





**Premio Internacional Puente de Alcántara  
correspondiente a Iberoamérica**

# Aprovechamiento Hidroeléctrico de Irapé

**Valle del río Jequitinhonha, Minas Gerais. Brasil  
Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG**

Flávio Fernandes Novaes, Tibiriçá Gomes de Mendonça, Enio Marcus Brandão Fonseca, Sérgio Luiz C. Fernandes, Andréia Cássia Pinto P. de Almeida, Wilson Roberto Grossi, José William Campomizzi, Romildo Dias Moreira Filho, Mônica Neves Cordeiro

**Resumen:** La Presa de la Hidroeléctrica de Irapé, concluida en el 2006, con 208 metros de altura y 550 metros de longitud, es la presa más alta de Brasil y la segunda del continente sudamericano y la más grande del mundo de escollera con núcleo de arcilla. Con una inversión total de R\$ 1,4 billones de "reais" [reales] (más de 520 millones de euros), está localizada en la región sudeste de Brasil, en la región nordeste del estado de Minas Gerais, en el tramo medio del Valle del río Jequitinhonha, entre los municipios de Berilo en la margen derecha y Grão Mogol en la izquierda. Se trata de una infraestructura estratégica porque, a través de su capacidad de producción de energía y generación de renta, permite la incorporación de la región al proceso de desarrollo socioeconómico del país y el aumento del indicador IDH, Índice de Desarrollo Humano, de la misma.

La central, con 360 MW de potencia instalada, posee un embalse que forma un gran lago de 137,16 km<sup>2</sup> de superficie y capacidad de almacenaje de 5.963.920 Hm<sup>3</sup>, aprovechando un desnivel natural de 185,00m en una zona de relieve bastante accidentado, del tipo *canyon*, con una geología adversa con altos contenidos de minerales sulfurosos presentes en las rocas del tipo cuarzo, mica, y pizarra grafitosa en el lugar de la implantación.

Por esta razón, se optó por impermeabilizar todos los contactos entre el hormigón y la roca, estableciendo una zonificación apropiada de la presa y utilizando áridos libres de sulfuros en la composición del hormigón. Debido al relieve accidentado se utilizaron alternativas de accesos en túneles y estructuras subterráneas para los conductos forzados y para el canal de los aliviaderos.

Fueron necesarias soluciones innovadoras de ingeniería para poder convivir con las cuestiones de drenaje ácido, resultante de la oxidación de los minerales sulfurosos, además de las dificultades constructivas surgidas al tratarse de un valle muy encajado.

Localizada en una de las regiones más necesitadas del país, Irapé exigió tecnologías de punta en lo que se refiere a los trabajos con las comunidades rurales afectadas por la obra, con el menor impacto ambiental y social posible.

**Palabras Clave:** Ingeniería de Represa; Aprovechamiento Hidroeléctrico; Irapé; Generación de Energía; Rocas con sulfuros; Geotecnia; Hormigón; Presas

# Aproveitamento Hidrelétrico de Irapé

Vale de Rio Jequitinhonha, Minas Gerais. Brasil. Companhia Energética de Minas Gerais–CEMIG

**Resumo:** A Barragem da Hidrelétrica de Irapé, concluída em 2006, de 208 metros de altura e 550 metros de comprimento, é a barragem mais alta do Brasil e a segunda do continente sul americano e a maior do mundo com núcleo de argila e enrocamento rochoso. Um investimento total de R\$ 1,4 bilhões de reais (mais de 520 milhões de euros), que está localizada na região sudeste do Brasil, na região nordeste do estado de Minas Gerais, no trecho médio do Vale do rio Jequitinhonha, entre os municípios de Berilo na margem direita e Grão Mogol na margem esquerda. Este empreendimento é uma infraestrutura estratégica por proporcionar, através da sua capacidade de produção de energia e geração de renda, a integração da região ao processo de desenvolvimento sócio-econômico do país e o aumento do indicador IDH, Índice de Desenvolvimento Humano, desta região.

A usina, com 360 MW de potência instalada, possui um reservatório que forma um grande lago de 137,16 km<sup>2</sup> e capacidade de armazenamento de 5.963.920 hm<sup>3</sup>, explorando um desnível natural de 185,00m em um local de relevo bastante acidentado, do tipo *canyon*, em terreno geológico adverso geoquimicamente devido aos altos teores de minerais com sulfetos presentes nas rochas do tipo quartzo-mica xisto grafitoso do sítio de implantação.

Por esta razão, optou-se por impermeabilizar todos os contatos entre o concreto e a rocha, estabelecer um zoneamento apropriado da barragem e utilizar agregados isentos de sulfetos na composição do concreto. Em função do relevo acidentado utilizaram-se alternativas de acessos em túneis e estruturas subterrâneas para os condutos forçados e para a calha dos vertedouros. Foram necessárias soluções inovadoras de engenharia para se conviver com as questões da drenagem ácida, resultante da oxidação dos minerais sulfetados, além das dificuldades construtivas por se tratar de um vale muito encaixado.

Localizada em uma das regiões mais carentes do país, Irapé exigiu tecnologias de ponta no tocante aos trabalhos com as comunidades rurais afetadas pelo empreendimento, com o menor impacto ambiental e social possível.

**Palavras-chave:** Engenharia de Barragens; Aproveitamento Hidrelétrico; Irapé; Geração de Energia; Rochas com Sulfetos; Geotecnia; Concreto; Barragens

## The Irapé Hydroelectric Power Plant

on the River Jequitinhonha, Minas Gerais, Brazil. Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG

**Abstract:** The 208 m high and 550 m long Irapé Dam, completed in 2006, is the highest dam in Brazil, the second highest in the South America and the largest earth core rockfill dam in the world. The dam which cost R\$ 1.4 billion (over 520 million euros), is located in southeast Brazil, in the northeast of the State of Minas Gerais, in a central section of the River Jequitinhonha Valley set between the districts of Berilo, on the right bank and Grão Mogol on the left bank. This plant forms a strategic infrastructure guaranteeing energy and ensuing income generation and one that will enable the incorporation of the region within the socio-economic development of the country and raise the Human Development Index (HDI) in the region.

