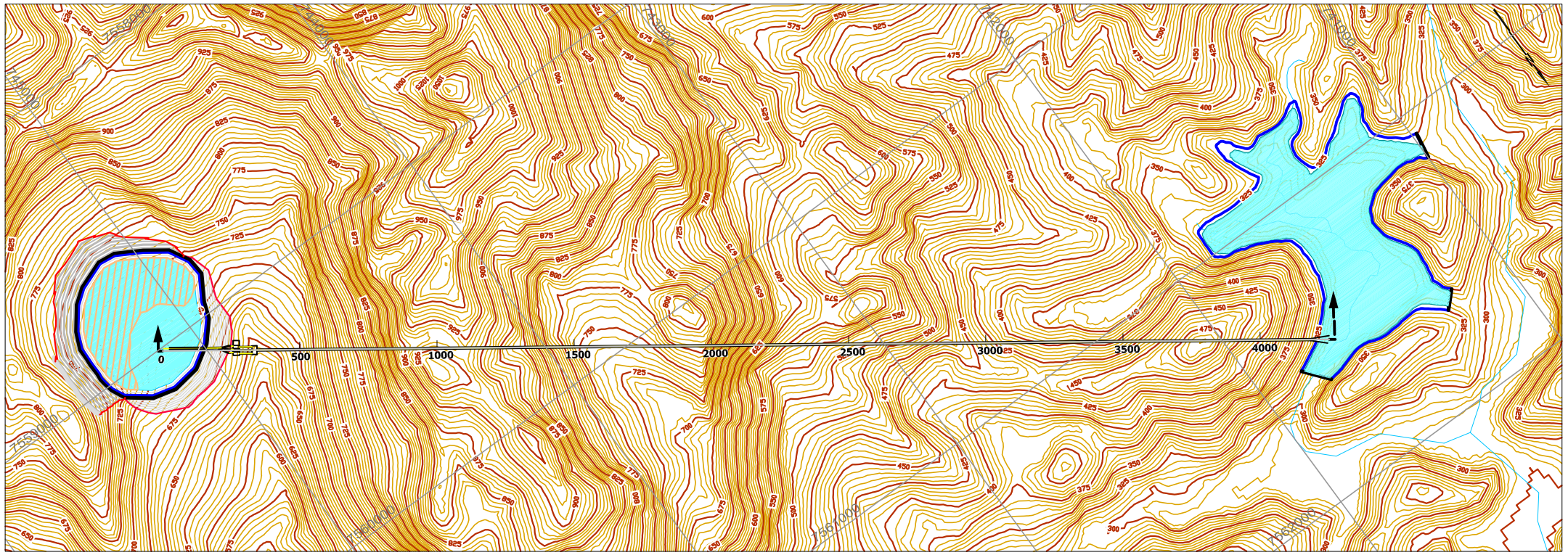
TÍTULO
UHR ID1362RJ
ARRANJO GERAL E CURVAS CARACTERÍSTICAS

ESCALA
INDICADA

DATA
11/02/2019

NOMENCLATURA EPE
RRJ-I-00-000.0006-DE-R0

EXECUÇÃO
epe
Empresa de Pesquisa Energética

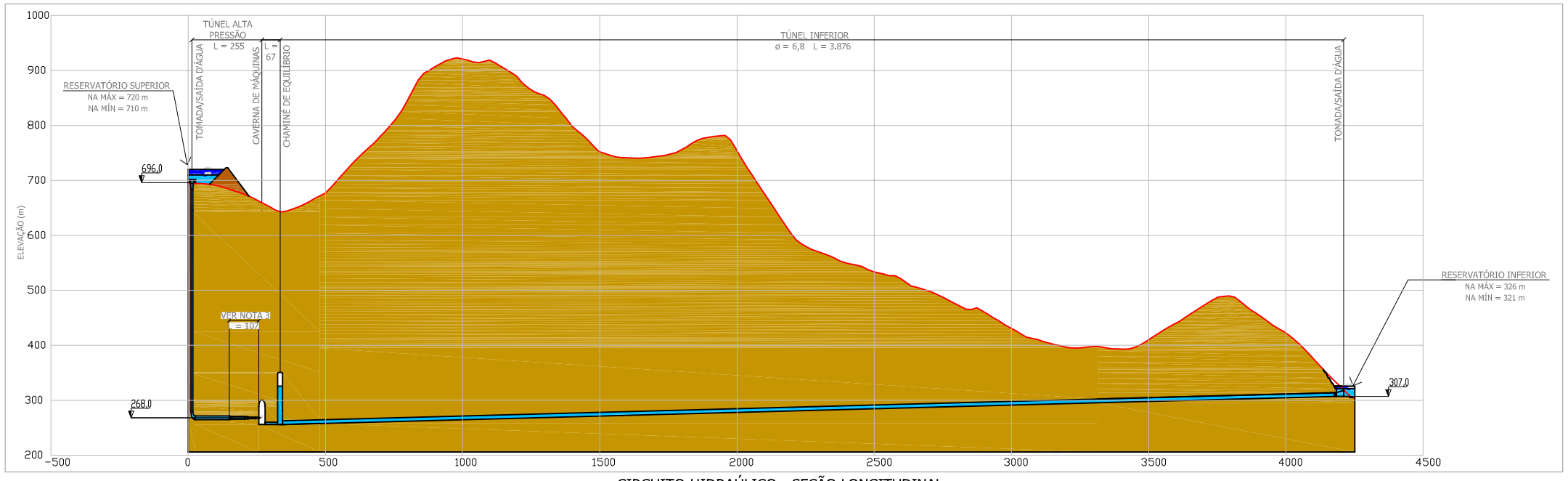


PLANTA GERAL
ESC. 1:20.000

PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

LEGENDA

- Curva de Nível Mestra
- Curva de Nível Intermediária
- Contenção
- Barragem
- N.A Mínimo do Reservatório
- N.A Máximo do Reservatório
- Escavação na elevação 710 m
- Usina Hidrelétrica Reversível (UHR) Pré-Dimensionada



CIRCUITO HIDRAÚLICO - SEÇÃO LONGITUDINAL
ESC. H= 1:20.000
V= 1:10.000

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	
CICLO	DIÁRIO
TEMPO DE GERAÇÃO/CICLO (h)	3
POTÊNCIA INSTALADA (MW)	542
QUANTIDADE DE UNIDADES REVERSÍVEIS	3
QUEDA BRUTA MÉDIA (m)	391,7
L/H	11,6

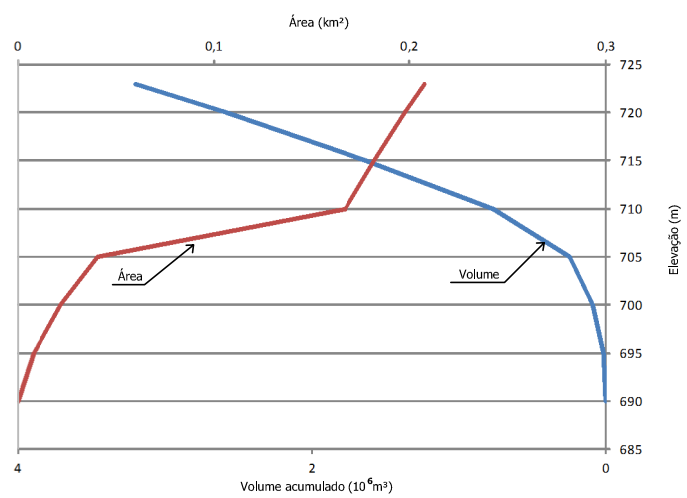
L = COMPRIMENTO DO CIRCUITO H = QUEDA

REFERÊNCIAS:

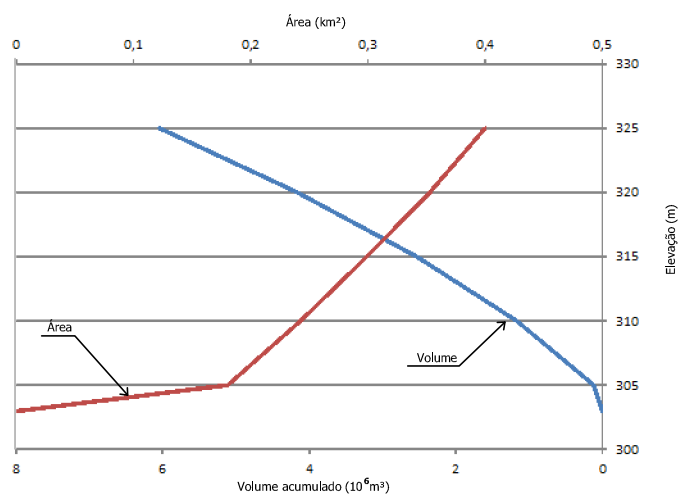
1. DADOS ALTIMÉTRICOS OBTIDOS A PARTIR DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO DO PROJETO RJ-25 DO IBGE COM PRECISÃO COMPÁTIVEL A ESCALA 1:25.000; SISTEMA GEODÉSICO: SIRGAS 2000; PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA: UTM 23S

NOTAS:

1. DISTÂNCIAS, DIMENSÕES E ELEVAÇÕES EM METROS, EXCETO QUANDO INDICADO
2. PARA SEÇÕES TÍPICAS DAS OBRAS VER DESENHO RRJ-I-00-000.0016-DE-R0
3. TRECHO BLINDADO (ø = 3,0 a 5,1)



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO SUPERIOR



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO INFERIOR

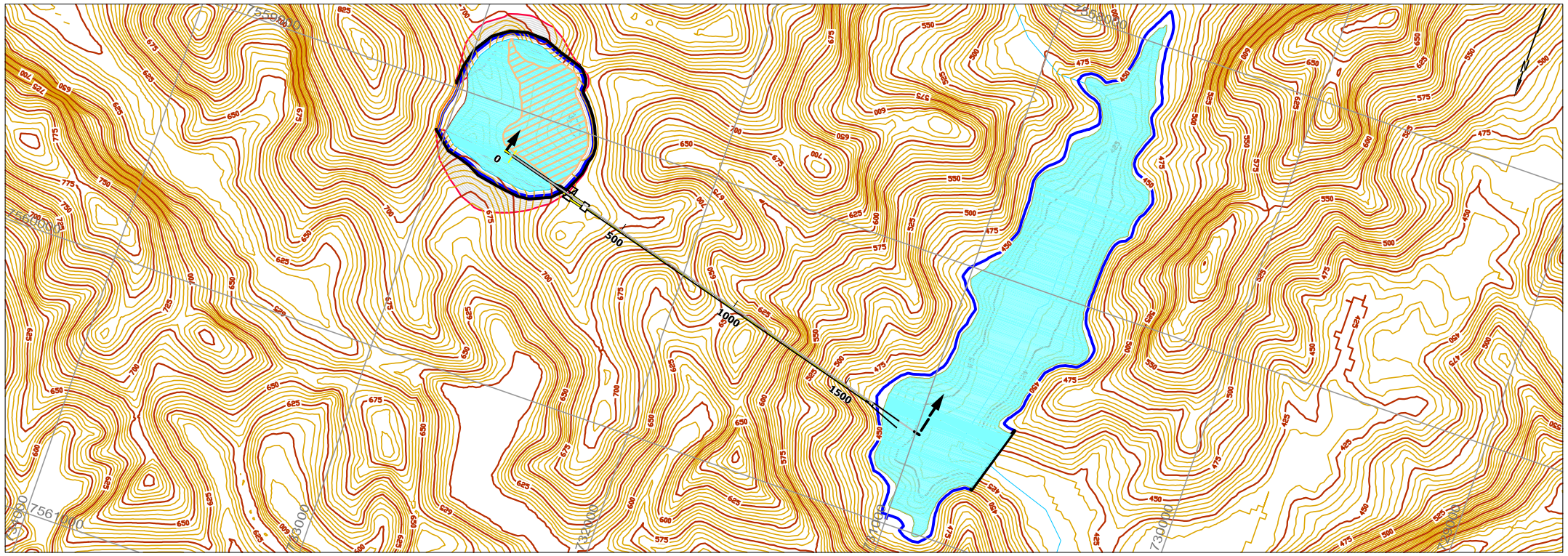
0 250 500 1000 m
Escala Original 1:20.000

