

# RELATÓRIO TÉCNICO DE OUTORGA DE RECURSOS HÍDRICOS PARA APROVEITAMENTO DE POTENCIAL HIDRELÉTRICO – PCH MACHADO

Elaborado para:  
IMAGEM / R3 ENGENHARIA E CONSULTORIA

Elaborado por:  
EKOS PLANEJAMENTO AMBIENTAL LTDA.



ekos  
PLANEJAMENTO AMBIENTAL

Uberlândia-MG  
Março/2018

# **RELATÓRIO TÉCNICO DE OUTORGA DE RECURSOS HÍDRICOS PARA APROVEITAMENTO DE POTENCIAL HIDRELÉTRICO – PCH MACHADO**

Elaborado para:  
IMAGEM / R3 ENGENHARIA E CONSULTORIA

Elaborado por:  
EKOS PLANEJAMENTO AMBIENTAL LTDA.

UBERLÂNDIA – MG  
MARÇO / 2018

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Mapa de localização da PCH Machado .....	16
Figura 3.2. Cronograma físico de construção .....	25
Figura 4.1. Isoietas na bacia do rio Uberabinha.....	32
Figura 4.2. Isoietas sobre as bacias dos rios Uberabinha e Tijuco.....	33
Figura 4.3. Variação da vazão específica com a área de drenagem nas proximidades do rio Uberabinha.....	34
Figura 4.4. Curva Cota-vazão no posto Fazenda Letreiro.....	36
Figura 4.5. Histograma de vazões médias anuais no trecho considerado.....	39
<input type="checkbox"/> HYPERLINK \l "_Toc514845572" Figura 4.6. Regime de vazões médias mensais no rio	
Figura 4.7. Curvas de permanência de vazões médias mensais no eixo da PCH Machado	40
Figura 4.8. Disposição das Áreas de Drenagens estudadas envolto à PCH Machado.....	40
Figura 4.9. Equações de regionalização de quantis de cheia .....	42
Figura 4.10. Ajuste da distribuição – Período de Estiagem .....	44
Figura 4.11. Curva cota-área-volume da PCH Machado.....	45
Figura 4.12. Tempos de enchimento/residência dos reservatórios em horas.....	46
Figura 4.13. Ilustração da inserção do barramento e vertedouro para simulação do remanso .....	47
Figura 4.14. Ilustração da inserção do barramento para simulação do remanso .....	48
Figura 4.15. Ilustração sem a inserção do barramento para simulação do comportamento natural do rio em condições de cheias.....	48
Figura 4.16. Retenção de sedimentos no reservatório de acordo com Churchill.....	52

## LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1. Características básicas da PCH Machado .....	13
Quadro 3.2. Principais características das turbinas hidráulicas .....	22

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Coordenadas da PCH Machado .....	14
Tabela 3.2. Resumo PCH Machado .....	15
Tabela 4.1. Índices Fisiográficos – Estações na Região do rio Uberabinha .....	28
Tabela 4.2. Normais climatológicas representativas do rio Uberabinha .....	30
Tabela 4.3. Totais médios anuais precipitados (mm) nos postos pluviométricos consultados .....	31
Tabela 4.4. Precipitação média mensal e total anual na bacia do rio Uberabinha.....	32
Tabela 4.5. Postos fluviométricos consultados no presente estudo .....	33
Tabela 4.6. Cálculo dos coeficientes de <i>Runoff</i> .....	35
Tabela 4.7. Vazões médias mensais no trecho dos aproveitamentos PCH Machado .....	37
Tabela 4.8. Quantis locais e distribuições de probabilidades nos postos .....	41
Tabela 4.9. Cheias de projeto .....	43
Tabela 4.10. Vazões Máximas ao longo do período seco nas estações em estudo.....	44
Tabela 4.11. Cheias de projeto para o período seco no trecho das PCH Machado .....	44
Tabela 4.12. Curva cota-área-volume das PCH Machado .....	45
Tabela 4.13. Resultado da simulação hidráulica do reservatório na região do canal de fuga da PCH Malagone .....	49
Tabela 4.14. Resumo dos dados adotados.....	53
Tabela 4.15. Resumo dos resultados .....	53
Tabela 5.1. Resumos das outorgas .....	54

## SUMÁRIO

1.	APRESENTAÇÃO.....	6
1.1.	Empreendedores .....	8
1.2.	Consultoria ambiental .....	10
1.3.	Equipe técnica .....	11
2.	JUSTIFICATIVA.....	12
3.	CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO .....	13
3.1.	Localização e acesso.....	15
3.2.	Descrição geral das estruturas da PCH .....	17
4.	ESTUDOS HIDROMETEOROLÓGICOS E HIDROLÓGICOS .....	26
4.1.	Estudos anteriores e ajustes.....	27
4.2.	Informações hidrometeorológicas .....	29
4.3.	Tratamento e consistência dos dados.....	34
4.4.	Obtenção da série de vazões de aproveitamento .....	36
4.5.	Cheias de projeto.....	40
4.6.	Análise do período seco .....	43
4.7.	Vazões mínimas – $Q_{7,10}$ .....	44
4.8.	Comportamento dos reservatórios .....	45
4.9.	Estudos sedimentológicos .....	49
5.	OUTROS USOS DA ÁGUA E OUTORGAS .....	54
6.	REFERÊNCIAS .....	57

## ANEXOS

## 1. APRESENTAÇÃO

A outorga é o instrumento legal que assegura ao usuário o direito de utilizar os recursos hídricos. Através da outorga, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) executa a gestão quantitativa e qualitativa do uso da água, emitindo autorização ou concessão para quaisquer intervenções que alterem a quantidade, a qualidade ou o regime de um corpo de água (IGAM, 2010).

A Resolução Conjunta SEMAD/IGAM n° 1768, de 30 de novembro de 2012, que estabelece os procedimentos técnicos e administrativos para emissão de outorga para fins de aproveitamento de potenciais hidrelétricos em corpos de água de domínio do Estado de Minas Gerais resolve:

Art. 1º. Os empreendimentos de aproveitamento de potencial hidrelétrico em corpo de água de domínio do Estado de Minas Gerais detentores de concessão, autorização ou registro de aproveitamento hidrelétrico expedidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL ou por ato do governo federal deverão solicitar a respectiva outorga de direito de uso dos recursos hídricos junto à Superintendência Regional de Regularização Ambiental – SUPRAM, [...]

Neste sentido, o presente documento tem por finalidade apresentar as informações técnicas e estudo hidrológicos do projeto, de modo a subsidiar a obtenção da outorga de recursos hídricos para o aproveitamento de potencial hidrelétrico da Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Machado, no rio Uberabinha, municípios de Uberlândia e Tupaciguara, que possuirá capacidade instalada de 12,25 MW.

Este relatório foi elaborado pela equipe técnica multidisciplinar da empresa EKOS PLANEJAMENTO AMBIENTAL LTDA, que objetiva instruir o processo de licenciamento ambiental da Pequena Central Hidrelétrica – PCH Machado junto à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD de Minas Gerais, composto pela solicitação de Licenciamento Prévio – LP e de Instalação – LI concomitantes, sendo o empreendimento de responsabilidade das empresas R3 ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA e IMAGEM SISTEMAS DE INFORMAÇÕES LTDA.

Para possibilitar a implantação do empreendimento, as empresas consorciadas responsáveis realizaram os estudos institucionais e de engenharia necessários à solicitação

da autorização para exploração do recurso hídrico. O projeto da PCH Machado foi desenvolvido visando o aproveitamento para geração de energia do rio, bem como, atender aos preceitos legais do poder concedente, representado pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, ao qual foi submetido o Processo nº 48500.005215/2013-35, Despacho nº 3.404, de 07 de outubro de 2013.