The plant, with its 360 MW installed capacity, has a 137.16 km<sup>2</sup> impounding reservoir with a 5,963,920 hm<sup>3</sup> storage capacity, and exploits a 185 m natural head in an abrupt gorge. The geological characteristics of the site are geochemically adverse on account of the large proportion of sulphur bearing minerals present in the quartz, mica, shale and graphite rock.

On account of these characteristics, an impermeable lining was formed between the concrete and the rock, establishing suitable zonation of the dam and employing sulphur free aggregates in the concrete mix. On account of the irregular nature of the terrain, alternatives in the form of tunnel accesses and underground structures were employed for the penstock and spillway.

Innovative engineering solutions were required to overcome the problem of acid drainage, arising from the oxidation of the sulphurous minerals, and to offset the construction difficulties posed by the very closed-in nature of the valley.

The Irapé Dam is set in one of the poorer regions of the country and required state-of-the art technology to ensure minimum environmental and social impact to the affected rural communities in the area.

**Keywords:** Dam engineering; Hydroelectric power plant; Irapé; Electricity generation; Sulphur bearing rock; Geotechnology; Concrete; Dams



## El Aprovechamiento hidroeléctrico de Irapé explota un salto neto de proyecto de 166,5 m y un caudal máximo turbinado aproximado de 265,5 m<sup>3</sup>/s, con potencia nominal en los bornes de los generadores de 360 MW. La energía producida anualmente es de 1.807.188 MWh, suficiente para abastecer una población de 1 millón de personas, representan una importante fuente de energía segura y de calidad para las regiones norte y central del estado de Minas Gerais, e integra al sistema eléctrico energético brasileño

### Introducción

El Aprovechamiento hidroeléctrico de Irapé explota un salto neto de proyecto de 166,5 m y un caudal máximo turbinado aproximado de 265,5 m<sup>3</sup>/s, con potencia nominal en los bornes de los generadores de 360 MW. La energía producida anualmente es de 1.807.188 MWh, suficiente para abastecer una población de 1 millón de personas, representan una importante fuente de energía segura y de calidad para las regiones norte y central del estado de Minas Gerais, e integra al sistema eléctrico energético brasileño.

Los primeros estudios de la cuenca del río Jequitinhonha fueron realizados entre 1963 y 1965 por la empresa de consultoría canadiense CANAMBRA Engineering Consultante Limited, habiendo la CEMIG iniciado sus estudios de inventario en 1984 a través de la empresa Enerconsult Engenharia Ltda. El proyecto de viabilidad, desarrollado por la ingeniería de la CEMIG, fue concluido en 1993 y los estudios de proyecto básico fueron desarrollados entre 1998 y 1999, en alianza con las empresas brasileñas del Consórcio Construtor de Irapé – CCI, que constituían la Construtora Andrade Gutierrez S.A., Construtora Norberto Odebrecht S.A., Hochtief International do Brasil, Ivaí – Engenharia de Obras S.A. y la suministradora de equipamientos Voith Siemens Hydro Power Generation Ltda. El consorcio proyectista fue constituido por las empresas Leme Engenharia e INTERTECHNE.

En la fase de estudios y planificación, la esperanza de desarrollo para la región venía acompañada por la desconfianza en relación a una obra inédita en el tramo medio del Valle del río Jequitinhonha, situación agravada por los alarmantes índices que denunciaban la precariedad de las condiciones socioeconómicas y la necesidad de inversiones que registraban los estudios elaborados por los organismos de Gobiernos de Brasil y del Estado de Minas Gerais en el 2000. El Índice de Desarrollo Humano (IDH) del área de cobertura de la Usina era de 0,663, y el producto interno bruto 160 mi-