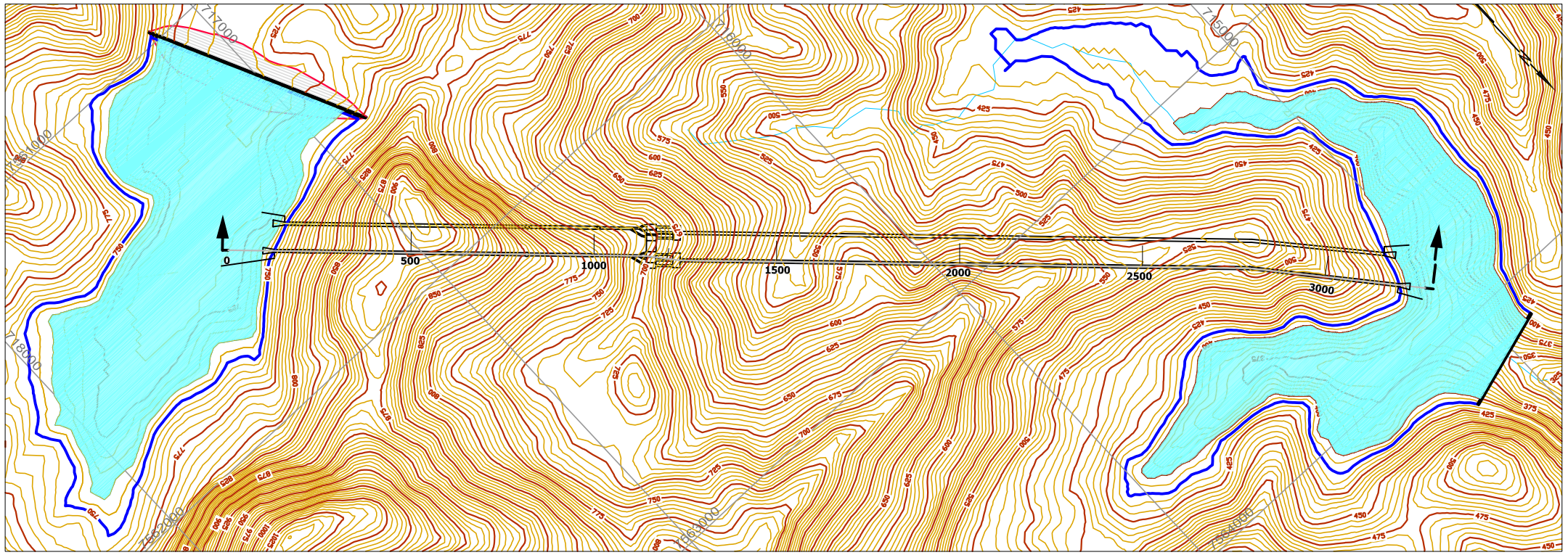
REV.	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES	ELAB.	APROV.	DATA
R0	APROVADO	FMG	MRT	11/02/2019

ESTUDOS DE INVENTÁRIO DE UHR
RIO DE JANEIRO
ESTUDOS PRELIMINARES

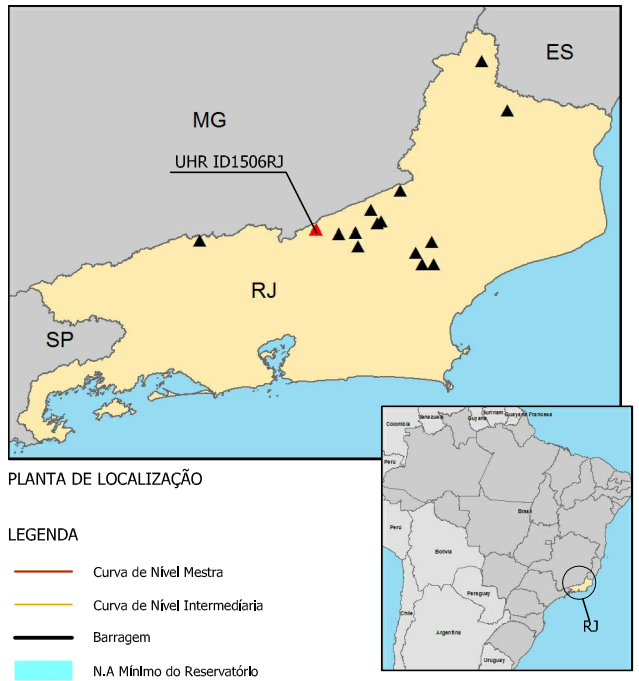
TÍTULO
UHR ID1445RJ
ARRANJO GERAL E CURVAS CARACTERÍSTICAS

ESCALA: INDICADA
DATA: 11/02/2019
NOMENCLATURA EPE: RRJ-I-00-000.0007-DE-R0
EXECUÇÃO: epe Empresa de Pesquisa Energética


0
500
1000
1500
7560000
7561000
7562000
7563000
7564000
7565000
7566000
7567000
7568000
7569000
7570000
7571000
7572000
7573000
7574000
7575000
7576000
7577000
7578000
7579000
7580000
7581000
7582000
7583000
7584000
7585000
7586000
7587000
7588000
7589000
7590000
7591000
7592000
7593000
7594000
7595000
7596000
7597000
7598000
7599000



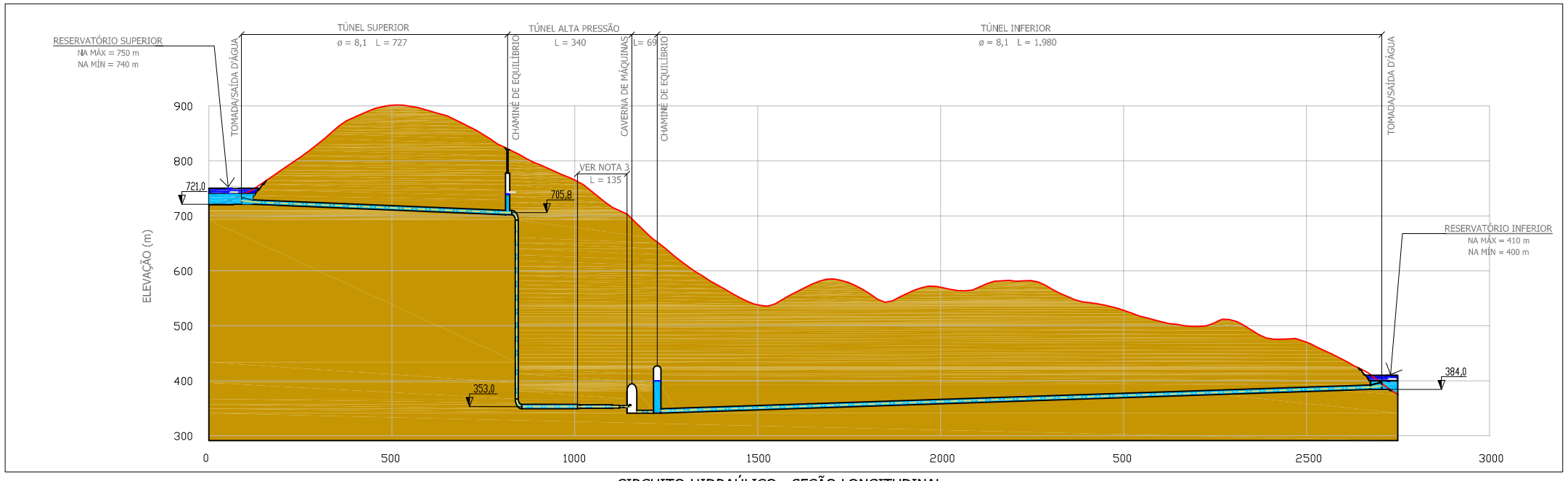
PLANTA GERAL
ESC. 1:15.000



PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

LEGENDA

- Curva de Nível Mestra
- Curva de Nível Intermediária
- Barragem
- N.A Mínimo do Reservatório
- N.A Máximo do Reservatório
- Usina Hidrelétrica Reversível (UHR) Pré-Dimensionada



CIRCUITO HIDRAÚLICO - SEÇÃO LONGITUDINAL
ESC. H= 1:15.000
V= 1:10.000

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	
CICLO	DIÁRIO
TEMPO DE GERAÇÃO/CICLO (h)	3
POTÊNCIA INSTALADA (MW)	1.321
QUANTIDADE DE UNIDADES REVERSÍVEIS	6
QUEDA BRUTA MÉDIA (m)	340
L/H	10,1

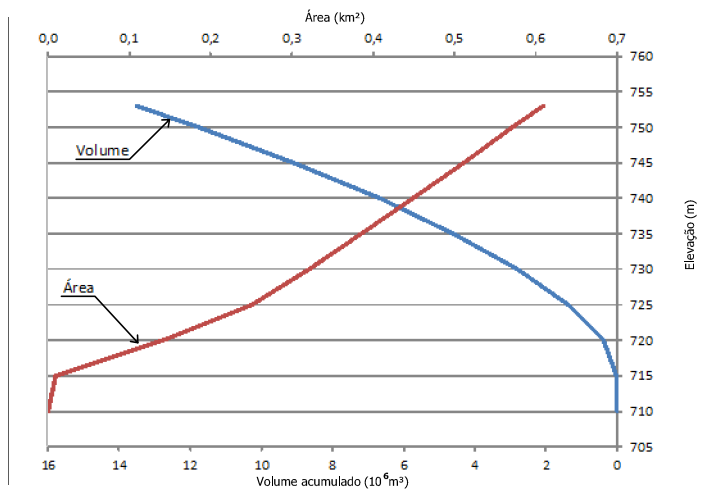
L = COMPRIMENTO DO CIRCUITO H = QUEDA

REFERÊNCIAS:

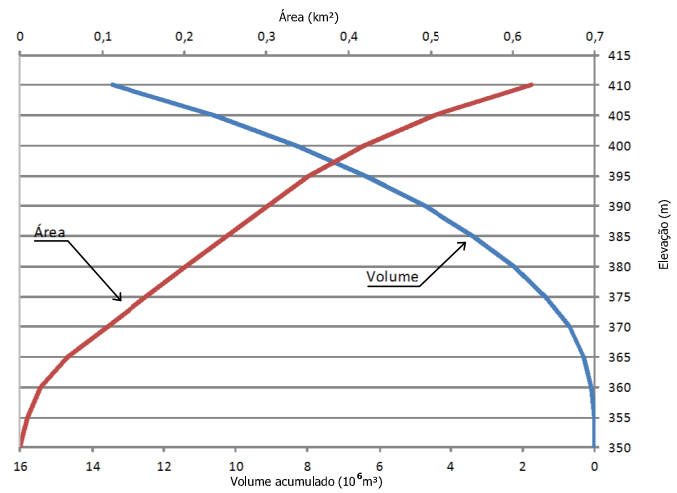
1. DADOS ALTIMÉTRICOS OBTIDOS A PARTIR DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO DO PROJETO RJ-25 DO IBGE COM PRECISÃO COMPÁTIVEL A ESCALA 1:25.000; SISTEMA GEODÉSICO: SIRGAS 2000; PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA: UTM 23S

NOTAS:

1. DISTÂNCIAS, DIMENSÕES E ELEVAÇÕES EM METROS, EXCETO QUANDO INDICADO
2. PARA SEÇÕES TÍPICAS DAS OBRAS VER DESENHO RRJ-I-00-000.0016-DE-R0
3. TRECHO BLINDADO (ø = 3,5 a 6,1)