A PCH Machado terá como atividades principais a geração de energia hidrelétrica e transmissão de energia elétrica. Como atividades secundárias inerentes à fase de instalação, serão desenvolvidas a britagem de materiais rochosos e a produção de concreto comum. Dessa forma, em âmbito estadual, segundo a Deliberação Normativa COPAM nº 217, de 06 de dezembro de 2017, tais atividades são passíveis de licenciamento ambiental, sendo necessária a fixação da classe pela conjugação do porte e o potencial poluidor/degradador e identificação do critério locacional de enquadramento para estabelecer a modalidade de licenciamento. O empreendimento foi enquadrado em Classe 4 (com EIA/RIMA conforme Resolução CONAMA nº 01/1986) e Peso 1 decorrente da supressão de vegetação nativa. Portanto, sua modalidade corresponde ao Licenciamento Ambiental Concomitante 2 – LAC 2 mediante análise, em uma única fase, das etapas de LP e LI, com análise posterior da LO.

O futuro aproveitamento energético está previsto para ser implantado na Fazenda do Pontal, nas margens do rio Uberabinha, em território dos municípios de Uberlândia e Tupaciguara, estado de Minas Gerais. Representando uma divisa geopolítica natural entre esses municípios, o rio Uberabinha é afluente pela margem esquerda do rio Araguari, sendo esse curso d'água um contribuinte significativo do rio Paranaíba. No trecho do rio onde será implantada a PCH Machado já existe em operação a PCH Malagone, localizada a aproximadamente 15,3 km a montante de sua confluência com o rio Araguari, em sua margem esquerda, com 19 MW de potência instalada, de propriedade da Hidrelétrica Malagone S.A. Por sua vez, o novo empreendimento objeto deste estudo, consiste em um aproveitamento hidrelétrico com um reservatório de 81,00 hectares no NA normal e uma potência instalada de 12,25 MW, com operação a fio d'água.

A energia a ser gerada pela PCH Machado será interligada a partir da subestação da usina, que ficará instalada na margem esquerda do rio Uberabinha, tendo como destino a subestação da PCH Malagone, distante cerca de 6 km do empreendimento, de onde será distribuída pela Companhia Energética de Minas Gerais S.A. – CEMIG. A CEMIG é responsável pelo atendimento de 805 municípios em Minas Gerais e Rio de Janeiro



(incluindo a Light) e pela gestão da maior rede de distribuição de energia elétrica da América do Sul, com mais de 525.224 quilômetros de extensão.

Na sequência são exibidos os dados de identificação do empreendedor, da empresa de consultoria ambiental e da equipe técnica responsável pelos estudos ambientais ora apresentados no bojo deste documento.

### 1.1. Empreendedores

<b>Razão social</b>	IMAGEM SISTEMAS DE INFORMAÇÕES LTDA
<b>CNPJ/CPF</b>	07.668.045/0001-88
<b>Endereço</b>	Estrada Dr. Altino Bondensan, 500, Centro Empresarial I, sala 203, Parque tecnológico – Eugenio de Mello – São José dos Campos-SP
<b>Telefone</b>	(12) 3946-8933
<b>Responsável</b>	Luiz Leonardi
<b>E-mail</b>	lleonardi@img.com.br

A Imagem Sistemas de Informações LTDA é distribuidora oficial da Esri, empresa líder mundial em Sistemas de Informações Geográficas, provendo tecnologias de geolocalização em seu estado-da-arte, oferecendo soluções focadas nos problemas de negócio dos seus clientes. Utiliza métodos de análise espacial para a identificação de padrões geográficos das manifestações, considerando as dimensões tempo e espaço, além de ampliar e melhorar os resultados das empresas e governos com uso da Inteligência Geográfica. Fornece ainda conteúdo geográfico, aplicações e treinamentos especializados.

A Imagem recebeu a certificação ISO 9001, que especifica requisitos para um Sistema de Gestão da Qualidade, em 01/10/2003 e a última re-certificação em 16/10/2015, juntamente com as seguintes certificações:

- DQS - Deutsche Gesellschaft Zur (Brasil);
- TGA - Trägergemeinschaft Für Akkreditierung (Alemanha);
- IQNET - The International Certification Network (EUA);
- INMETRO (Brasil).

<b>Razão social</b>	R3 ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA – ME
<b>CNPJ/CPF</b>	10.552.553/0001-00
<b>Endereço</b>	St Shs Quadra 06, conjunto A, Bloco E, sala 527 – Asa Sul, Brasília-DF
<b>Telefone</b>	(61) 98425-8530
<b>Responsável</b>	Bruno Nogueira da Costa
<b>E-mail</b>	bruno.costa@r3engenharia.com.br

A empresa R3 Engenharia e Consultoria Ltda, fundada no ano de 2008 na cidade de Brasília – DF, atua em diversos projetos de Usinas Hidrelétricas e conta com os consultores mais renomados do setor. A empresa realizou e participou de mais de cinco Estudos de Inventário Hidrelétrico em diferentes bacias hidrográficas no território nacional, também participou nos Projetos Básicos de outras nove PCH's em diversas regiões do Brasil, além de atuar em consultorias específicas de otimização e adequações de projetos para atendimento às condicionantes técnicas da ANEEL.

O projeto da PCH Machado é um dos únicos projetos que a empresa desenvolveu para investimento próprio, por acreditar nos benefícios e condições ambientais favoráveis e sustentáveis que a tornará um empreendimento de elevada relevância social e econômica para o estado de Minas Gerais.

## 1.2. Consultoria ambiental

<b>Razão social</b>	EKOS PLANEJAMENTO AMBIENTAL LTDA.
<b>CNPJ</b>	14.357.805/0001-00
<b>Endereço</b>	Av. Nicomedes Alves dos Santos, 1735 – Jardim. Karaíba – Uberlândia-MG
<b>Telefone</b>	(34) 3214-7936
<b>CRBIO</b>	0334/04
<b>Responsável técnico</b>	Amara Borges Amaral
<b>E-mail</b>	amara@ekosplanejamentoambiental.com.br
<b>CREA-MG</b>	51.949
<b>Responsável técnico</b>	Álison Martins de Oliveira
<b>E-mail</b>	alison@ekosplanejamentoambiental.com.br

Fundada em 2011, na cidade de Uberlândia, estado de Minas Gerais, a empresa Ekos Planejamento Ambiental Ltda oferece serviços de consultoria e assessoria ambiental em vários segmentos, como: mineração, energia, agropecuária, turismo, sucroalcooleiro e setor público.

Com clientes localizados em diversos estados do país, a Ekos possui uma equipe multiprofissional e uma ampla rede de parceiros especializados em estudos ambientais, proporcionando assim um atendimento diferenciado, com qualidade e eficiência. A empresa também possui o papel de contribuir e incentivar empreendimentos a cumprirem com as legislações ambientais e a desenvolverem suas atividades de maneira sustentável, por meio do acompanhamento das condicionantes ambientais vigentes para os empreendimentos contratantes e do desenvolvimento de projetos e programas ambientais voltados à conscientização e a redução de danos ao meio ambiente.

Os seus princípios são:

- **MISSÃO:** Prestar serviços ambientais com foco na qualidade e no eficaz atendimento aos clientes;

- **VISÃO:** Por meio de um trabalho sério, responsável e competente, tornar-se excelência no desenvolvimento de estudos ambientais;
- **VALORES:** A Ekos alicerça-se em três valores fundamentais: ética, qualidade e responsabilidade.