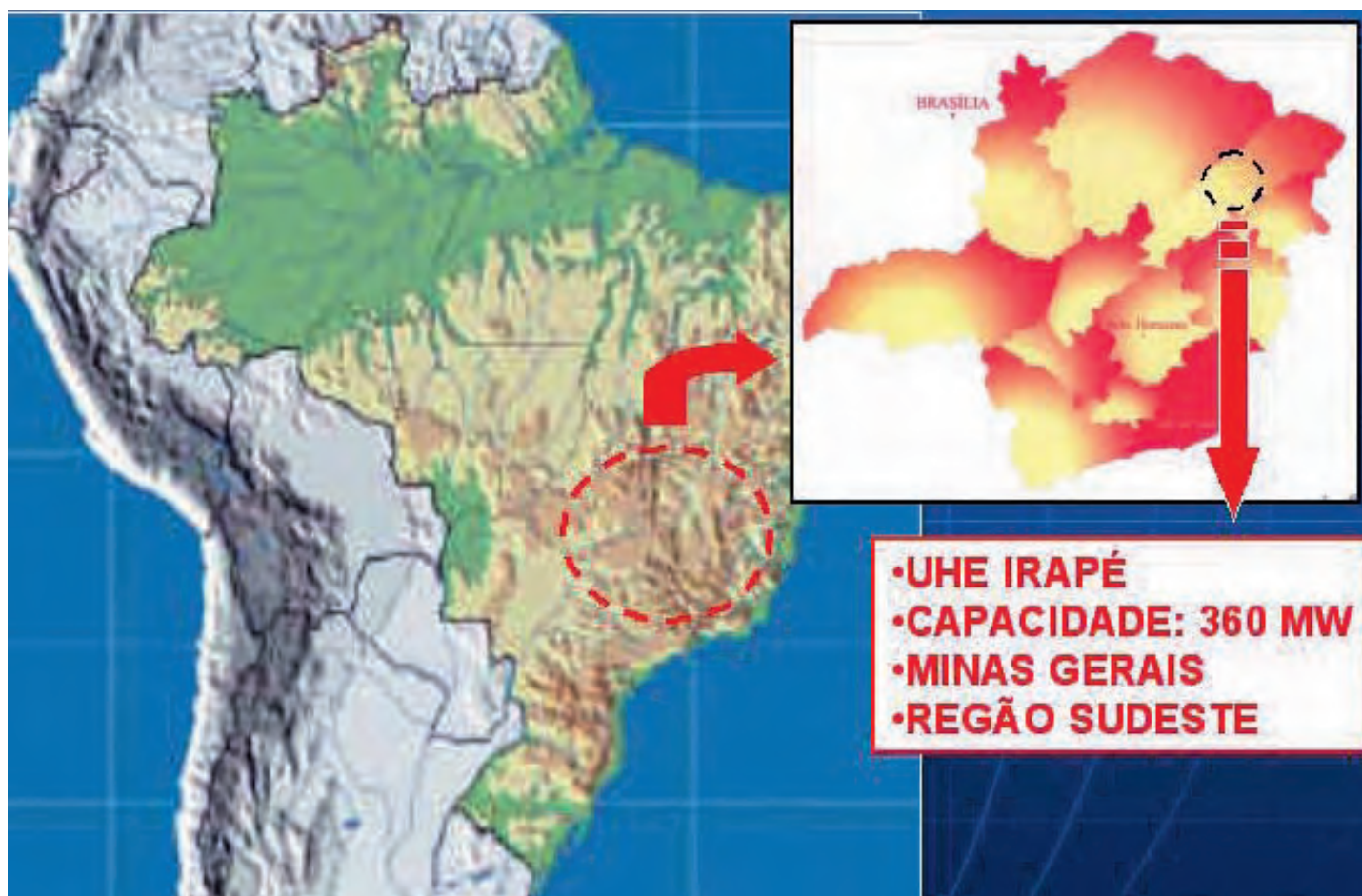
### Introdução

*O Aproveitamento Hidrelétrico de Irapé explora uma queda líquida de projeto de 166,5 m e uma vazão máxima turbinada aproximada de 265,5 m<sup>3</sup>/s, com potência nominal nos bornes dos geradores de 360 MW. A energia produzida anualmente é de 1.807.188 MWh, suficiente para abastecer uma população de 1 milhão de pessoas, representa uma importante fonte de energia segura e de qualidade para as regiões norte e central do estado de Minas Gerais, e integrada ao complexo sistema elétrico-energético brasileiro.*

*Os primeiros estudos da bacia do rio Jequitinhonha foram realizados entre 1963 e 1965 pela empresa de consultoria canadense CANAMBRA Engineering Consultante Limited, tendo a CEMIG iniciado seus estudos de inventario em 1984 através da empresa Enerconsult Engenharia Ltda. O projeto de viabilidade, desenvolvido pela engenharia da CEMIG, foi concluído em 1993 e os estudos de projeto básico foram desenvolvidos entre 1998 e 1999, já em parceria com as empresas brasileiras do Consórcio Construtor de Irapé – CCI, constituído pela Construtora Andrade Gutierrez S.A., Construtora Norberto Odebrecht S.A., Hochtief International do Brasil, Ivaí – Engenharia de Obras S.A. e a fornecedora de equipamentos Voith Siemens Hydro Power Generation Ltda. O consórcio projetista foi constituído pelas empresas Leme Engenharia e INTERTECHNE.*

*Na fase de estudos e planejamento, a esperança de desenvolvimento para a região vinha acompanhada pela desconfiança em relação a um empreendimento inédito no trecho médio do Vale do rio Jequitinhonha, situação agravada pelos índices alarmantes que apontavam à precariedade das condições socioeconômicas e carência de investimentos, registrados nos estudos elaborados pelos organismos dos Governos do Brasil e do Estado de Minas Gerais em 2000. O Índice de Desenvolvimento Humano - IDH da área de abrangência da Usina era de 0,663, enquanto que o produto interno bruto era de 160 milhões de reais*





Mapa de localización/ Mapa de localização.

liones de “reais” [reales] (60,3 millones de euros), o sea, apenas 0,16% del PIB del Estado de Minas Gerais.