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO SUPERIOR



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO INFERIOR

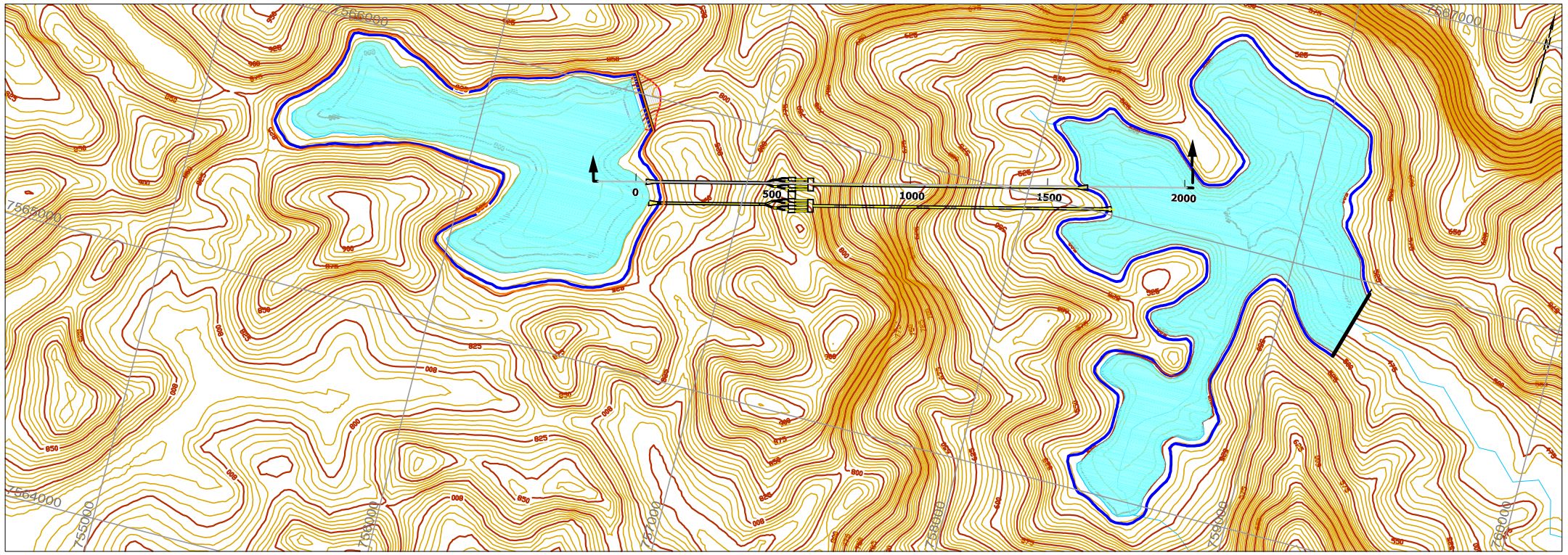
0 250 500 1000 m
Escala Original 1:15.000

REV.	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES	ELAB.	APROV.	DATA
R0	APROVADO	FMG	MRT	11/02/2019

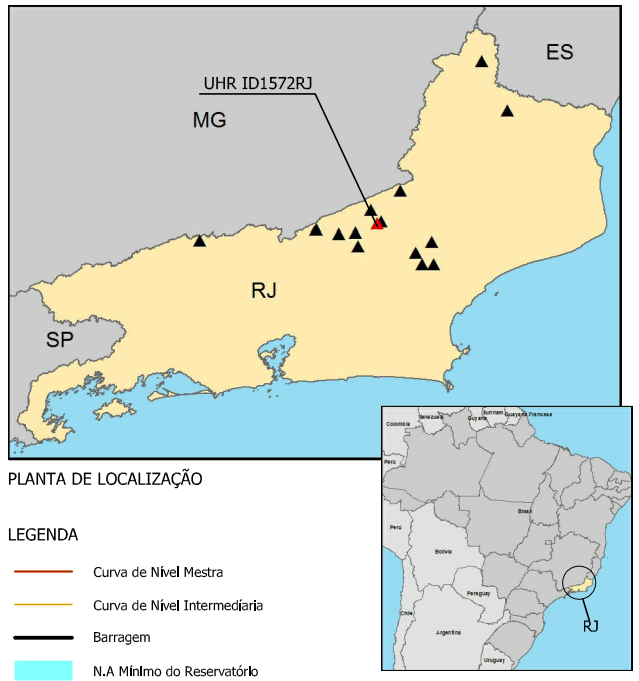
ESTUDOS DE INVENTÁRIO DE UHR
RIO DE JANEIRO
ESTUDOS PRELIMINARES

TÍTULO
UHR ID1506RJ
ARRANJO GERAL E CURVAS CARACTERÍSTICAS

ESCALA: INDICADA
DATA: 11/02/2019
NOMENCLATURA EPE: RRJ-I-00-000.0009-DE-R0
EXECUÇÃO: epe Empresa de Pesquisa Energética



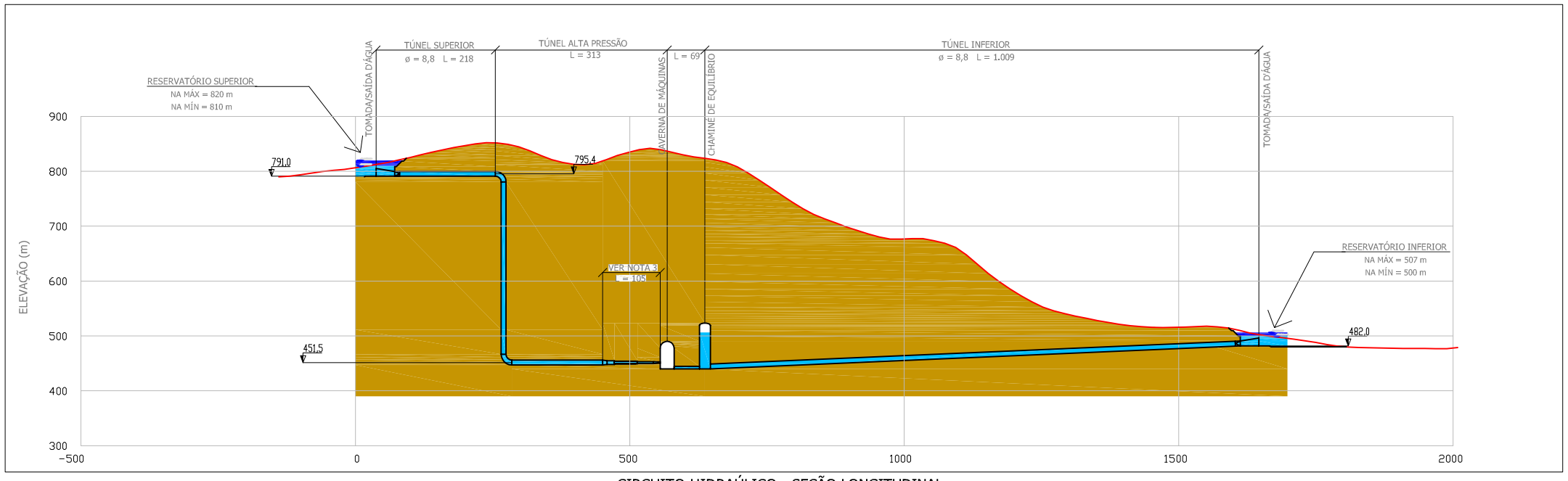
PLANTA GERAL
ESC. 1:20.000



PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

LEGENDA

- Curva de Nível Mestra
- Curva de Nível Intermediária
- Barragem
- N.A Mínimo do Reservatório
- N.A Máximo do Reservatório
- Usina Hidrelétrica Reversível (UHR) Pré-Dimensionada



CIRCUITO HIDRAÚLICO - SEÇÃO LONGITUDINAL
ESC. H= 1:10.000
V= 1:10.000

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	
CICLO	DIÁRIO
TEMPO DE GERAÇÃO/CICLO (h)	3
POTÊNCIA INSTALADA (MW)	1443
QUANTIDADE DE UNIDADES REVERSÍVEIS	8
QUEDA BRUTA MÉDIA (m)	311,8
L/H	6,4

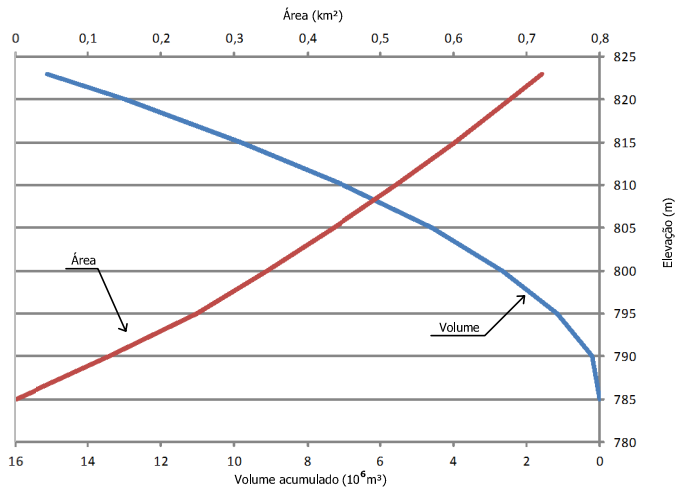
L = COMPRIMENTO DO CIRCUITO H = QUEDA

REFERÊNCIAS:

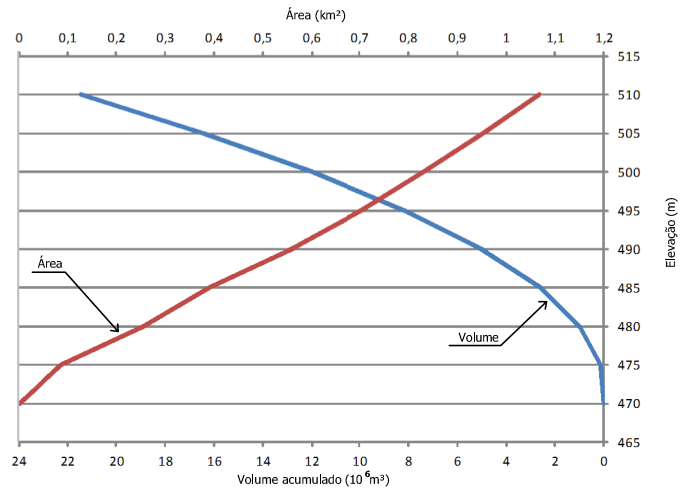
1. DADOS ALTIMÉTRICOS OBTIDOS A PARTIR DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO DO PROJETO RJ-25 DO IBGE COM PRECISÃO COMPÁTIVEL A ESCALA 1:25.000; SISTEMA GEODÉSICO: SIRGAS 2000; PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA: UTM 23S

NOTAS:

1. DISTÂNCIAS, DIMENSÕES E ELEVAÇÕES EM METROS, EXCETO QUANDO INDICADO
2. PARA SEÇÕES TÍPICAS DAS OBRAS VER DESENHO RRJ-I-00-000.0016-DE-R0
3. TRECHO BLINDADO (ø =3,4 a 6,8)



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO SUPERIOR



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO INFERIOR

0 250 500 1000 m
Escala Original 1:20.000

REV.	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES	ELAB.	APROV.	DATA
R0	APROVADO	FMG	MRT	11/02/2019