### 1.3. Equipe técnica

TÉCNICO	FORMAÇÃO	REGISTRO PROFISSIONAL	RESPONSABILIDADE
<b>COORDENAÇÃO</b>			
Amara Borges Amaral	Bióloga Msc. Geografia (UFU)	CRBio n. 57.655/04-D	Coordenação geral e revisão final
Álison Martins de Oliveira	Eng. Ambiental / Geógrafo Esp. Gestão Ambiental	CREA-MG n. 114.622	Responsável técnico
<b>ELABORAÇÃO</b>			
Bruno Braga Justo	Engenheiro Ambiental (UNESP)	CREA-SP n. 5069031051	Apoio técnico
Emanuelle Zordan de Melo	Engenheira Ambiental	CREA-MG n. 193.660	Geoprocessamento

## 2. JUSTIFICATIVA

O crescimento do consumo de energia elétrica no Brasil entre os anos de 2004 e 2014 foi de 43,60%, segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2015), ou seja, aproximadamente 4,5% ao ano. Porém, nos últimos anos, os investimentos em geração de energia elétrica no Brasil não acompanharam o crescimento da demanda. Por exemplo, a geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores cresceu apenas 3,2% em 2013 (EPE, 2014). O Brasil é um país em desenvolvimento, mas o crescimento da capacidade de geração não é proporcional, aumentando assim os riscos causados pelo déficit de energia elétrica.

Logo, para suprir a crescente demanda e reduzir os riscos futuros em relação ao fornecimento de energia elétrica no Brasil, os investimentos privados vêm solucionar a falta de investimentos no setor energético por parte das estatais. Dentro da atual realidade nacional e a necessidade de oferta de energia a curto prazo, esta parece ser, talvez, a única alternativa viável a ser adotada pelo país.

As PCH's são uma tendência atual em todo o Brasil, já que o potencial de degradação ambiental desse sistema é consideravelmente menor que o das usinas hidrelétricas (UHE). O estado de Minas Gerais, em específico, é atraente para o setor energético por sua peculiar formação de relevo, com vastas regiões de morros, o que normalmente resulta em vales bem encaixados, facilitando a implantação dos empreendimentos hidrelétricos e evitando grandes áreas alagáveis.

Neste sentido a PCH Machado será mais uma contribuição direcionada para o atendimento à demanda de energia no Brasil, cooperando com o desenvolvimento econômico local, regional e nacional, não omitindo a preocupação com o meio ambiente. O principal objetivo do empreendedor é a geração de energia elétrica com o menor custo social e ambiental.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Este capítulo descreverá sucintamente as informações, que se referem à caracterização do empreendimento, contidas de forma ricamente detalhadas no Projeto Básico elaborado pela empresa R3 Engenharia e Consultoria, sob responsabilidade técnica do Engenheiro Bruno Nogueira da Costa (**Anexo I**).

A PCH Machado, com registro ativo junto a ANEEL, Processo nº **48500.005215/2013-35**, **Despacho nº 3.404, de 07 de outubro de 2013**, é uma pequena central hidrelétrica que contará com um reservatório de 81,00 hectares no NA normal e uma potência instalada de 12,25 MW, e uma estrutura de barramento, vertimento, circuito de adução e geração dimensionada para o aproveitamento total do potencial energético entre as usinas PCH Malagone e UHE Itumbiara, conforme identificado nos Estudos de Inventário Hidrelétrico da Bacia Hidrográfica do rio Uberabinha. Seu modelo segue o padrão das pequenas centrais hidrelétricas, estando dotada de barragem com geração no pé. Suas características gerais são apresentadas no Quadro 3.1.

**Quadro 3.1.** Características básicas da PCH Machado

PARÂMETROS	UNIDADES	PCH MACHADO
Potência Instalada (Pi)	MW	12,25
Energia Média (Em)	MWméd	6,77
Custo de Implantação (Ci)*	R\$(10 <sup>3</sup> )	62.668,00
ICB c/Emédia	R\$/MWh	138,52
Custo Unitário de Referência	R\$/MWh	164,00
* com JDC (juros durante a construção)		

O arranjo adotado é constituído de uma barragem e vertedouro de soleira livre, ambos em CCR, localizada no km 9,0 do rio Uberabinha (sentido foz/nascente), com a casa de força e canal de fuga localizadas no pé da barragem, pela margem esquerda. A adução das vazões às turbinas será feita por dois condutos forçados, até as turbinas Kaplan S Montante de eixo inclinado.

O rio do Uberabinha é contribuinte da sub-bacia 60 – Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba. O empreendimento – barragem, desvio, adução e casa de força – está inserido no município de Tupaciguara e parte do vertedouro e barragem, na margem direita está localizada no

município de Uberlândia, estado de Minas Gerais, com as coordenadas conforme Tabela 3.1.

**Tabela 3.1.** Coordenadas da PCH Machado

LOCAL	COORDENADAS			
	UTM (fuso 23)		Geográficas	
	N	E	S	W
Barragem – eixo MD	7.937.166	761.623	18° 38' 24.930"	48° 31' 12.613"
Barragem – eixo ME	7.937.136	761.354	18° 38' 26.026"	48° 31' 21.772"

De modo geral, as estruturas da PCH assim podem ser descritas:

- Inicia-se com uma Barragem de CCR na margem esquerda, crista na elevação 548,00m e largura de 6,00m. Comprimento até a tomada d'água de 56,42m e altura máxima de 19,00m. Taludes do paramento de jusante com inclinação de 1,00V:0,75H e montante na vertical;
- Tomada d'água com crista na elevação 548,00m, largura de 13,20m e altura máxima de 25,60m. Dois vãos de 2,80m de base por 3,30m de altura. Cota do Canal de aproximação na elevação 529,15m e da soleira na 530,00m;
- Dois condutos forçados com diâmetro de Ø 2,90m, comprimento unitário de 17,70m com bloco de ancoragem;
- Casa de força, com 2 turbinas Kaplan S Montante, com o eixo na elevação 515,00. Área de montagem na cota 527,00. Canal de fuga na elevação 512,80m, com 11,9 m de largura, seguido de uma escavação de 1,00V:6,00H até a cota natural do fundo do rio;
- Muro de Ligação na margem esquerda, crista na elevação 548,00m e largura de 6,00m. Comprimento de 10,00m entre a tomada D'água e a Galeria de Desvio e altura máxima de 25,60m. Mesma seção da barragem de CCR;
- Galeria de desvio com crista na elevação 548,00m, largura de 11,70m até o vertedouro e altura máxima de 30,50m. Duas comportas de 2,85 de base por 3,40 de altura. Cota do canal de aproximação e restituição na elevação 518,00m. Taludes com inclinação de 1,00V:0,75H, conforme barragem de CCR;

- Vertedouro soleira livre com crista na elevação 543,00m com largura de 88,00m até o muro e altura máxima de 25,50m. Taludes com inclinação de 1,00V:0,75H, com dissipação em degraus. Possui uma bacia de dissipação (Laje) com 4,00m de comprimento na elevação 518,00m. Muro do vertedouro com a crista na 548,00, largura na crista de 6m, espessura de 2m e altura máxima de 30,5m;
- Barragem CCR na margem direita com a crista na elevação 548,00m e largura de 6,00m. Comprimento de aproximadamente 82m e altura máxima de 29,00m. Taludes do paramento de jusante com inclinação de 1,00V:0,75H e montante na vertical.