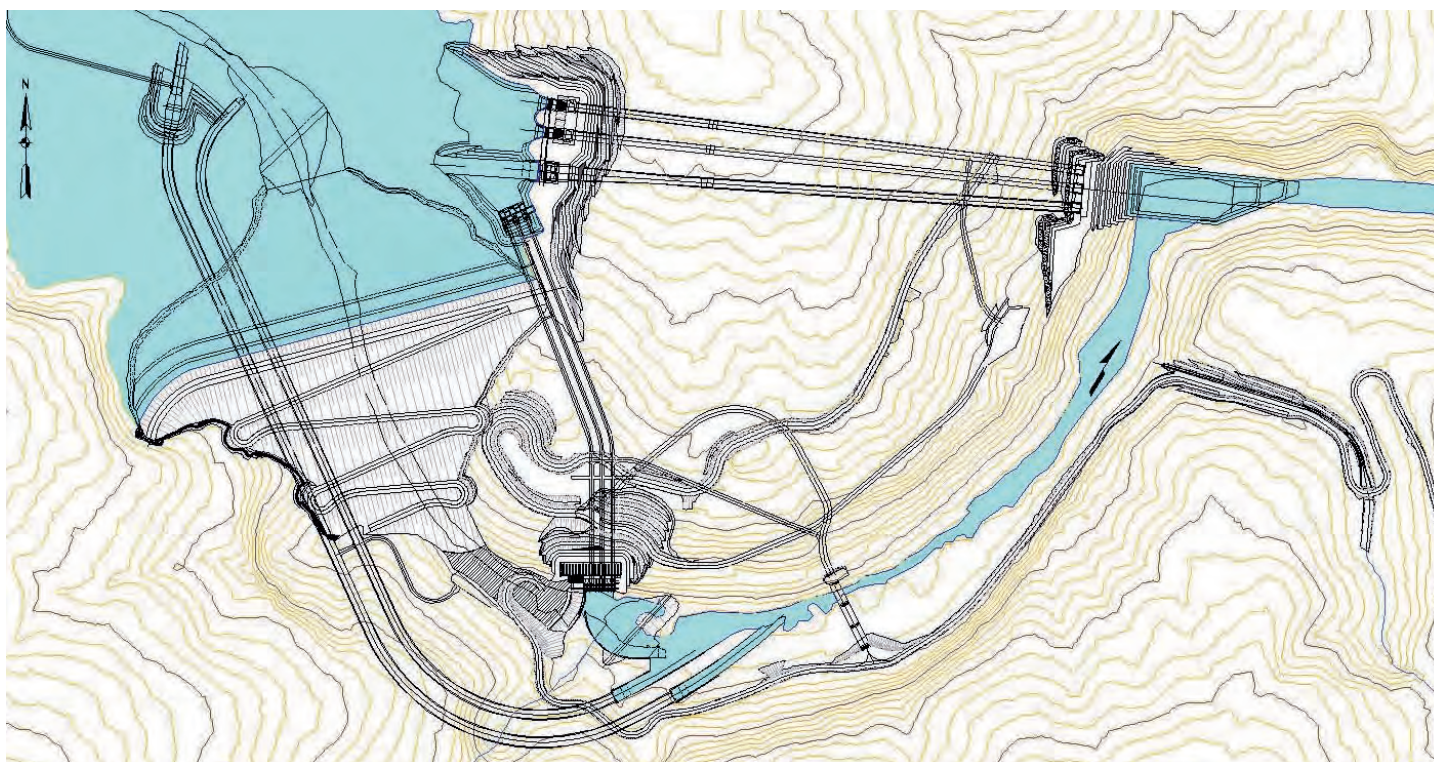
Para impulsar la viabilidad técnica y económica del proyecto, fue necesario plantear varias soluciones entre la fase final del proyecto básico y el inicio del proyecto ejecutivo, un desafío de planificación y de ingeniería necesario para alcanzar un cronograma de implantación con 40 meses de obras previstos para el inicio de la generación de la primera máquina. Las principales soluciones fueron la implantación de un aliviadero de crecida en cota inferior a la de los demás aliviaderos, haciendo posible el inicio de llenado del embalse anteriormente a la conclusión de la coronación de la presa, así como la adopción de alternativas de acceso subterráneo para la agilización de la excavación de los dos túneles de desvío, conductos forzados subterráneos y canales de los aliviaderos, también subterráneos.

Ante la presencia de minerales de sulfuro en la base rocosa de las obras, las aguas filtradas a través del macizo po-

(60,3 milhões de euros), ou seja, apenas 0,16% do PIB do Estado de Minas Gerais.

Para impulsionar a viabilidade técnica e econômica do projeto, foram necessárias várias soluções entre a fase final do projeto básico e o início do projeto executivo, um desafio de planejamento e de engenharia para alcançar um cronograma de implantação com 40 meses de obras objetivando o início de geração da primeira máquina. As principais soluções foram a implantação de um extravasor em cota inferior à dos demais vertedouros, viabilizando o início de enchimento do reservatório anteriormente à conclusão do coroamento da barragem, e a adoção de alternativas de acesso subterrâneo em janelas construtivas para agilização da escavação dos dois túneis de desvio, condutos forçados subterráneos e calhas dos vertedouros, também subterráneas.

Em face da presença de minerais de sulfeto na matriz rochosa do sítio das obras, as águas percolantes do maciço



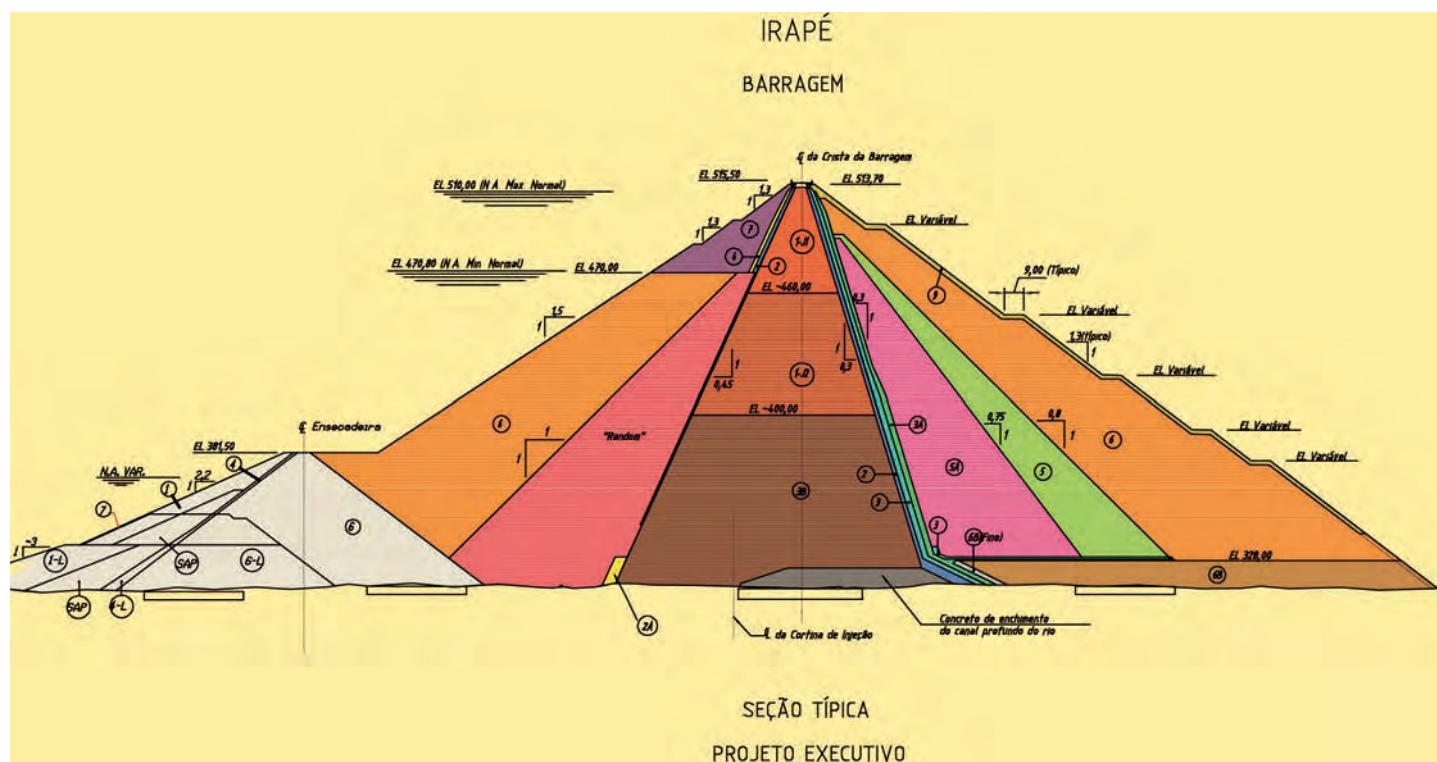
Arreglo General del Emprendimiento de Irapé/ Arranjo Geral do Empreendimento de Irapé.