ESTUDOS DE INVENTÁRIO DE UHR
RIO DE JANEIRO
ESTUDOS PRELIMINARES

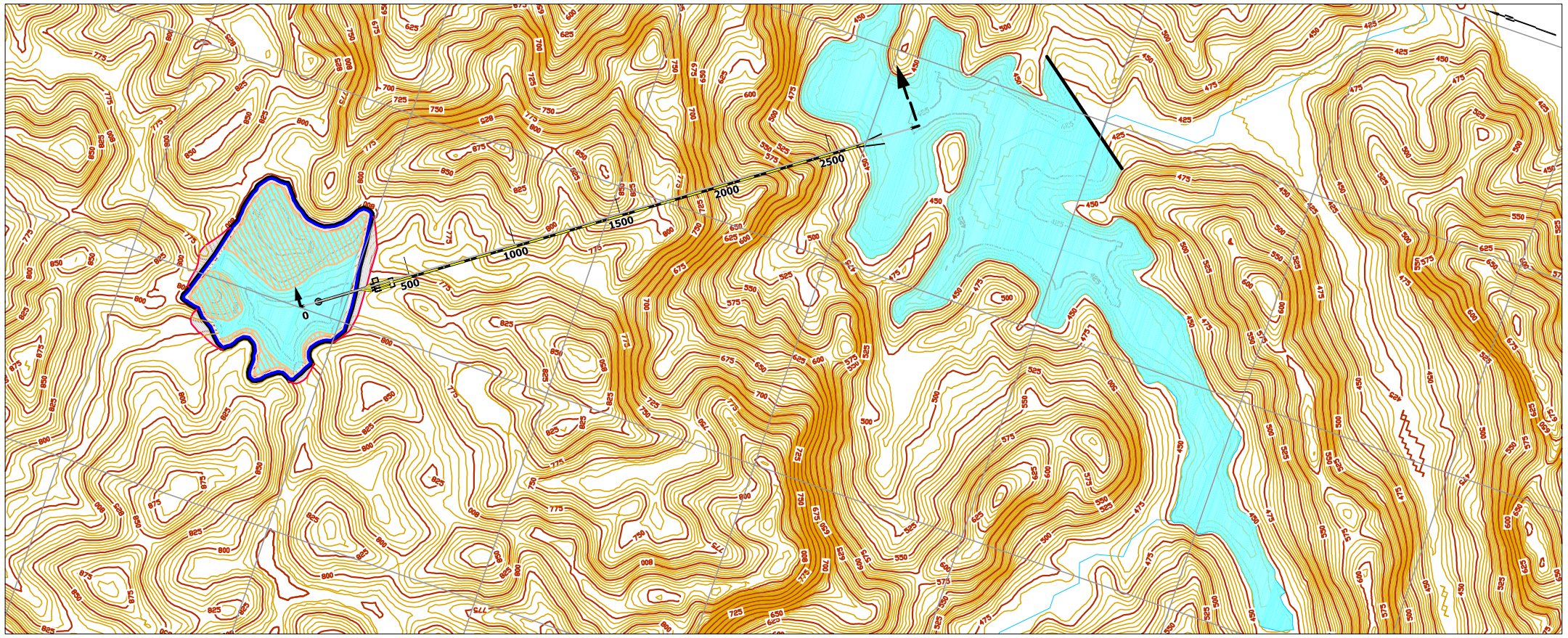
TÍTULO
UHR ID1572RJ
ARRANJO GERAL E CURVAS CARACTERÍSTICAS

ESCALA
INDICADA

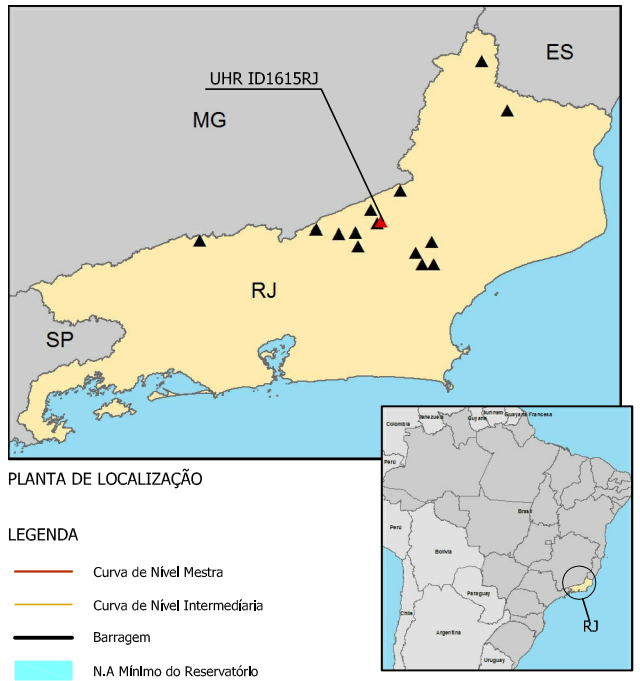
DATA
11/02/2019

NOMENCLATURA EPE
RRJ-I-00-000.0010-DE-R0

EXECUÇÃO
epe
Empresa de Pesquisa Energética



PLANTA GERAL
ESC. 1:25.000



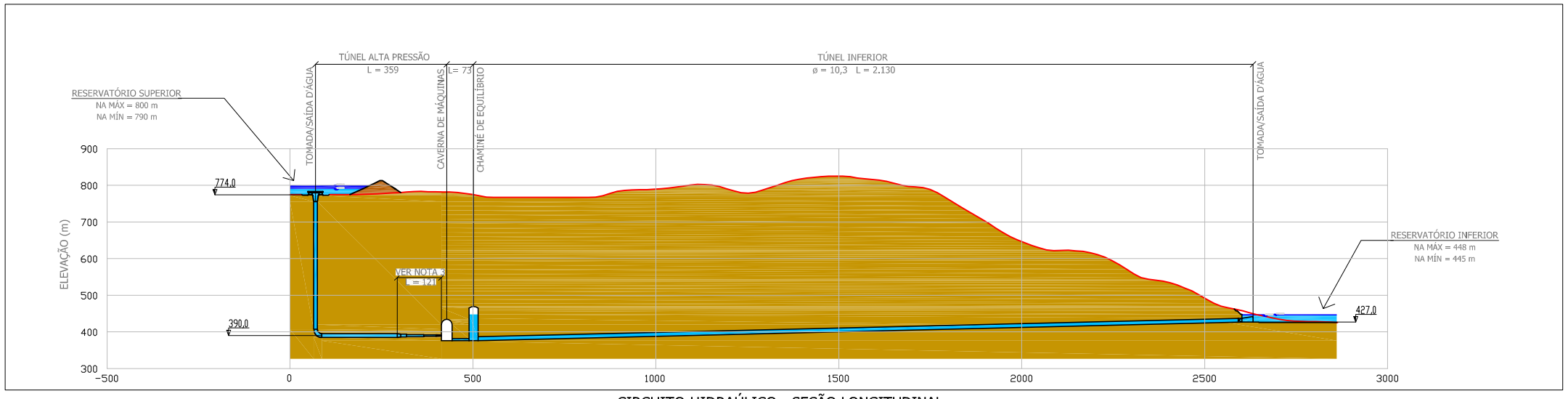
PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

LEGENDA

- Curva de Nível Mestra
- Curva de Nível Intermediária
- Barragem
- N.A Mínimo do Reservatório
- N.A Máximo do Reservatório
- Escavação na elevação 790 m
- Usina Hidrelétrica Reversível (UHR) Pré-Dimensionada

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	
CICLO	DIÁRIO
TEMPO DE GERAÇÃO/CICLO (h)	3
POTÊNCIA INSTALADA (MW)	1118
QUANTIDADE DE UNIDADES REVERSÍVEIS	4
QUEDA BRUTA MÉDIA (m)	348,7
L/H	8,3

L = COMPRIMENTO DO CIRCUITO H = QUEDA



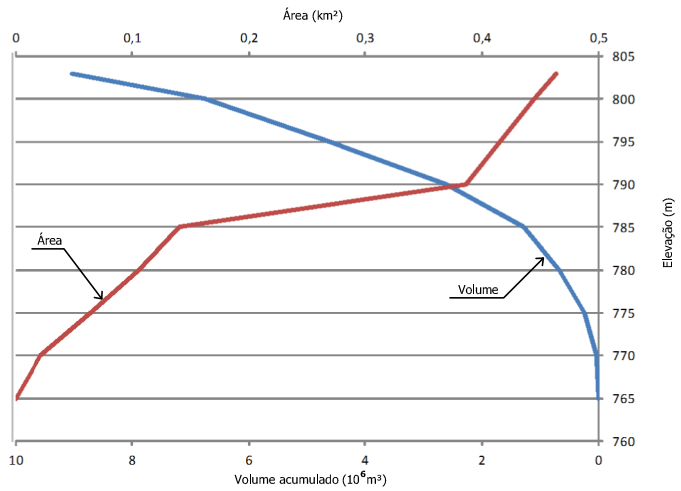
CIRCUITO HIDRAÚLICO - SEÇÃO LONGITUDINAL
ESC. H= 1:15.000
V= 1:15.000

REFERÊNCIAS:

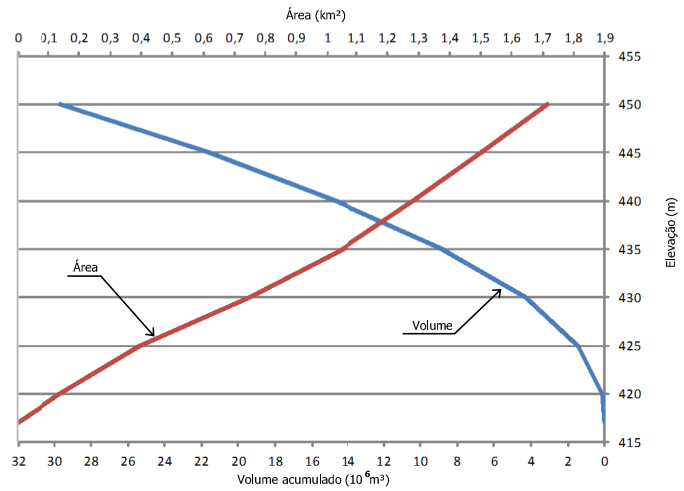
1. DADOS ALTIMÉTRICOS OBTIDOS A PARTIR DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO DO PROJETO RJ-25 DO IBGE COM PRECISÃO COMPÁTIVEL A ESCALA 1:25.000; SISTEMA GEODÉSICO: SIRGAS 2000; PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA: UTM 23S

NOTAS:

1. DISTÂNCIAS, DIMENSÕES E ELEVAÇÕES EM METROS, EXCETO QUANDO INDICADO
2. PARA SEÇÕES TÍPICAS DAS OBRAS VER DESENHO RRJ-I-00-000.0016-DE-R0
3. TRECHO BLINDADO (ø = 3,9 a 7,9)



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO SUPERIOR



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO INFERIOR

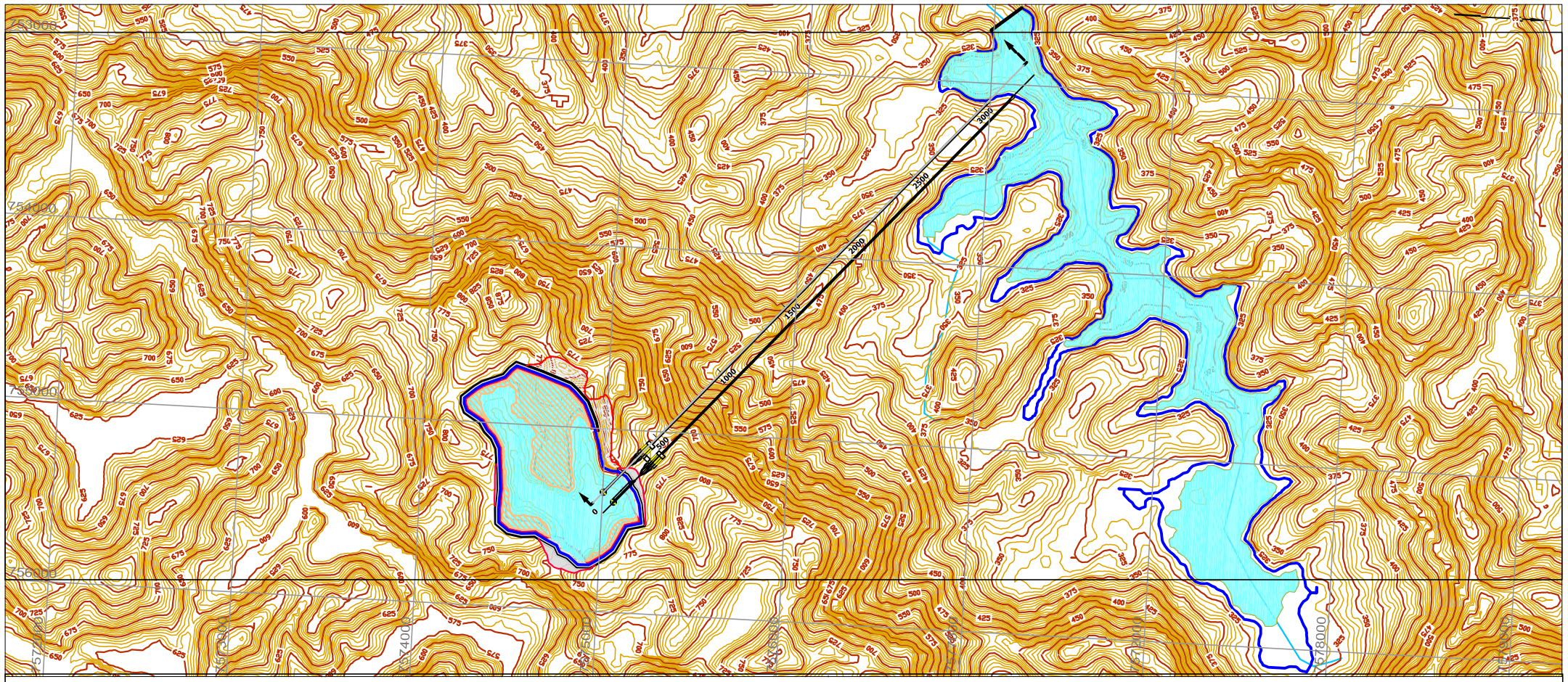
0 500 1000 2000 m
Escala Original 1:25.000