As principais características do empreendimento estão apresentadas na Tabela 3.2.

**Tabela 3.2.** Resumo PCH Machado

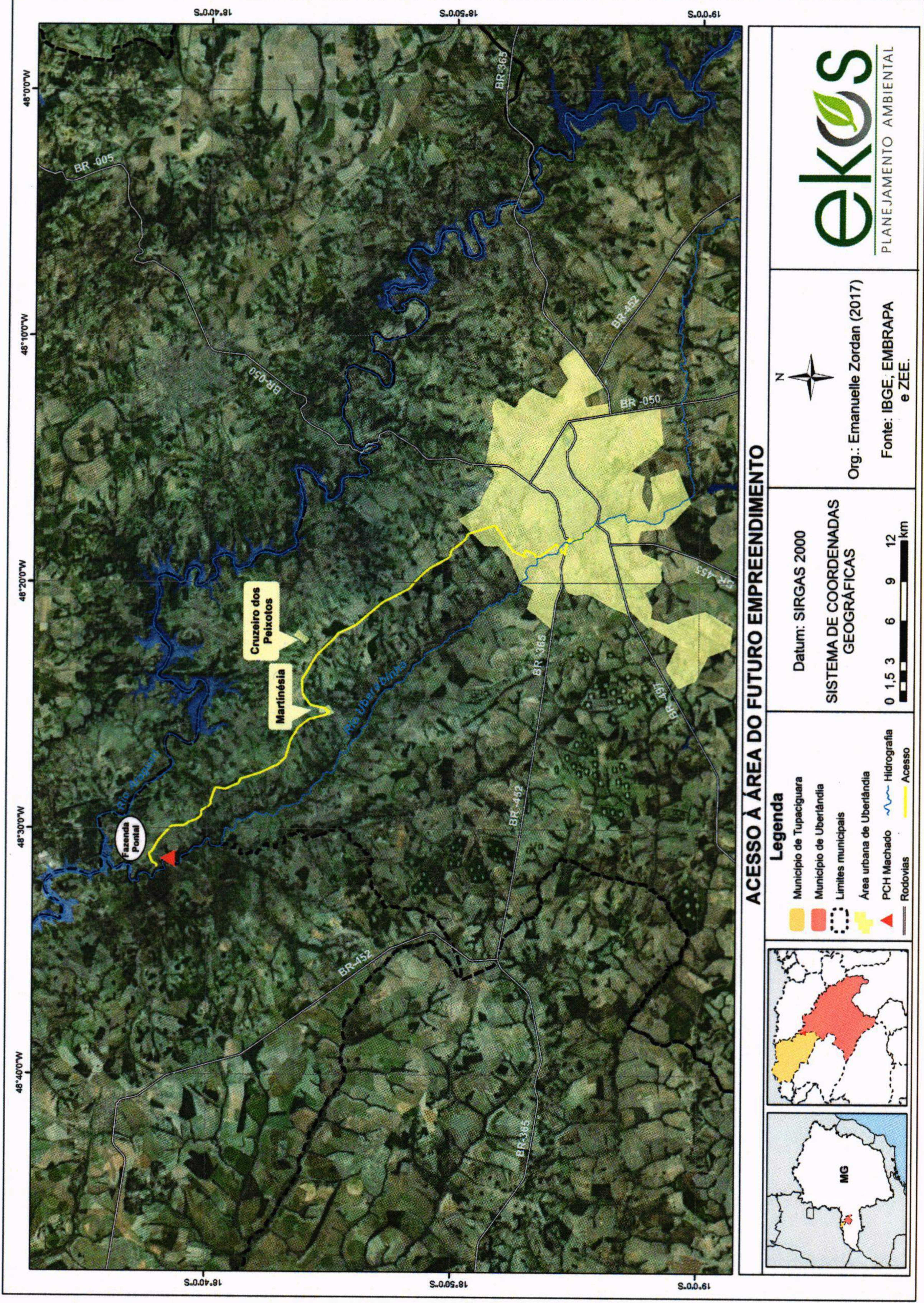
DADOS	VALORES	UNIDADES
QMLT	35,44	m <sup>3</sup> /s
Q95%	10,23	m <sup>3</sup> /s
Q50%	28,36	m <sup>3</sup> /s
Q(tr=1.000 anos)	1.021	m <sup>3</sup> /s
Q(tr=10.000 anos)	1.295	m <sup>3</sup> /s
NA Montante	544,80	m
NA Jusante Médio	520,28	m
Área do Reservatório (NA Normal)	0,81	km <sup>2</sup>
AD	2.128	km <sup>2</sup>
Potência Instalada	12,25	MW
Unidades	2	-
Tipo de Turbina	Kaplan S Montante	-
Energia Média	6,77	MWméd
Fk	0,55	-

### 3.1. Localização e acesso

A PCH Machado é prevista para localizar-se no rio Uberabinha, entre os municípios de Uberlândia e Tupaciguara, mais especificamente a 32 km da sede do município de Uberlândia e 16 km da sede do município de Tupaciguara, na Mesorregião Geográfica do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, inserida na região sudeste do País. Salienta-se que a maior parte das estruturas do empreendimento ficarão alocadas na zona rural de Uberlândia, na Fazenda do Pontal.



**Figura 3.1.** Mapa de localização da PCH Machado



### **3.2. Descrição geral das estruturas da PCH**

#### **Arranjo geral**

No arranjo geral da PCH Machado, na margem esquerda, inicia com uma pequena barragem de CCR, ligada à tomada d'água, seguida por outro trecho de barragem de CCR, estrutura de desvio, mais um trecho de barragem de CCR, que encontrará o vertedouro de soleira livre, seguindo pelo leito do rio até a margem direita onde fechará a estrutura de barramento com um último e pequeno trecho de barragem de CCR.

O reservatório da PCH Machado terá o seu nível d'água máximo normal na elevação 544,80m, enquanto o nível previsto para a vazão milenar está na elevação 547,35m e a cheia decamilenar atinge a cota 547,80m. No entanto, após o cálculo do Fetch e do amortecimento da onda, definiu-se a cota 549,50m como coroamento das estruturas para evitar o transbordamento em ocorrências de cheias excepcionais.

O aproveitamento foi concebido com geração ao pé do barramento, com circuito de adução composto por tomada d'água do tipo gravidade e dois condutos forçados, para alimentar duas unidades geradoras. A casa de força abrigará duas turbinas do tipo Kaplan S Montante eixo lateral, totalizando 12,25 MW de potência instalada, o canal de fuga será escavado em rocha para restituição das águas ao rio e o vertedouro de soleira livre, que em sua concepção foi adotado o perfil tipo Creager com dissipação de energia em degraus, estará localizado sobre a margem esquerda do rio, se estendendo até a ombreira da margem direita, com 113,00m de comprimento.

#### **Vertedouro**

O vertedouro será executado em soleira livre, com ogiva tipo Creager na El. 544,80m. O nível máximo de projeto, diz respeito à vazão milenar ( $1.021,95\text{m}^3/\text{s}$ ) que atinge a elevação 547,35m. No entanto, o dimensionamento final foi realizado admitindo-se a sobrelevação até o nível máximo máximo, para vazão decamilenar ( $1.295,57\text{m}^3/\text{s}$ ), com 3m de sobrelevação, alcançando-se a elevação de nível d'água na cota 547,80m.

Aplicando-se os dados das vazões e elevação máxima admitida para o vertedouro, chegou-se a um comprimento de crista de 113,00m e 32,00m de altura máxima, que são subdivididos em canal de aproximação, ogiva, degraus, bacia de dissipação e canal de restituição.