drían contener ácido sulfúrico resultante de la oxidación de estos minerales, resultando, por lo tanto, agresivas al hormigón. Los cuidados y tratamientos específicos de las correspondientes superficies rocosas, sobre las que se hormigonaron las diversas estructuras, fueron objeto de estudio e investigación a lo largo de las fases de los proyectos básico y ejecutivo. Como soluciones inéditas en este tipo de obra, se impermeabilizaron todos los contactos hormigón-roca, además de adoptarse una zonificación apropiada en la presa y el uso de áridos libres de sulfuros en los hormigones y zonas determinadas de la presa. Como consecuencia del relieve accidentado se utilizaron alternativas de acceso a los túneles y estructuras subterráneas para los conductos forzados y canal de los aliviaderos.

La Presa de Irapé entró así en el registro de las grandes estructuras de ingeniería de todo el mundo, comparándose con otras estructuras ya internacionalmente afamadas. Irapé tiene aproximadamente cinco veces la altura de la estatua del Cristo Redentor, en Rio de Janeiro, dos veces la Torre donde está instalado el Big Ben, en Londres, casi cuatro veces el tamaño de la Estatua de la Libertad, en Nueva York, y 70 metros más que la gran pirámide Keops, en Egipto.

*rochoso poderiam conter ácido sulfúrico resultante da oxidação destes minerais, sendo, portanto, agressivas ao concreto. Cuidados e tratamentos específicos das superfícies rochosas, contra as quais foram concretadas as diversas estruturas, foram objetos de vários estudos e pesquisas durante as fases dos projetos básico e executivo. Como soluções inéditas neste tipo de obra, foram impermeabilizados todos os contatos concreto-rocha, além de se adotar um zoneamento apropriado na barragem e a utilização de agregados isentos de sulfetos nos concretos e algumas zonas da barragem. Em função do relevo acidentado foram utilizadas alternativas de acessos em túneis e estruturas subterráneas para os condutos forçados e calha dos vertedouros.*

*A barragem de Irapé entrou no rol das grandes estruturas de engenharia em todo o mundo, comparando-se com outras estruturas já internacionalmente afamadas. Irapé tem cerca de cinco vezes a altura da estátua do Cristo Redentor, no Rio de Janeiro, duas vezes a Torre onde está instalado o Big Ben, em Londres, quase quatro vezes o tamanho da Estatua da Liberdade, em Nova York, e 70 metros a mais que a grande pirâmide Quéops, no Egito.*



Sección típica/Seção típica.

### Las obras y estructuras integrantes del proyecto

#### Presa

La Presa de Irapé es del tipo escollera con núcleo central de arcilla, con taludes de aguas arriba y de aguas abajo con inclinación media de 1,0V: 1,5H y un volumen total de relleno de tierra de aproximadamente 10 millones de metros cúbicos. La coronación tiene un ancho de 13,00 m y longitud total de 550,00 m a la cota 514,50 m, otorgándole a esta presa una altura record en Brasil de 208,00 m.

El proyecto de la presa fue concebido considerando la realidad de las condiciones geológico geoquímicas del sitio de Irapé. La especificación para la zonificación interna del macizo rocoso de la presa consideró la posibilidad de formación de efluentes ácidos no solo en el embalse, sino también en las aguas que atraviesan el macizo de la presa y el macizo de la fundación. Como gran parte de los bloques rocosos de la escollera provenia de las excavaciones obligatorias, compuestos consecuentemente de roca con sulfuro, el proyecto estableció una zonificación específica para convivir con esta situación, disminuyendo así el

### As obras e estruturas integrantes do projeto

#### Barragem

A barragem de Irapé é do tipo enrocamento com núcleo central delgado em material argiloso, com os taludes de montante e de jusante com inclinação média de 1,0V: 1,5H e um volume total de aterro de aproximadamente 10 milhões de metros cúbicos. A crista com largura de 13,00 m possui extensão total de 550,00 m e a cota de coroamento é na elevação 514,50 m, o que confere a esta barragem uma altura recorde no Brasil de 208,00 m.