REV.	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES	ELAB.	APROV.	DATA
R0	APROVADO	FMG	MRT	11/02/2019

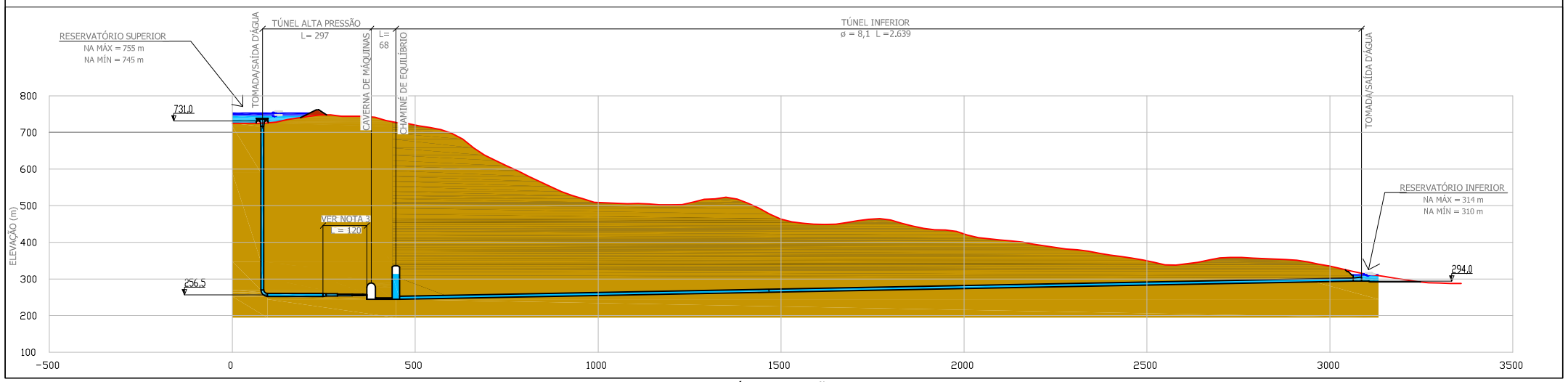
ESTUDOS DE INVENTÁRIO DE UHR
RIO DE JANEIRO
ESTUDOS PRELIMINARES

TÍTULO
UHR ID1615RJ
ARRANJO GERAL E CURVAS CARACTERÍSTICAS

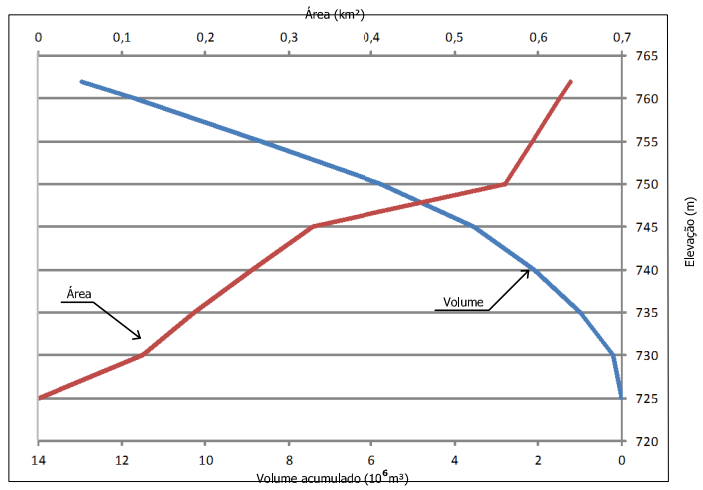
ESCALA: INDICADA
DATA: 11/02/2019
NOMENCLATURA EPE: RRJ-I-00-000.0011-DE-R0
EXECUÇÃO: epe Empresa de Pesquisa Energética



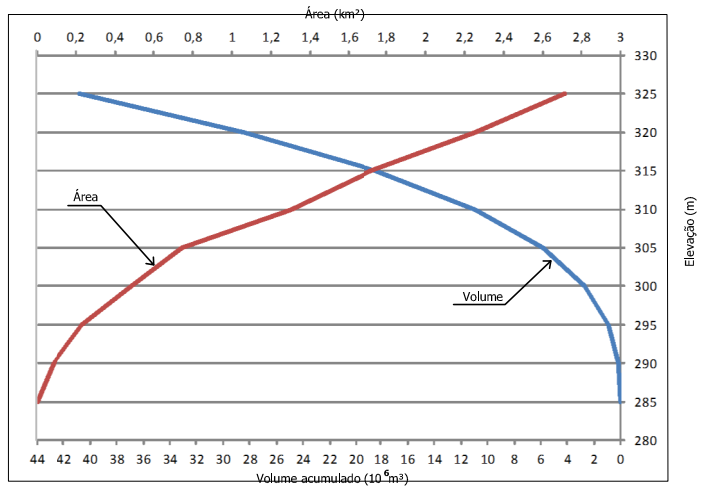
PLANTA GERAL
ESC. 1:30.000



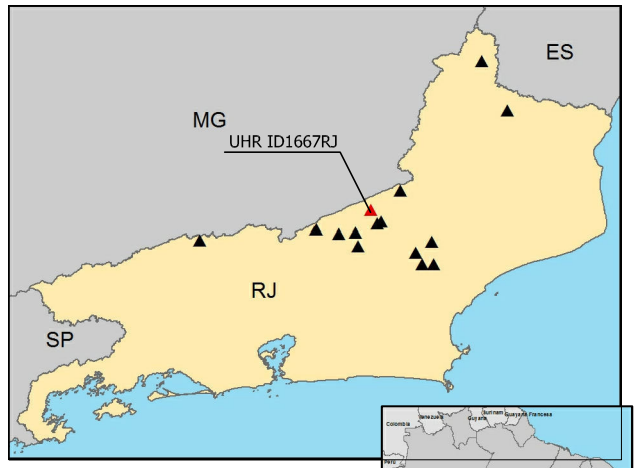
CIRCUITO HIDRAÚLICO - SEÇÃO LONGITUDINAL
ESC. H= 1:15.000
V= 1:15.000



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO SUPERIOR



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO INFERIOR



PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

LEGENDA

- Curva de Nível Mestra
- Curva de Nível Intermediária
- Barragem
- N.A Mínimo do Reservatório
- N.A Máximo do Reservatório
- Escavação na elevação 745 m
- Usina Hidrelétrica Reversível (UHR) Pré-Dimensionada

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	
CICLO	DIÁRIO
TEMPO DE GERAÇÃO/CICLO (h)	3
POTÊNCIA INSTALADA (MW)	1720
QUANTIDADE DE UNIDADES REVERSÍVEIS	8
QUEDA BRUTA MÉDIA (m)	438,2
L/H	8,1

L = COMPRIMENTO DO CIRCUITO H = QUEDA

REFERÊNCIAS:

1. DADOS ALTIMÉTRICOS OBTIDOS A PARTIR DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO DO PROJETO RJ-25 DO IBGE COM PRECISÃO COMPÁTIVEL A ESCALA 1:25.000; SISTEMA GEODÉSICO: SIRGAS 2000; PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA: UTM 23S

NOTAS:

1. DISTÂNCIAS, DIMENSÕES E ELEVAÇÕES EM METROS, EXCETO QUANDO INDICADO
2. PARA SEÇÕES TÍPICAS DAS OBRAS VER DESENHO RRJ-I-00-000.0016-DE-R0
3. TRECHO BLINDADO (ø = 3,0 a 6,0)

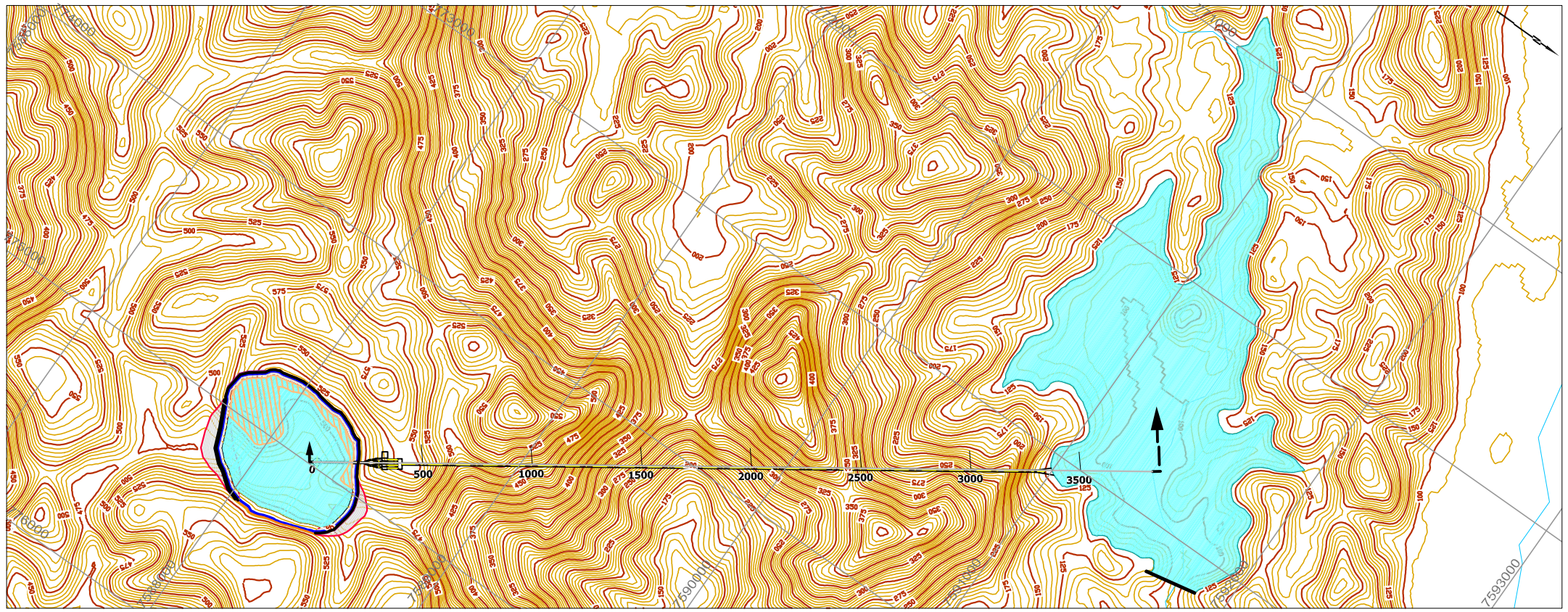
0 500 1000 2000 m
Escala Original 1:30.000

REV.	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES	ELAB.	APROV.	DATA
R0	APROVADO	FMG	MRT	11/02/2019