O vertedouro será misto de concreto convencional e CCR, sendo a toda a parte externa em concreto convencional e o interior em CCR, reduzindo de forma segura os custos construtivos. O paramento de montante será reto, ou seja 90° e o paramento de jusante terá inclinação de 1V:0,75H, onde seu prolongamento terminará na rocha fragmentada, devendo continuar a escavação vertical até a rocha sã, que deve estar entre 5 e 6m de profundidade. Uma laje de 5m deverá ser construída para evitar que a energia da dissipação fragmente a rocha ao longo dos anos.

A crista do vertedouro segue o dimensionamento hidráulico preconizado no manual do US Army Corps of Engineers, com perfil elíptico com a equação apresentada abaixo:

$$x^{1,85} = 2 * Hd^{0,85} * y$$

Onde, y corresponde à distância no eixo y em função da distância x e Hd corresponde ao nível d'água de vertimento. No caso, foi adotado o nível Hd de 3,00m para que a ogiva tivesse seu melhor desempenho garantido para vazões de cheias extremas. Na margem direita do canal de restituição do vertedouro, será necessária a remoção do solo e tratamento das encostas para que as vazões vertidas não degradem os barrancos. Para isso, será previsto rip-rap nas regiões limítrofes do canal de restituição. Dadas as inclinações naturais no terreno, o escoamento da vazão vertida rapidamente convergirá para o leito do rio, não necessitando de prolongamento ainda maior da área de restituição.

## **Barragem**

A barragem de CCR prevista para a PCH Machado ocorrerá em 4 trechos distintos, sendo 3 na margem esquerda e um na margem direita, onde terá uma espessura externa de 70,00cm em concreto convencional e todo o seu núcleo será em CCR. O barramento de jusante será vertical, isso é 90°, e o trecho de jusante terá inclinação de 1V:0,75H, partindo da face de montante na cota da cheia decamilenar. A cota de passeio sobre a barragem é a elevação 548,10m, com muretas laterais com elevação de 1,40m para evitar possíveis transbordamento do efeito das ondas para vazões de cheias excepcionais.

A galeria de drenagem será posicionada em sua cota inferior na El. 524,00m, correspondendo a elevação de uma cheia no leito natural do rio com TR=10 anos. A sua largura interna é de 2,00m, suficiente para inspeções e controle dos furos de drenagem. Ao se realizar a cota inferior da galeria, na El. 524,00m, serão realizadas as linhas dos furos de drenagem.

Furos de injeção poderão ser necessários para reduzir a percolação d'água pela fundação, de acordo com os critérios executivos da geologia e serão executados após atingir a cota da fundação. Igualmente como o vertedouro, a fundação será apoiada em rocha sã, porém a escavação ocorrerá na inclinação de 1V:0,75H até a rocha alterada seguindo com escavação vertical até a rocha sã.

### **Desvio do rio e ensecadeiras**

Uma das grandes vantagens de se realizar o arranjo da PCH Machado no atual eixo é o fato de se poder construir todas as estruturas de concreto à seco.

São previstas ensecadeiras de rocha e terra para a primeira e segunda fase de desvio. As bordas livres das ensecadeiras foram admitidas com 2,00m acima dos níveis de água de projeto citados mais adiante. As larguras das cristas das ensecadeiras de segunda fase foram concebidas com um comprimento de 8,00m e a saia no leito do rio deve ser suficiente para não interferir na construção das estruturas.

Na primeira etapa de obra, todas as escavações das estruturas de concreto serão realizadas à seco, necessitando de um pequeno cordão de ensecadeira longitudinal ao rio para garantir que as escavações não sofram com eventuais cheias. Após a realização das barragens de CCR na margem esquerda, da estrutura de desvio, iniciará o avanço das ensecadeiras de 2ª fase, para a construção do vertedouro no leito do rio.

No início da estiagem, serão lançadas as ensecadeiras de 2ª fase a montante e a jusante para ensecar a região do vertedouro no leito do rio, que se apoiarão no terreno natural, na margem direita, e na Barragem CCR já construída na margem esquerda. Para esta obra, previu-se um período de 6 meses, com risco de 5,13%, repercutindo em ensecadeiras dimensionadas para atender à cheia com tempo de recorrência de 10 anos (121,90 m<sup>3</sup>/s). O desvio do rio será realizado por meio de adufas, sob o vertedouro controlado na margem esquerda, dimensionadas com dois vãos de seção 3,00m x 3,50m. A soleira das adufas estará na El. 518,00m e o seu comprimento será de 29,00m.

A partir do cálculo dos níveis d'água do trecho de jusante, que foram obtidos a partir da curva chave da seção e a partir dos cálculos hidráulicos da planilha de dimensionamento da Eletrobrás, definiu-se as cristas das ensecadeiras de montante e jusante respectivamente, nas elevações 525,00m e 523,00m.

Como a obra passará por um período de cheia, os vãos da estrutura de desvio não comportarão a passagem da vazão de cheia com  $tr=10$  anos, que corresponde a  $466,13\text{m}^3/\text{s}$ , portanto, esta prevista a suspensão das obras quando o vertedouro alcançar a cota 524,00, e que a passagem de uma cheia com as proporções mencionadas irá submergir temporariamente o vão rebaixado do vertedouro, com largura de 42,00m. Prevê-se o vertimento de cerca de  $210,00\text{m}^3/\text{s}$  pelas galerias e  $270,00\text{m}^3/\text{s}$  pelo vertedouro rebaixado, sobrelevando a cota em 2,50m, até a cota 526,50.

Na época de estiagem, apenas a ensecadeira de montante será recomposta, pois para trecho de jusante a cota do vertedouro já será suficiente para garantir a continuidade da construção.

A descida das comportas das galerias será realizada por caminhões guindastes, após a conclusão de todas as estruturas, tamponando os dois vãos. O primeiro vão será fechado no período de estiagem, com a descida de uma comporta vagão por jusante e uma comporta ensecadeira por jusante. Após o esgotamento interno, será realizado o tamponamento com concreto estrutural e as duas comportas serão retiradas e colocadas no outro vão. Neste momento o nível d'água subirá rapidamente até a cota 544,80, que corresponde à cota de vertimento. Após o tamponamento do último vão, deverão ser retiradas todas as comportas.

## **Circuito de adução e geração**

### Canal de adução/aproximação

O canal de adução, na verdade é um aplainamento da região de entrada da tomada d'água, com cota 537,00 ou topo rochoso. Sua função é permitir a condução da água a baixa velocidade, cerca de  $0,5\text{m}/\text{s}$ . O raio externo da escavação é de 35,00m, devendo alargar 2,00m além do limite externo da tomada d'água, para melhorar a eficiência da adução.

### Tomada d'água

A tomada d'água compõe-se por duas aduções totalizando uma largura de 11,75m e 9,00m de comprimento, com soleira na El. 537,80m e crista na El. 549,50m e contará com gradeamento de proteção, do tipo removível, que se apoia e se desloca em guias de aço embutidas no concreto, desde a soleira até o piso de operação da crista da tomada d'água. Na mesma ranhura onde será utilizada as grades de proteção, também será utilizada para a

comporta ensecadeira, quando houver necessidade de se realizar manutenção da tomada d'água e na casa de força.

As operações de instalação e retirada da comporta ensecadeira das ranhuras de operação somente serão realizadas sob equilíbrio de pressões hidráulicas, isto é, em águas paradas. As comportas vagão serão metálicas, de construção soldada, consistindo estruturalmente de painéis interligados, e possuirá paramento e plano de vedação voltados para jusante.