O projeto da barragem foi concebido considerando a realidade das condições geológico-geoquímicas do sítio de Irapé. A especificação para o zoneamento interno do maciço de terra-enrocamento da barragem considerou a possibilidade de formação de efluentes ácidos não só no reservatório, como também nas águas que atravessam pelo maciço da barragem e pelo maciço de fundação. Como grande parte dos blocos rochosos do enrocamento foi proveniente das escavações obrigatórias, compostos consecuentemente de rocha com sulfeto, o projeto estabeleceu um zoneamento específico para conviver com esta situação,



## El desvío del río Jequitinhonha fue realizado a través de dos túneles excavados en roca localizados en la margen derecha del río, cuyas longitudes fueron, respectivamente, de 1.067 m y 1.227 m, y sección tipo “hongo” con alturas de 12,70 m (túnel inferior) y 14,00 m (túnel superior) para las secciones transversales

riesgo de degradación de los bloques de escollera y de generación de drenaje ácido, como también instrumentación específica para monitoreo de esas filtraciones. Además, la concepción del proyecto consideró las condiciones físicas del “valle encajado” de forma que elimine el efecto de arqueado de las tensiones y no permita la ruptura hidráulica.

### Desvío del río

El desvío del río Jequitinhonha fue realizado a través de dos túneles excavados en roca localizados en la margen derecha del río, cuyas longitudes fueron, respectivamente, de 1.067 m y 1.227 m, y sección tipo “hongo” con alturas de 12,70 m (túnel inferior) y 14,00 m (túnel superior) para las secciones transversales.

### Órganos de Desagüe – Aliviaderos y Aliviadero de Crecida

Los órganos de desagüe están situados en la margen izquierda, y los constituyen dos estructuras cuya capacidad según proyecto es de 5.940 m<sup>3</sup>/s.

La primera estructura de control, del tipo perfil Creager, en la cota 491,00 m, está compuesta por dos aliviaderos, cada uno con una compuerta tipo segmento con dimensiones de 11,0 m x 20,0 m, y un canal insertado en dos túneles individuales con una longitud media de 626 m y sección inicial de 11,0 m x 15,0 m pasando a una sección de 10,0 m x 11,40 m, cuyo tramo final correspondiente al salto de esquí se encuentra a la cota 404,00 m;

La segunda estructura es un desagüe de fondo, aliviadero de crecida, que tiene estructura en torre, situada entre el aliviadero de superficie y la toma de agua. La estructura de control propiamente dicha está compuesta por dos aberturas con sección de 7,00 x 9,40 m (l x h) cada una, umbral en la elevación 450,00, y controladas por dos compuertas de fondo tipo segmento, las más grandes de occidente, guarnecidas por un conjunto de “stoplogs”. Cabe destacar que su sección fue definida a fin de garantizar las condiciones operacionales como aliviadero de crecida intermedio du-

*minimizando assim o risco de degradação dos blocos de enrocamento e de geração de drenagem ácida, como também instrumentação específica para monitoramento dessas percolações. Além disso, a concepção de projeto considerou as condições físicas do “vale encaixado” de maneira a eliminar o efeito do arqueamento das tensões e não permitir o ruptura hidráulica.*

### Desvio do rio

*O desvio do rio Jequitinhonha foi operado através de dois túneis excavados em rocha localizados na margem direita do rio, cujos comprimentos foram, respectivamente, de 1.067 m e 1.227 m, e seção tipo “cogumelo” com alturas de 12,70 m (túnel inferior) e 14,00 m (túnel superior) para as seções transversais.*

### Órgãos de Descarga – Vertedouros e Extravisor

*Os órgãos de descarga estão situados na ombreira esquerda, constituído de duas estruturas que têm vazão efluente total de projeto de 5.940 m<sup>3</sup>/s.*

*A primeira estrutura de controle, do tipo perfil Creager na elevação 491,00 m, é composta de dois vertedouros, cada um com uma comporta tipo segmento nas dimensões de 11,0 m x 20,0 m, e uma calha inserida em dois túneis individuais com comprimento médio de 626 m e seção inicial de 11,0 m x 15,0 m transicionando para uma seção de 10,0 m x 11,40 m, o trecho final correspondente ao salto de esquí disposto na elevação 404,00 m;*

*A segunda estrutura é um descarregador de fundo, extravisor, que tem estrutura em torre, posicionada entre o vertedouro de superfície e a tomada d’água. A estrutura de controle propiamente dita é composta por duas aberturas com seção de 7,00 x 9,40 m (l x h) cada uma, soleira na elevação 450,00, e controladas por duas comportas tipo segmento de fundo, as maiores do mundo no ocidente, guarnecidas por um conjunto de stoplogs. Cabe ressaltar que a seção de escoamento foi definida para garantir as condições operacionais como extravisor intermediário durante*







Desagüe de los túneles del aliviadero/  
*Desemboque dos túneis do vertedouro.*



Torres de la Toma de Agua/  
*Torres da Tomada de Água.*

rante la construcción de la presa, excediendo las necesidades de descarga como aliviadero en las condiciones normales de operación del embalse, aumentando, por tanto, la seguridad en relación a la capacidad de vertido del embalse.

### Toma de Agua

La Toma de Agua, posicionada en la margen izquierda, a la derecha de la estructura del aliviadero, está formada por tres torres independientes con altura total de 59,0 m, con base en la cota 455,00 m y cima en la 514,00 m, interconectadas por dos puentes de 7,10 m de longitud y 8,35 m de anchura. El acceso desde la margen izquierda hasta la primera torre se realiza a través de un puente de hormigón con 10,0 m de longitud por 8,35 m de ancho.

La entrada de cada torre está equipada con rejilla metálica para protección y ranura para instalación de una compuerta para mantenimiento, denominada compuerta de vaciado, y además posee otra compuerta de emergencia del tipo vagón, accionada hidráulicamente a través de servomotores. La estructura tiene además un puente grúa en la plataforma superior, en la cota 514,00 m, con capacidad de 150 kN, para ser utilizado en el accionamiento de las rejillas y de la compuerta para mantenimiento.

### La Central - Casa de Máquinas

La casa de máquinas es una estructura de hormigón del tipo cubierta, encajada en una excavación en la roca y está localizada la aguas abajo de la presa, en la orilla izquierda del río, inmediatamente aguas arriba del desagüe de los

a construção da barragem, excedendo as necessidades de descarga como vertedouro nas condições normais de operação do reservatório, aumentando, portanto, a segurança quanto à capacidade de extravasão do reservatório.