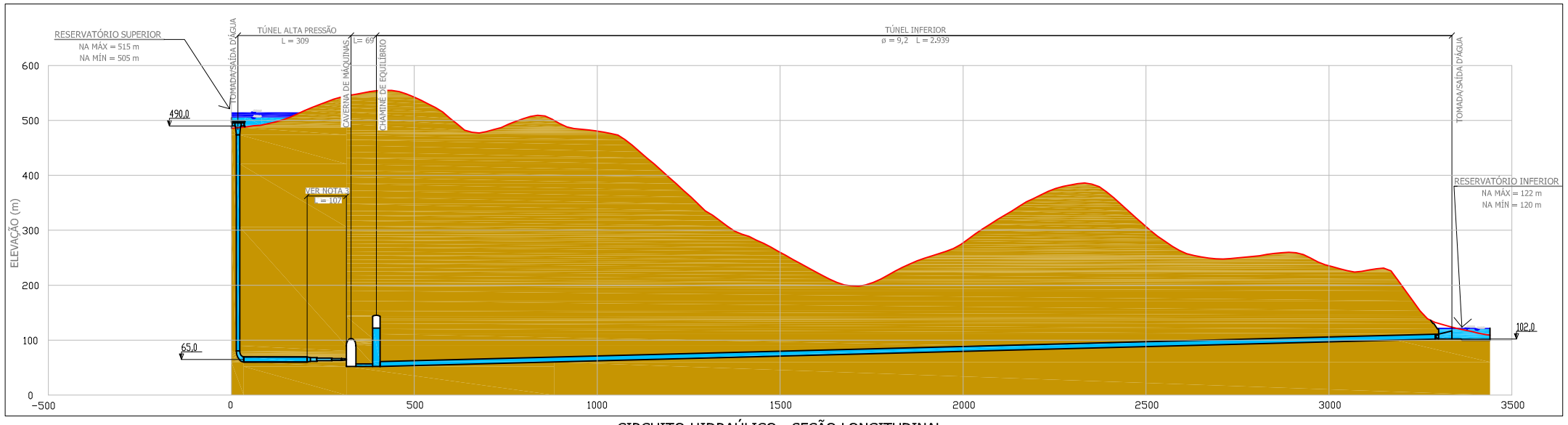
ESTUDOS DE INVENTÁRIO DE UHR
RIO DE JANEIRO
ESTUDOS PRELIMINARES

TÍTULO
UHR ID1667RJ
ARRANJO GERAL E CURVAS CARACTERÍSTICAS

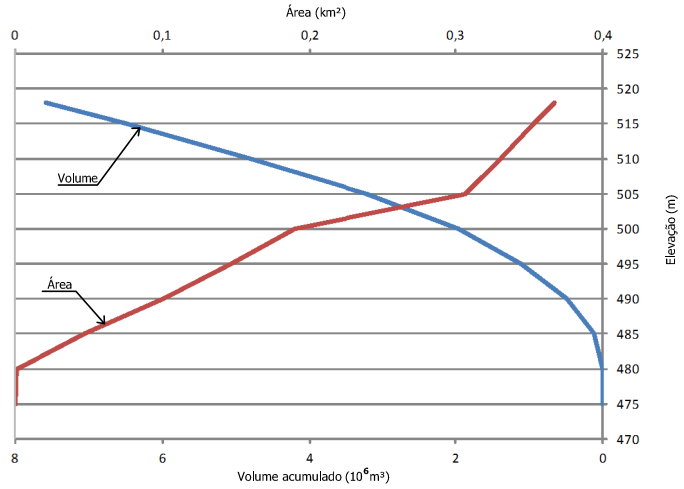
ESCALA: INDICADA
DATA: 11/02/2019
NOMENCLATURA EPE: RRJ-I-00-000.0012-DE-R0
EXECUÇÃO: epe Empresa de Pesquisa Energética



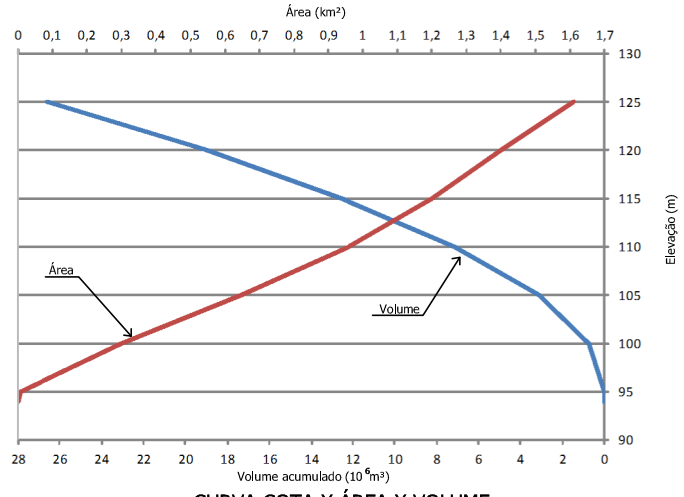
PLANTA GERAL
ESC. 1:25.000



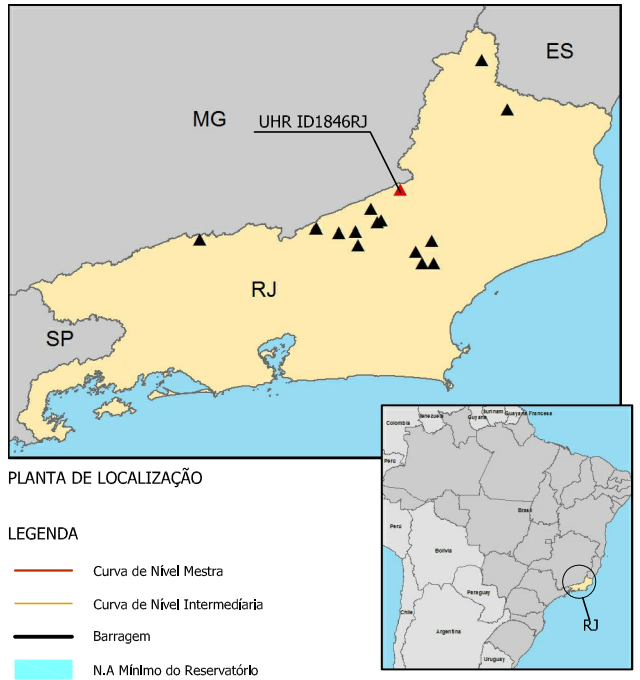
CIRCUITO HIDRAÚLICO - SEÇÃO LONGITUDINAL
ESC. H= 1:15.000
V= 1:10.000



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO SUPERIOR



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO INFERIOR



PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

LEGENDA

- Curva de Nível Mestra
- Curva de Nível Intermediária
- Barragem
- N.A Mínimo do Reservatório
- N.A Máximo do Reservatório
- Escavação na elevação 505 m
- Usina Hidrelétrica Reversível (UHR) Pré-Dimensionada

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	
CICLO	DIÁRIO
TEMPO DE GERAÇÃO/CICLO (h)	3
POTÊNCIA INSTALADA (MW)	987
QUANTIDADE DE UNIDADES REVERSÍVEIS	4
QUEDA BRUTA MÉDIA (m)	388,9
L/H	9,5

L = COMPRIMENTO DO CIRCUITO H = QUEDA

REFERÊNCIAS:

1. DADOS ALTIMÉTRICOS OBTIDOS A PARTIR DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO DO PROJETO RJ-25 DO IBGE COM PRECISÃO COMPÁTIVEL A ESCALA 1:25.000; SISTEMA GEODÉSICO: SIRGAS 2000; PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA: UTM 23S

NOTAS:

1. DISTÂNCIAS, DIMENSÕES E ELEVAÇÕES EM METROS, EXCETO QUANDO INDICADO
2. PARA SEÇÕES TÍPICAS DAS OBRAS VER DESENHO RRJ-I-00-000.0016-DE-R0
3. TRECHO BLINDADO (ø = 3,5 a 6,9)

0 500 1000 2000 m
Escala Original 1:25.000

REV.	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES	ELAB.	APROV.	DATA
R0	APROVADO	FMG	MRT	11/02/2019