As operações de montagem e desmontagem da comporta vagão serão executadas com o auxílio do pórtico rolante da Tomada d'Água.

Para evitar a formação de vórtices junto a estrutura, no caso de tomada submersa, a submergência da aresta superior da boca de entrada da tomada d'água deve ser verificada utilizando-se a fórmula de Gordon J. L. ("Vortices at Intakes", WP&DC, April, 1970):

$$S = CVd^{0,5}$$

Onde,

- $C = 0,7245$  ou  $0,5434$  (para unidades métricas), para escoamento de aproximação assimétrico e simétrico, respectivamente;
- $V$  = velocidade do escoamento (m/s) na região da comporta, de 2,80m/s;
- $d$  = altura do conduto de adução (m), de 3,00m.

A submergência mínima calculada resultou em 3,51m, tendo sido adotado o valor de 3,60m no projeto.

#### Conduto forçado

A PCH Machado contará com dois condutos forçados fabricados com chapas de aço calandradas e soldadas, para condução de água desde a tomada d'água até as turbinas, estando ancorados por blocos de ancoragem tanto na saída da tomada d'água quanto na chegada da casa de força. No meio dos condutos, haverá a necessidade de instalação de um bloco de apoio para distribuir as cargas e reduzir os esforços dos momentos fletores. O diâmetro adotado será de 3,00m que possibilitará uma vazão máxima de 29,17m<sup>3</sup>/s e uma velocidade limite de 4,12m/s. Os condutos sofrerão duas importantes deflexões, uma de 45° na saída da tomada d'água e outra de 35° na chegada da casa de força.

## Casa de força

A Casa de Força será composta por duas turbinas do tipo Kaplan S Montante com eixo inclinado. A potência unitária é de 6,125MW. A casa de força possui a cota de fundação na El. 513,40m e necessitará de uma galeria de drenagem para a redução da subpressão em ocorrências de cheias, evitando a flutuação da mesma. O bloco da estrutura é de 26,00m x16,00m. A área de montagem está prevista na El. 528,50m, acima do NA Max. Maximorum.

As principais características da turbina são:

**Quadro 3.2.** Principais características das turbinas hidráulicas

ESTRUTURAS	ESPECIFICAÇÕES
Tipo de turbina	Kaplan S com gerador a jusante;
Tipo de acoplamento	Direto sem multiplicador de velocidades;
Quantidade de turbinas	2 unidades;
Potência nominal unitária no eixo da turbina	6.125 kW <sup>(*)</sup> ;
Queda líquida de projeto	23,81 m;
Rotação nominal da turbina	327,0 rpm <sup>(*)</sup> ;
Rotação síncrona do gerador	327,0 rpm <sup>(*)</sup> ;
Vazão nominal unitária mínima	~ 7,30 m <sup>3</sup> /s;
Vazão nominal unitária máxima	~ 29,2 m <sup>3</sup> /s;
Rendimento nominal máximo da turbina	92,6% <sup>(*)</sup> ;
Engolimento mínimo de uma turbina	25,0%;
Elevação da linha de centro das unidades	516,60 m;
Altura mínima de sucção	-2,5 m <sup>(*)</sup> ;
Diâmetro externo estimado na aresta de saída do rotor	2,0 m <sup>(*)</sup> ;
Massa total estimada de uma turbina	53,0 ton <sup>(*)</sup> .

(\*) A ser confirmado pelo Fabricante durante o Projeto Executivo.

## Canal de fuga

O canal de fuga teve sua seção de área molhada necessária para manter a velocidade limite de 1,00m/s, próximo à restituição no leito do rio, com intuito de manter a perda de carga sob níveis admissíveis. O canal possui largura inicial de base de cerca de 15,00m e está estabelecido na cota 515,15m, na saída do tubo de sucção. Seu comprimento médio é de cerca de 25,00m, com cota de fundo variando linearmente até atingir o leito do rio próximo da cota 518,50m.

## Perdas de carga

Foram avaliadas as perdas de carga esperadas no circuito de adução e geração, ou seja, no trecho compreendido entre a entrada da tomada d'água e a saída do canal de fuga. Este trecho tem como característica a presença de uma série de singularidades que causam perdas localizadas (curvas), além da perda contínua por atrito ao longo de seus elementos constituintes.

Foram seguidas as recomendações de cálculo indicadas nas Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS), calculando as principais perdas que são: na grade da tomada d'água, entrada do conduto, atrito no conduto, curvas no conduto e perdas por redução cônica. Os resultados indicaram uma perda aproximada de 0,71m corresponde a 2,89% da queda bruta média (24,52m), valor considerado adequado ao projeto e compatível com os resultados indicados nos estudos energéticos.

## **Planejamento da construção e cronograma físico**

O cronograma físico de construção (Figura 3.2) contempla 24 meses, iniciando com a mobilização do construtor em agosto do ano 1 e concluindo com a geração da segunda unidade em julho do ano 3, período subdividido em cinco etapas de implantação abaixo descritas:

### **1ª ETAPA – DESVIO**

- Obtenção da Licença Ambiental de Instalação;
- Mobilização do empreiteiro;
- Canteiro de obras, acampamento e acessos;
- Contratação dos equipamentos principais: turbinas, geradores e comportas;
- Início da escavação à seco em ambas as margens, no final do período de seca;
- Execução das ensecadeiras de primeira fase para avanço da construção da estrutura de desvio, barragem CCR até o muro do vertedouro;
- Nesta fase a escavação da casa de força já deverá estar adiantada, assim como as demais escavações fora da calha do rio;
- Início da construção da tomada d'água/casa de força;
- Início da montagem dos equipamentos eletromecânicos;
- Escavação do canal de fuga.



## 2ª ETAPA – RIO DESVIADO PELAS GALERIAS/ADUFAS DE DESVIO

- Concluída a barragem CCR da margem esquerda e a galeria de desvio;
- Executar as ensecadeiras de montante e jusante, para o desvio no período de estiagem;
- Construção da ensecadeira para avanço da construção da estrutura de desvio, barragem CCR até o muro do vertedouro;
- Escavação da fundação do vertedouro, construção do vertedouro até a El. 524,00m;
- Avanço da construção do vertedouro para a margem direita;
- Continuação da construção da casa de força.

## 3ª ETAPA – FECHAMENTO DAS COMPORTAS DO VERTEDOIRO E FORMAÇÃO DO RESERVATÓRIO

- Passagem da cheia, nas galerias e no vertedouro rebaixado na El. 524,00m;
- Montagem dos equipamentos eletromecânicos;
- Início da construção da subestação e linha de transmissão.