### Tomada de Água

A Tomada de Água, posicionada na ombreira esquerda, à direita da estrutura do vertedouro, é formada por três torres independentes com altura total de 59,0 m, com base na elevação 455,00 m e topo na elevação 514,00 m, interligadas por duas pontes de 7,10 m de comprimento e 8,35 m de largura. O acesso pela ombreira esquerda até a primeira torre é através de uma ponte de concreto com 10,0 m de comprimento por 8,35 m de largura..

A entrada de cada torre é equipada com grade metálica para proteção e ranhura para instalação de uma comporta para manutenção, denominada comporta ensecadeira, e ainda possui comporta de emergência do tipo vagão, hidráulicamente acionada através de servo-motores. A estrutura Possui ainda um pórtico rolante na plataforma superior, na elevação 514,00 m, com capacidade de 150 kN, para ser utilizado no acionamento das grades e da comporta para manutenção.

### A Central - Casa de Força

A casa de força é uma estrutura de concreto do tipo abrigada, encaixada em escavação na rocha e está localizada a jusante da barragem, na margem esquerda do rio, imediatamente a montante do desemboque dos túneis de





Interior de la Central/Interior da Central.

túneles de desvío. Está equipada con tres unidades generadoras, cada una con capacidad nominal de 120 MW, con turbinas del tipo Francis vertical y generadores síncronos trifásicos directamente acoplados, transformadores elevadores con potencia de 140 MVA y tensiones de entrada en 13,8 kV y salida en 345 kV. La casa de máquinas está equipada además con un puente grúa con capacidad de carga 230 Tm para el movimiento de las piezas componentes de los conjuntos turbina generador.

Cada turbina está servida por un circuito hidráulico independiente dimensionado para un caudal máximo de 88,5 m<sup>3</sup>/s. Los tres circuitos están formados por conductos forzados subterráneos, excavados en la roca, compuestos en el primer tramo, a partir de la embocadura es de 404,0 m de longitud y diámetro interno de 4,6 m, revestido en hormigón, y el segundo tramo, de 110,0 m y diámetro interno de 3,8 m, blindado en acero. El desagüe de los túneles está a 8,50 m de aguas de arriba de la línea central de las unidades generadoras.

### Subestación

La subestación está localizada en la orilla izquierda del río, sobre una planicie a más de 300 metros sobre la casa de máquinas, está conectada a la Central a través de tres líneas de transmisión con una extensión aproximada de 2.000 m y tensión nominal en 345 kV.

### Ensayos en modelo reducido hidráulico

El comportamiento y operación de las diversas estructuras hidráulicas de la Central de Irapé fueron estudiados en



Subestación/Subestação.

desvío. Está equipada com três unidades geradoras, cada uma com capacidade nominal de 120 MW, com turbinas do tipo Francis vertical e geradores síncronos trifásicos diretamente acoplados, transformadores elevadores com potência de 140 MVA e tensões de entrada em 13,8 kV e saída em 345 kV. A casa de força é equipada ainda com uma ponte rolante com capacidade de carga 230 ton para a movimentação das peças componentes dos conjuntos turbina gerador.

Cada turbina é servida por um circuito hidráulico independente dimensionado para uma vazão máxima de 88,5 m<sup>3</sup>/s. Os três circuitos são formados por condutos forçados subterráneos, escavados em rocha, compostos de um primeiro trecho, a partir do emboque, com cerca de 404,0 m de comprimento e diâmetro interno de 4,6 m, revestido em concreto, e um segundo trecho de aproximadamente 110,0 m e diâmetro interno de 3,8 m, blindado em aço. O desemboque dos túneis está a 8,50 m a montante da linha de centro das unidades geradoras.

### Subestação

A subestação de chaveamento está localizada na margem esquerda do rio, sobre um platô a mais de 300 metros de elevação acima da casa de força, é ligada a Central através de três linhas de transmissão com extensão aproximada de 2.000 m e tensão nominal em 345 kV.

### Ensaio em modelo reduzido hidráulico

O comportamento e operação das diversas estruturas hidráulicas da usina Irapé foram estudados em modelo hi-



Modelo hidráulico/Modelo hidráulico.



Instalación de la Manta de PEAD en el paramento de aguas abajo de la presa—protección contra las aguas de lluvia/Instalação da Manta de PEAD no paramento de jusante da barragem—proteção contra as águas de chuva.

un modelo hidráulico en el Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza, institución vinculada a la Universidade Federal do Estado do Paraná, en la región Sur de Brasil, mediante la construcción de dos modelos fundamentados en la semejanza de Froude. Uno de los modelos fue construido en escala 1:100, y fue utilizado para la evaluación de la estructura del desvío del río y de las condiciones de vertido del canal de descarga. El segundo modelo, construido en escala 1:60, fue utilizado para estudiar las condiciones de operación de la toma de agua, del aliviadero y aliviadero de fondo y sus respectivos túneles, canal, y de cuenco de disipación de energía.

Como consecuencia de la gran capacidad de caudal y de la altura de salida del agua en los desagües de los túneles del aliviadero (más de 100 m de salto libre) pudo comprobarse la incidencia del chorro efluente sobre la calidad del macizo rocoso. Los primeros resultados de los ensayos del modelo presentaron la magnitud de la erosión en el cuenco de disipación, lo que seguramente ocurriría tras la operación de los aliviaderos en las condiciones originales del proyecto. Esta erosión provocaría la formación de barras de material granular depositadas en el lecho del río, e imposibilitaría la operación segura y eficaz de la estructura.