MRT 11/02/2019

ESTUDOS DE INVENTÁRIO DE UHR
RIO DE JANEIRO
ESTUDOS PRELIMINARES

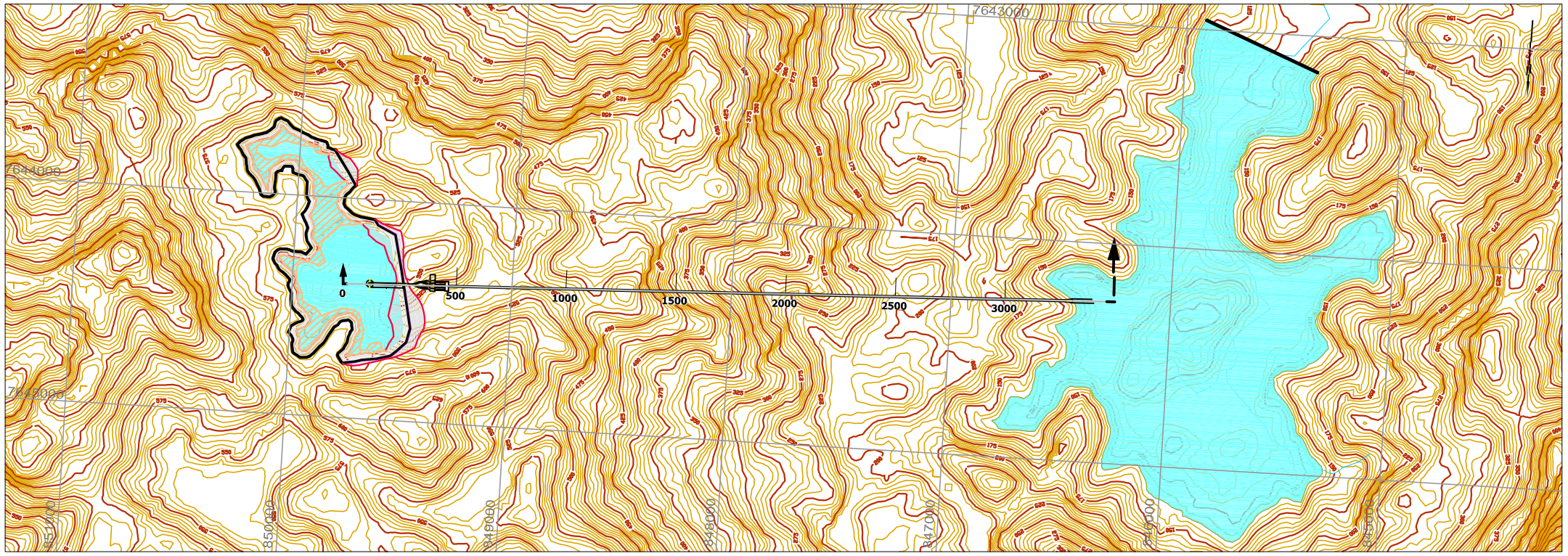
TÍTULO
UHR ID1846RJ
ARRANJO GERAL E CURVAS CARACTERÍSTICAS

ESCALA
INDICADA

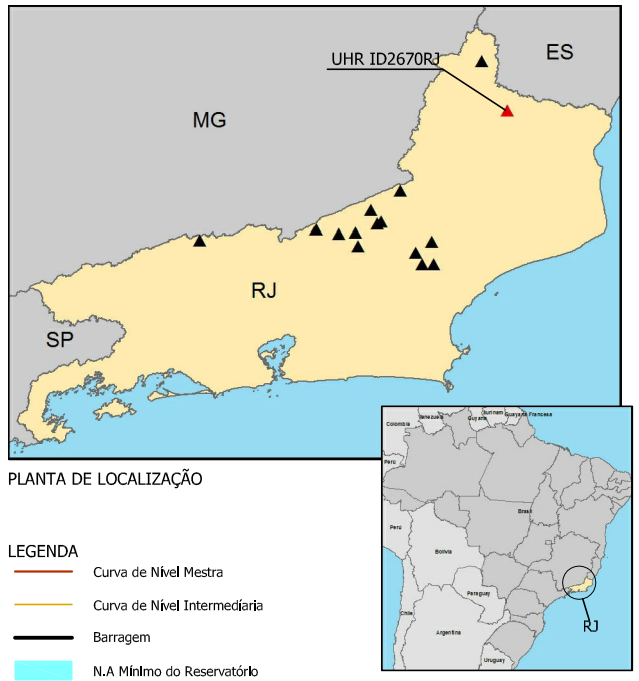
DATA
11/02/2019

NOMENCLATURA EPE
RRJ-I-00-000.0013-DE-R0

EXECUÇÃO
epe
Empresa de Pesquisa Energética



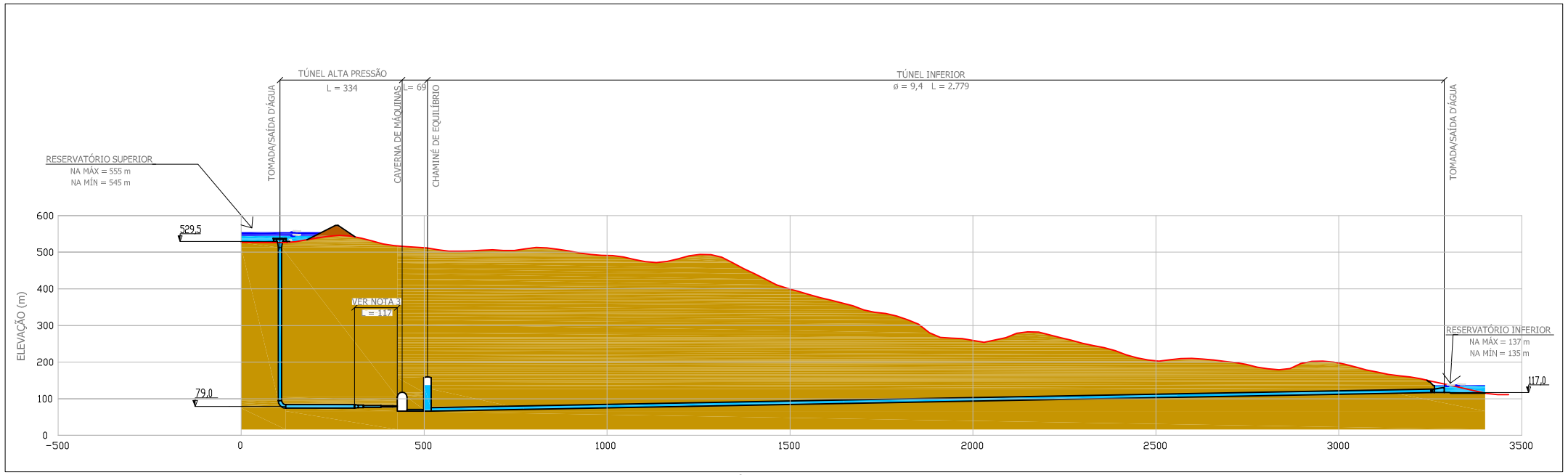
PLANTA GERAL
ESC. 1:25.000



PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

LEGENDA

- Curva de Nível Mestra
- Curva de Nível Intermediária
- Barragem
- N.A Mínimo do Reservatório
- N.A Máximo do Reservatório
- Escavação na elevação 545 m
- Usina Hidrelétrica Reversível (UHR) Pré-Dimensionada



CIRCUITO HIDRAÚLICO - SEÇÃO LONGITUDINAL
ESC. H= 1:15.000
V= 1:15.000

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	
CICLO	DIÁRIO
TEMPO DE GERAÇÃO/CICLO (h)	3
POTÊNCIA INSTALADA (MW)	1101
QUANTIDADE DE UNIDADES REVERSÍVEIS	4
QUEDA BRUTA MÉDIA (m)	414,0
L/H	8,7

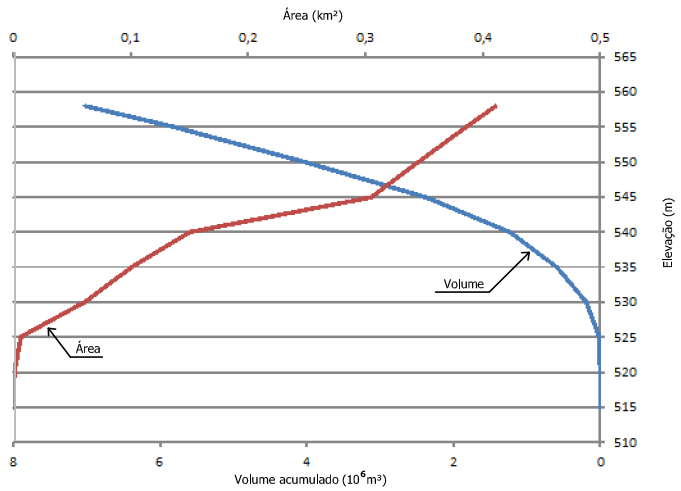
L = COMPRIMENTO DO CIRCUITO H = QUEDA

REFERÊNCIAS:

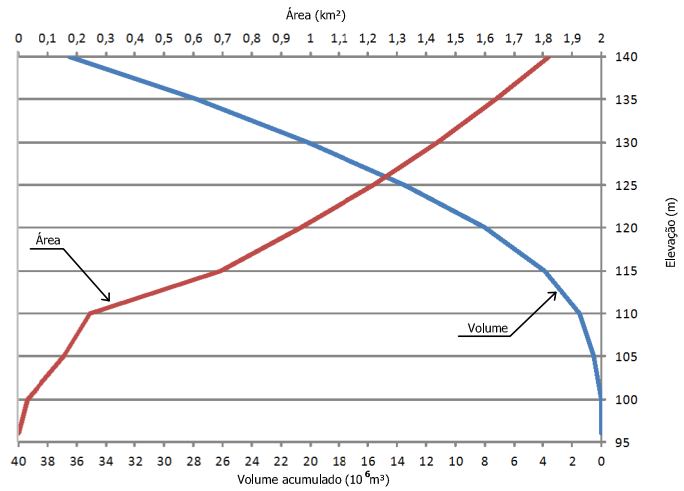
1. DADOS ALTIMÉTRICOS OBTIDOS A PARTIR DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO DO PROJETO RJ-25 DO IBGE COM PRECISÃO COMPÁTIVEL A ESCALA 1:25.000; SISTEMA GEODÉSICO: SIRGAS 2000; PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA: UTM 23S

NOTAS:

1. DISTÂNCIAS, DIMENSÕES E ELEVAÇÕES EM METROS, EXCETO QUANDO INDICADO
2. PARA SEÇÕES TÍPICAS DAS OBRAS VER DESENHO RRJ-I-00-000.0016-DE-R0
3. TRECHO BLINDADO (ø = 3,5 a 7,0)



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO SUPERIOR



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO INFERIOR

0 500 1000 2000 m
Escala Original 1:25.000

REV.	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES	ELAB.	APROV.	DATA
R0	APROVADO	FMG	MRT	11/02/2019

ESTUDOS DE INVENTÁRIO DE UHR
RIO DE JANEIRO
ESTUDOS PRELIMINARES

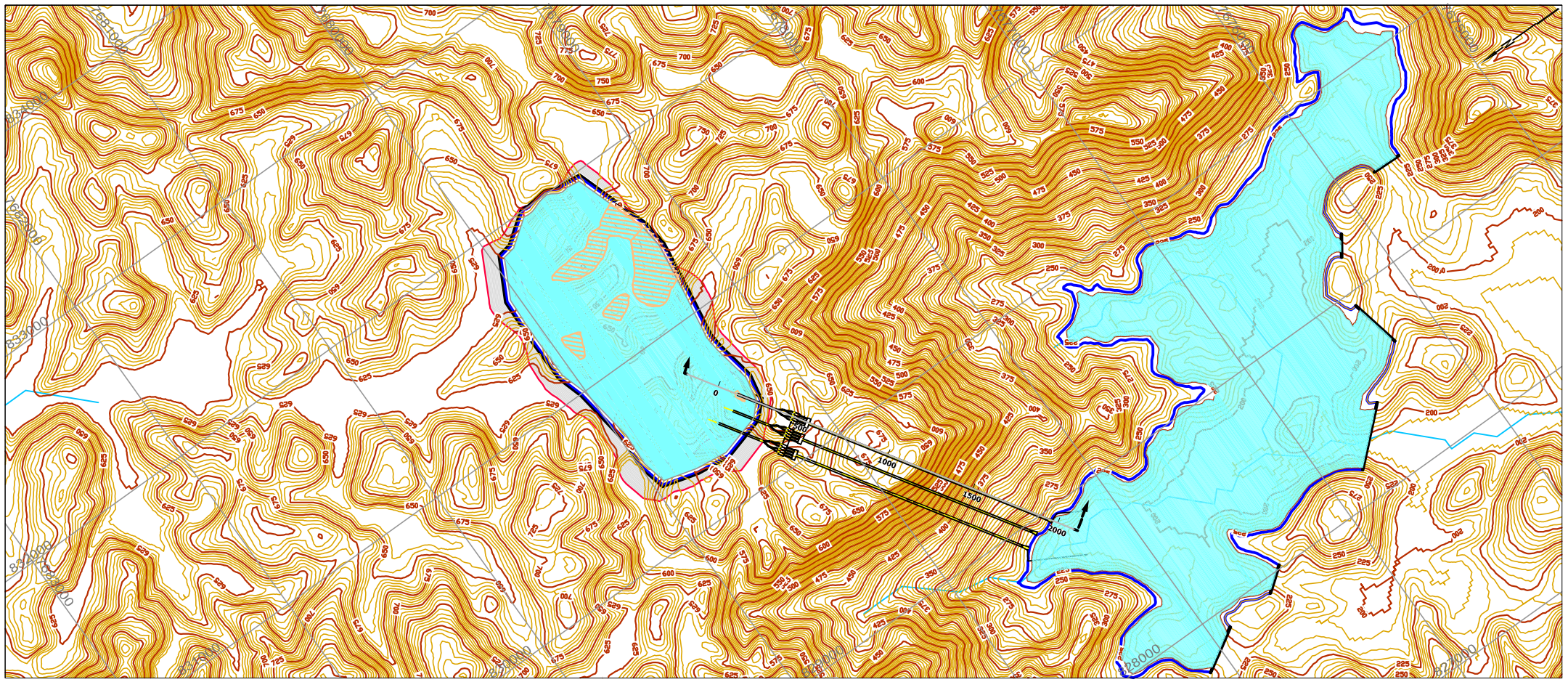
TÍTULO
UHR ID2670RJ
ARRANJO GERAL E CURVAS CARACTERÍSTICAS

ESCALA
INDICADA

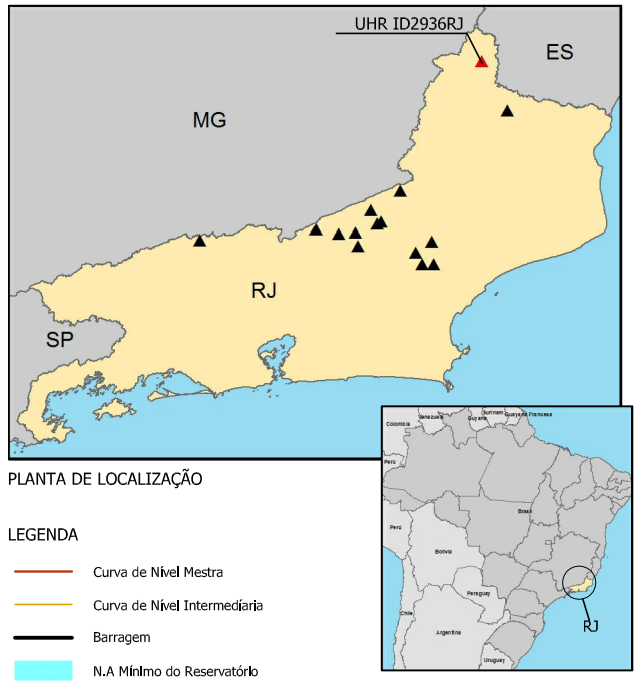
DATA
11/02/2019

NOMENCLATURA EPE
RRJ-I-00-000.0014-DE-R0

EXECUÇÃO
epe
Empresa de Pesquisa Energética



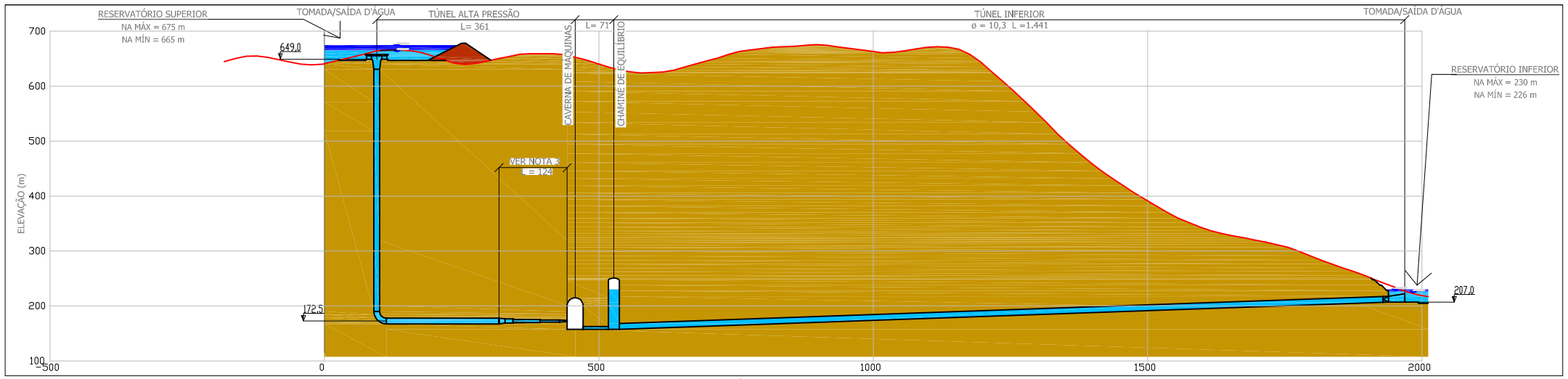
PLANTA GERAL
ESC. 1:30.000



PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

LEGENDA

- Curva de Nível Mestra
- Curva de Nível Intermediária
- Barragem
- N.A Mínimo do Reservatório
- N.A Máximo do Reservatório
- Escavação na elevação 665 m
- Usina Hidrelétrica Reversível (UHR) Pré-Dimensionada