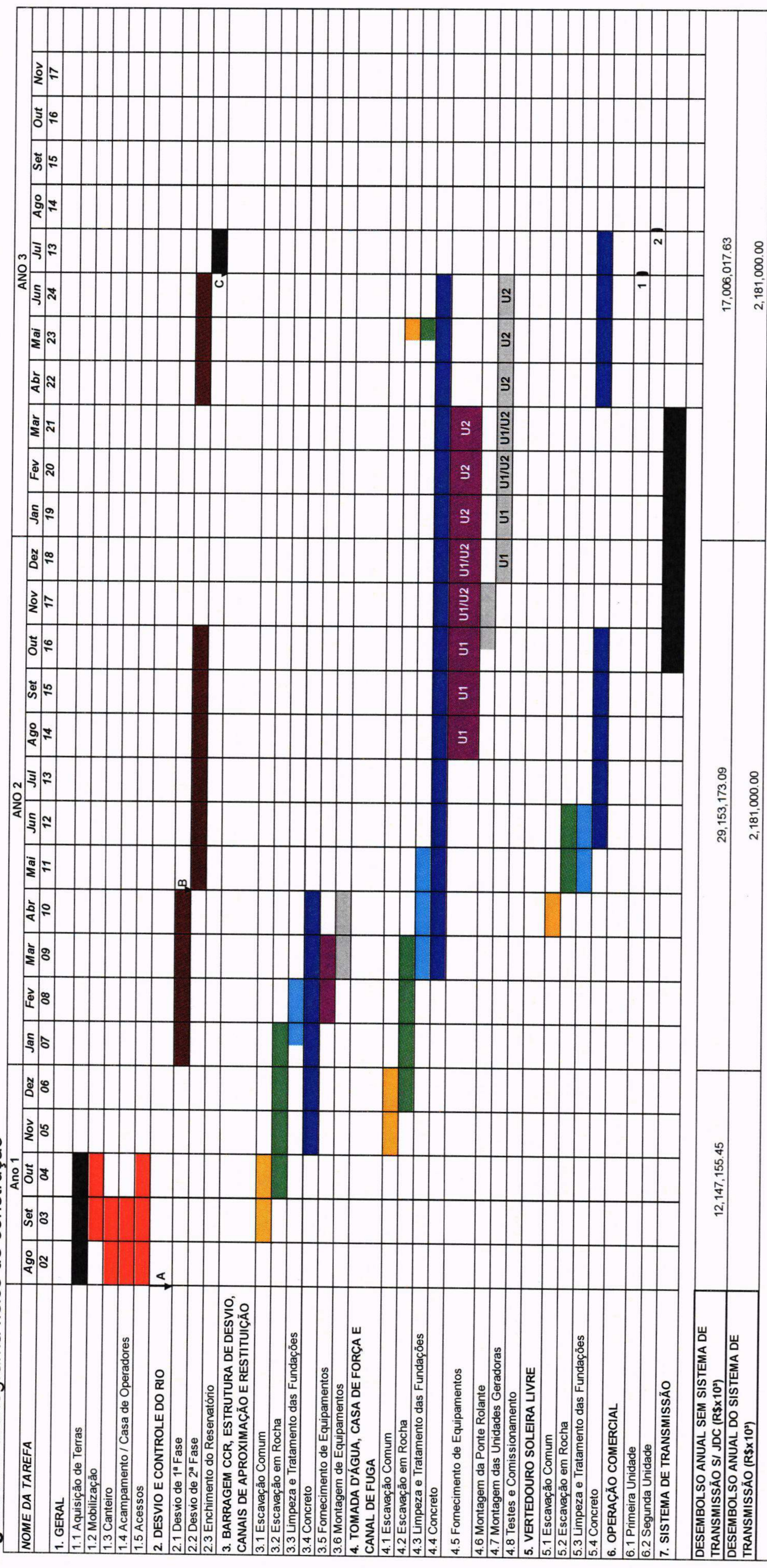
## 4ª ETAPA – FINALIZAÇÃO DO VERTEDOIRO

- Após o término da passagem da cheia, reconstruir as ensecadeiras para a finalização da construção do vertedouro no vão central;
- Montagem dos equipamentos eletromecânicos da tomada d'água e casa de força;
- Obtenção da Licença Ambiental de Operação.

## 5ª ETAPA – CONCLUSÃO DAS OBRAS E GERAÇÃO

- Após a finalização de todas as estruturas, serão tamponadas as duas galerias de desvio;
- Ocorrerá o enchimento do reservatório e vertimento;
- Enchimento do reservatório;
- Conclusão de todas as estruturas;
- Conclusão da montagem eletromecânica;
- Testes e comissionamento;
- Geração comercial.

**Figura 3.2. Cronograma físico de construção**



**LEGENDA**

- Infra-estrutura
- Limpeza e Tratamento de Fundação
- Aterro / Escavação Comum
- Enrocamento / Escavação em Rocha
- Concreto
- Fornecimento de Equipamentos
- Ensecadeiras
- Montagem de Equipamentos
- U1
- Unidade 1
- U2
- Unidade 2

## 4. ESTUDOS HIDROMETEOROLÓGICOS E HIDROLÓGICOS

O estudo hidrológico apresentado sucintamente neste capítulo foi extraído do Projeto Básico (**Anexo I**) elaborado pela empresa R3 Engenharia e Consultoria, sob responsabilidade técnica do Engenheiro Bruno Nogueira da Costa. O projeto da PCH Machado é limitado à montante pela PCH Malagone e à jusante pela represa da UHE Itumbiara. O rio está totalmente inserido no estado de Minas Gerais, mais precisamente na região do Triângulo Mineiro. O trecho do rio Uberabinha já inventariado corresponde justamente de suas nascentes até a PCH Malagone.

Conforme o estudo de inventário já aprovado no trecho do rio em questão, o rio Uberabinha tem suas nascentes localizadas próximo às coordenadas 19°20' de Latitude Sul e 47°55' de Longitude Oeste, a uma altitude aproximada de 800 metros, município de Uberaba-MG. Das cabeceiras, segue na direção aproximada SE-NW, por cerca de 118 km, até atingir o rio Araguari, pela margem esquerda no remanso do reservatório de Itumbiara, próximo da cota 520,00m, nas proximidades dos municípios de Uberlândia e Tupaciguara-MG.

O trecho já inventariado tem como principais afluentes, pela margem esquerda, os Ribeirões Bom Jardim, Beija Flor, Fortaleza, Roncador, Rancharia, Bugre, Estiva, Capim Branco, rio da Prata e diversos outros; pela margem direita, Córregos São Pedro, Salto, Boa Vista, Gordura, Fazenda Velha, Martinésia e outros. Um dos principais afluentes do rio Uberabinha, o qual não está compreendido pelo trecho inventariado é o rio das Pedras. Esse rio, cuja área de drenagem é de aproximadamente 423,00km<sup>2</sup>, apresenta significativa contribuição às vazões do aproveitamento que constitui o presente estudo e será avaliado para fins de geração hidrelétrica nesse trecho.

O presente estudo visa à caracterização hidrológica do rio Uberabinha no trecho mencionado e, para isso, além das informações hidrológicas resultantes do monitoramento da região, contará com o apoio de estudos já realizados na bacia para fins de definição dos parâmetros hidrológicos de construção e operação do aproveitamento hidrelétrico vislumbrado.

#### **4.1. Estudos anteriores e ajustes**

Os estudos hidrológicos apresentados à época do Inventário Hidrelétrico Simplificado do rio Uberabinha aprovado no ano de 2013 foram elaborados dentro das exigências e especificações do Manual de Inventário Hidrelétrico da Eletrobrás, exceto com relação aos estudos de vazões máximas, em que se obteve um valor abaixo daquele verificado pela SGH/ANEEL, devido ao fato de se ter utilizado cálculos de distribuição do tipo Pearson III e o coeficiente de Tucci, em vez de utilizar a distribuição de Gumbel e o coeficiente de Fuller, conforme recomendado no Manual de Inventário.

Os atuais estudos de vazões máximas de cheias estão adequando a metodologia proposta pela ANEEL, em favor da segurança, quando foi apontada uma diferença de 18% na aplicação das metodologias acima citadas.

Os estudos de vazões médias no Inventário Hidrelétrico foram realizados de forma bastante consistente, com validação através da correlação de dados de vazões específicas de bacias hidrográficas vizinhas e com base na relação de dados pluviométricos regionais.

Entretanto, cabe citar que o Projeto Básico, além de atualizar a base de dados para até o final do ano de 2013, revisou a área de drenagem do eixo do barramento, chegando ao valor de 2.128,00km<sup>2</sup>, contra os 2.192,00km<sup>2</sup> previstos no Inventário Hidrelétrico. Esta diferença se deve ao posicionamento final do eixo da PCH Machado que ficou a montante do eixo da PCH Machado Baixo (eliminado nos estudos preliminares), que estava localizado após um pequeno afluente, conhecido como ribeirão Gordura, que incrementava o AHE Machado Baixo em cerca de 64,00km<sup>2</sup>. Destaca-se que tal inviabilização ocorreu devido ao fato deste afluente pertencer à bacia de acumulação da UHE Itumbiara, conforme detalhado no Projeto Básico.

A curva-chave foi obtida a partir da aplicação do software HEC-RAS. Foram usados os dados das seções topobatimétricas e dos levantamentos de campo e adotou-se como coeficiente de rugosidade de Manning o valor de 0,04. Os atuais estudos justificam o valor de Manning para a simulação da curva chave do reservatório e também do remanso do reservatório.

## Caracterização fisiográfica da bacia

Os índices fisiográficos das bacias são indicadores para os estudos de regionalização e consistência de dados fluviométricos. Aspectos fisiográficos da bacia, tais como área, perímetro, forma, densidade de drenagem, declividade do rio e tempo de concentração auxiliam na interpretação dos resultados dos estudos hidrológicos e permitem estabelecer relações e comparações com outras bacias conhecidas.

Esses aspectos têm influência direta no comportamento hidrológico da bacia em estudo e, conseqüentemente, no regime fluvial e sedimentológico do curso d'água. A comparação dessas características e suas relações são um importante subsídio para a definição de "regiões hidrológicamente homogêneas", conceito de caráter relativamente subjetivo e que também depende da experiência do profissional em hidrologia.

A Tabela 4.1 apresenta um resumo dos índices fisiográficos de algumas estações representativas da região que englobam a bacia do rio Uberabinha. A escolha desses pontos para a caracterização fisiográfica é justificada pelo fato de que são esses os elementos de importância para o processo de regionalização de vazões. Ressalta-se que o rio Uberabinha é monitorado por uma estação fluviométrica, e uma estação desativada, sendo necessário, portanto, o estudo de regionalização para que sejam gerados novos dados na bacia desse rio.

**Tabela 4.1.** Índices Fisiográficos – Estações na Região do rio Uberabinha

TRECHO	PCH Machado	Estação Letreiro	Estação Sucupira
<b>COORDENADAS</b>	18°38'24"S 48°31'16" W	18°59'18"S 48°11'25" W	18°59'11" S 48°09'53" W
Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	2128	777	716
Perímetro (km)	288	155	188
Comprimento Rio Principal (km)	151	75	72
Comprimento Total dos Rios (km)	243	75	72
Cota na Nascente (m)	970	970	970
Cota no Trecho (m)	520	810	840
Altura (m)	450	160	130
Kc (Índice de Compacidade)	1,75	1,56	1,97
Kf (Fator de Forma)	0,09	0,14	0,14
Dd (km/km <sup>2</sup> )	0,11	0,10	0,10
S (m/km)	2,98	2,13	1,81
TC (horas)	29,71	19,72	20,37

## 4.2. Informações hidrometeorológicas

### Dados climáticos

Localizado a oeste do estado de Minas Gerais, entre as coordenadas geográficas 18°18' e 20°27' Sul e 47°28' e 51°30' Oeste, o Triângulo Mineiro é composto por 4 microrregiões, sendo elas: Frutal, Ituiutaba, Uberaba e Uberlândia, com um total de 35 municípios. Apresenta duas estações bem definidas: uma quente e úmida e outra fria e seca, que segundo a classificação de *Köppen-Geiger* esta região encontra-se inserida no subtipo de classificação do grupo A, própria aos climas *Semiúmidos com verão chuvoso*. Devido à sazonalidade no regime pluviométrico, a umidade relativa do ar no período seco normalmente permanece abaixo de 70%, sendo que há registros de índices menores de 30% em algumas localidades.

Dentre os estudos de climatologia do Triângulo Mineiro, Mendes (2001) considera que:

O clima regional, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo Aw, com inverno seco e verão chuvoso, dominado predominantemente pelos sistemas intertropicais e polares, que dão origem a alguns eventos pluviais mais concentrados (MENDES, 2001, p. 68).

A porção oeste do estado de Minas Gerais possui influência das massas de ar mencionadas anteriormente: Equatorial Continental (verão), Polar Atlântica (inverno), Tropical Continental e Tropical Atlântica. No período seco, a massa Polar impede a formação de nuvens devido ao ar encontrar-se frio e seco, enquanto que a umidade da massa Equatorial favorece precipitações no verão.

Para caracterização do clima na região, foram consultadas as normais climatológicas relativas ao município de Uberaba (Tabela 4.2). Essas normais serão consideradas representativas da área de estudo.

**Tabela 4.2.** Normais climatológicas representativas do rio Uberabinha

Temperatura Média Compensada (°C)												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
23.5	23.5	23.5	22.2	19.8	18.8	18.5	20.9	22.6	23.2	23.3	23.1	21.9
Temperatura Máxima (°C)												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
29.7	30.2	30.3	29.4	27.9	27.2	27	29.4	30.6	30.3	29.7	29.2	29.2
Temperatura Mínima (°C)												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
19.2	19	18.8	17.1	14.3	12.6	12.2	14.2	16.6	17.9	18.4	19	16.6
Temperatura Máxima Absoluta (°C)												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
36	36.3	35.8	34	32.4	31.6	33.4	36.1	37.6	37.5	37.5	36.8	37.6
1978	1974	1981	1963	1963	1972	1990	1967	1961	1966	1976	1963	1961
Temperatura Mínima Absoluta (°C)												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
10	12.3	11.4	8.4	2.6	2.8	-2.2	4.6	7	8.8	10.2	12.8	-2.2
1990	1971	1961	1972	1962	1962	1981	1990	1966	1989	1970	1972	1981
Pressão Atmosférica (hPa)												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
929.1	929.7	930.2	93.1	932.9	934.2	934.6	933.3	932.2	930.1	929.8	928.9	931.9
Insolação Total (horas e horas/dia)												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
193.4	186.9	218.2	231.6	252.6	254.5	274.7	280.4	230.1	230.4	217.1	171.6	2741.5
6.24	6.62	7.04	7.72	8.15	8.48	8.86	9.05	7.67	7.43	7.24	5.54	7.51
Evaporação Total (mm)												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
94.4	81.9	96.1	100.3	109.2	118.2	147.5	198.8	191.3	149.3	110.2	99.5	1496.7
Umidade Relativa do Ar (%)												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
80.5	80.9	79.5	76.2	74.6	73.1	67.3	58.9	63	70.6	75.2	80.4	73.4
Precipitação mensal (mm)												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
202.4	224.1	186.9	89.6	38	23.3	17.1	15.9	53.1	167.8	205.5	252.5	1476.3
Intensidade do vento (m/s)												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
1.74	1.51	1.46	1.44	1.5	1.52	0.65	1.93	1.96	1.92	1.8	1.82	1.69
Direção Predominante do Vento (graus)												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
40	51	63	75	64	59	60	55	63	62	Calmo	46	57