CIRCUITO HIDRAÚLICO - SEÇÃO LONGITUDINAL
ESC. H= 1:10.000
V= 1:10.000

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	
CICLO	DIÁRIO
TEMPO DE GERAÇÃO/CICLO (h)	3
POTÊNCIA INSTALADA (MW)	4275
QUANTIDADE DE UNIDADES REVERSÍVEIS	12
QUEDA BRUTA MÉDIA (m)	442,0
L/H	5,3

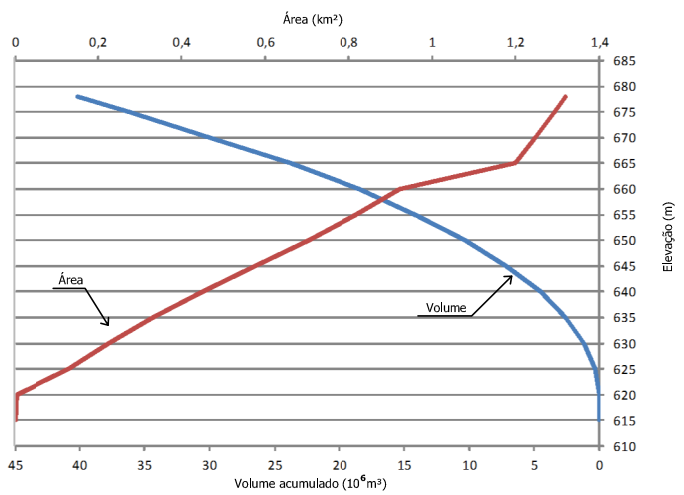
L = COMPRIMENTO DO CIRCUITO H = QUEDA

REFERÊNCIAS:

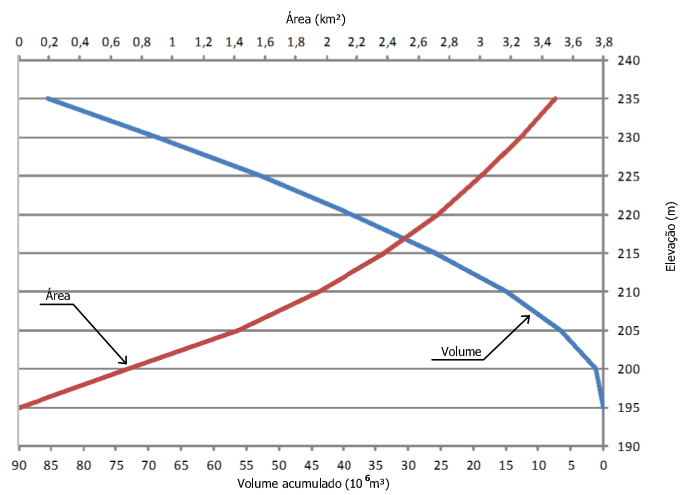
1. DADOS ALTIMÉTRICOS OBTIDOS A PARTIR DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO DO PROJETO RJ-25 DO IBGE COM PRECISÃO COMPÁTIVEL A ESCALA 1:25.000; SISTEMA GEODÉSICO: SIRGAS 2000; PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA: UTM 23S

NOTAS:

1. DISTÂNCIAS, DIMENSÕES E ELEVAÇÕES EM METROS, EXCETO QUANDO INDICADO
2. PARA SEÇÕES TÍPICAS DAS OBRAS VER DESENHO RRJ-I-00-000.0016-DE-R0
3. TRECHO BLINDADO (ø =3,8 a 7,6)



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO SUPERIOR



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
RESERVATÓRIO INFERIOR

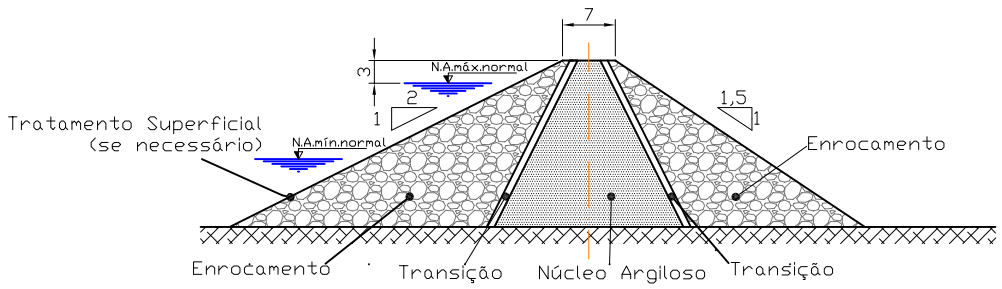
0 500 1000 2000 m
Escala Original 1:30.000

REV.	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES	ELAB.	APROV.	DATA
R0	APROVADO	FMG	MRT	11/02/2019

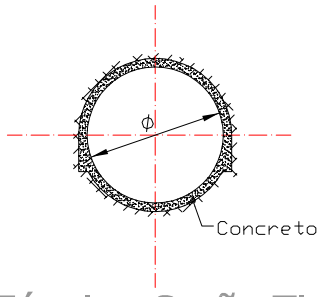
ESTUDOS DE INVENTÁRIO DE UHR
RIO DE JANEIRO
ESTUDOS PRELIMINARES

TÍTULO
UHR ID2936RJ
ARRANJO GERAL E CURVAS CARACTERÍSTICAS

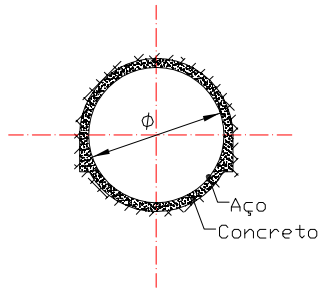
ESCALA: INDICADA
DATA: 11/02/2019
NOMENCLATURA EPE: RRJ-I-00-000.0015-DE-R0
EXECUÇÃO: epe Empresa de Pesquisa Energética



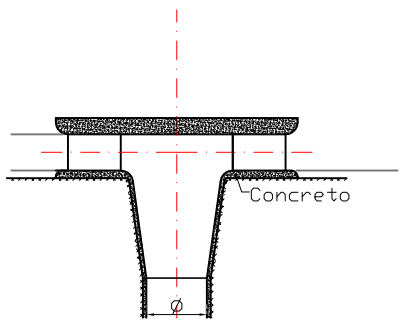
Barramento - Seção Tipo



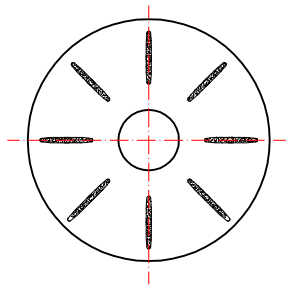
Túneis - Seção Tipo



Conduto forçado blindado - Seção Tipo

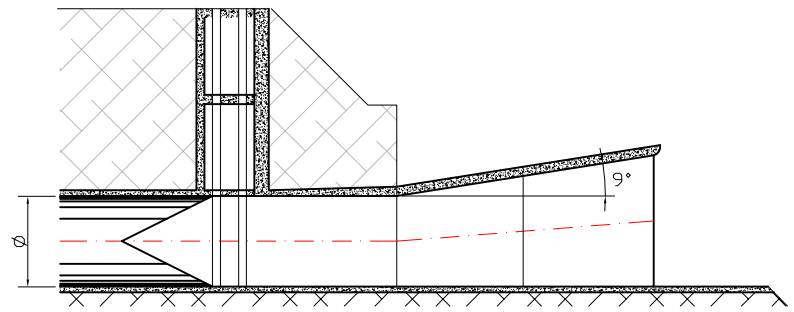


Seção

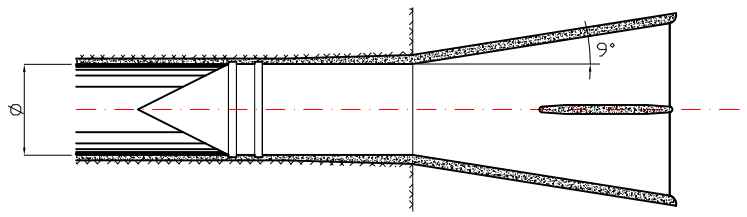


Planta

Tomada / saída d'água vertical



Seção



Planta

Tomada / saída d'água horizontal

PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

Aproveitamento	Altura Máx. do Barramento [m] Reservatório Superior	Reservatório Inferior	Túneis Diâmetro (∅) [m] (a)	Desenhos
ID1110RJ	28	48	8,65	RRJ-00-000.0001-DE-R0A
ID1198RJ	53	63	8,55	RRJ-00-000.0002-DE-R0A
ID1258RJ	58	23	8,10	RRJ-00-000.0003-DE-R0A
ID1303RJ	33	103	9,50	RRJ-00-000.0004-DE-R0A
ID1336RJ	31	53	8,00	RRJ-00-000.0005-DE-R0A
ID1362RJ	53	26	9,40	RRJ-00-000.0006-DE-R0A
ID1445RJ	38	24	6,80	RRJ-00-000.0007-DE-R0A
ID1448RJ	48	36	7,60	RRJ-00-000.0008-DE-R0A
ID1506RJ	38	58	8,10	RRJ-00-000.0009-DE-R0A
ID1572RJ	33	35	8,80	RRJ-00-000.0010-DE-R0A
ID1615RJ	28	31	10,30	RRJ-00-000.0011-DE-R0A
ID1667RJ	33	27	8,10	RRJ-00-000.0012-DE-R0A
ID1846RJ	38	30	9,20	RRJ-00-000.0013-DE-R0A
ID2670RJ	43	40	9,40	RRJ-00-000.0014-DE-R0A
ID2936RJ	68	18	10,30	RRJ-00-000.0015-DE-R0A

(a) DIÂMETRO INTERNO DO CONDUTO

NOTAS:

1. DISTÂNCIAS, DIMENSÕES E ELEVAÇÕES EM METROS, EXCETO QUANDO INDICADO

REV.	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES	ELAB.	APROV.	DATA
R0	APROVADO	FMG	MRT	11/02/2019

ESTUDOS DE INVENTÁRIO DE UHR

RIO DE JANEIRO

ESTUDOS PRELIMINARES

TÍTULO

USINAS REVERSÍVEIS

SEÇÕES TÍPICAS

ESCALA: SEM ESCALA

DATA: 11/02/2019

NOMENCLATURA EPE: RRJ-I-00-000.0016-DE-R0

EXECUÇÃO: epe Empresa de Pesquisa Energética