Entre las modificaciones necesarias introducidas en el proyecto ejecutivo, en función de los resultados obtenidos en el modelo, destaca la alteración de la geometría de los deflectores con objeto de distribuir el chorro efluente longitudinalmente a lo largo del cuenco de disipación, la excavación para el rebaje del fondo de la cuenca de disipación en más 12,0 m, el alargamiento de las paredes del cuenco en su trecho agua de abajo, y la inclusión de limitaciones operativas para bajos caudales de vertido, con objeto de proteger los taludes debajo de los deflectores.

dráulico no Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza, instituição vinculada à Universidade Federal do Estado do Paraná, na região Sul do Brasil, por meio da construção de dois modelos baseados na semelhança de Froude. Um dos modelos foi construído em escala 1:100, e foi utilizado para a avaliação da estrutura do desvio do rio e das condições de escoamento do canal de fuga. O segundo modelo, construído na escala 1:60, foi utilizado para estudar as condições de operação da tomada de água, do vertedouro e extravasor de fundo e seus respectivos túneis calha, e ainda da bacia de dissipação.

Em face da grande capacidade de vazão e altura de saída da água nos desemboques dos túneis do vertedouro, mais de 100 m de queda livre, a incidência do jato efluente associada à qualidade do maciço rocoso, os primeiros resultados dos ensaios do modelo apresentaram a magnitude da erosão na bacia de dissipação, que certamente ocorreria após a operação dos vertedouros nas condições originais de projeto. Esta erosão provocaria a formação de barras de material granular depositadas no leito do rio, e impossibilitaria a operação segura e eficaz desta estrutura.

Dentre as modificações necessárias e introduzidas no projeto executivo, em função dos resultados alcançados no modelo, destacam-se a alteração da geometria dos deflectores com o objetivo de distribuir o jato efluente longitudinalmente ao longo da bacia de dissipação, a escavação para o rebaixamento do fundo da bacia de dissipação em mais 12,0 m, o alargamento das paredes da bacia no seu trecho de jusante, e a inclusão de restrições operativas para baixas vazões de vertimento, com o objetivo de proteger os taludes abaixo dos deflectores.

## La característica singular del macizo, lo que orientó los conceptos del proyecto, es la presencia diseminada de sulfuros en prácticamente todo el sitio de la obra. Estos minerales aparecen principalmente en la forma de delgados niveles (casi siempre láminas) orientados según la foliación de la roca, exhibiendo granulación preferentemente fina

Estas alteraciones proporcionaron un comportamiento hidráulico compatible con las características de estas estructuras.

### Aspectos geológicos de la zona de obras

El macizo rocoso del emplazamiento está constituido predominantemente por un bloque de cuarzo mica pizarra grafitosa, homogéneo, de coloración gris oscuro, con granulación que varía de fina a gruesa, y portador de sulfuros (principalmente pirrotitas) diseminados en la matriz rocosa.

La característica singular del macizo, lo que orientó los conceptos del proyecto, es la presencia diseminada de sulfuros en prácticamente todo el sitio de la obra. Estos minerales aparecen principalmente en la forma de delgados niveles (casi siempre láminas) orientados según la foliación de la roca, exhibiendo granulación preferentemente fina. Los sulfuros pueden aparecer en granos gruesos cuando se encuentran asociados a las vetas de cuarzo predominantemente concordantes. Los sulfuros poseen contenidos medios del orden del 6% del volumen en roca (cerca de 10% en peso). Vetas de cuarzo, con un espesor que varía de centímetros a metro, son comunes en secuencia, estando normalmente paralelas a los planos de pizarras y muchas veces enriquecidas con sulfuros.

El mapa geológico estructural ejecutado durante las excavaciones para la implantación de las estructuras mostró la presencia de una discontinuidad principal representada por la foliación del cuarzo mica pizarra y un sistema de fracturas conjugadas. Dentro de las excavaciones subterráneas (canales de los aliviaderos, por ejemplo) se constató que las discontinuidades se presentaban abiertas solamente en los bordes del macizo rocoso, próximo a las embocaduras, con indicios de circulación de agua y cerradas cuando se avanza hacia el interior del cuerpo rocoso, de tal forma que, en general, las discontinuidades abiertas no sobrepasaban la profundidad media de 40,00 m.

En la zona de la instalación de la central y entre los aliviaderos se observó que el sistema de fractura formaba un par

*Estas alterações proporcionaram um desempenho hidráulico compatível com as características destas estruturas, como podemos observar nas fotos deste artigo.*

### Aspectos geológicos do local do empreendimento

*O maciço rochoso do sítio é constituído predominantemente por um pacote de quartzo-mica-xisto grafitoso, homogêneo, de coração cinza escura, com granulação que varia de fina a grosseira, e portador de sulfetos (principalmente pirrotitas) disseminados na matriz rocosa.*

*A característica singular do maciço, e que norteou os conceitos de projeto, é a presença disseminada de sulfetos em praticamente todo sítio da obra. Estes minerais ocorrem principalmente na forma de delgados níveis (quase sempre lâminas) orientados segundo a foliação da rocha, exibindo granulação preferencialmente fina. Os sulfetos podem ocorrer em grãos grosseiros apenas quando associada aos veios de quartzo predominantemente concordantes. Os sulfetos possuem teores médios da ordem de 6% em volume na rocha (cerca de 10% em peso). Veios de quartzo, com espessura variando de centímetros a metro são comuns na seqüência, estando normalmente paralelos aos planos de xistosidade e muitas vezes enriquecidos em sulfetos.*

*O mapeamento geológico-estrutural executado no local, durante as escavações para implantação das estruturas, revelou a presença de uma discontinuidade principal representada pela foliação do quartzo-mica xisto e um sistema de fraturas conjugadas. Dentro das escavações subterráneas (calhas dos vertedouros, por exemplo) constatou-se que as discontinuidades apresentavam-se abertas somente nas bordas do maciço rochoso, próximo aos embocaduras, com indícios de circulação temporária de água e fechadas quando se avança para o interior do corpo rochoso, sendo que em geral, as discontinuidades abertas não ultrapassavam a profundidade média de 40,00 m.*

*Na região da instalação da casa de força e nos septos entre os vertedouros observou-se que o sistema de fratura*



Vista general del Aprovechamiento hidroeléctrico de Irapé/ Vista geral do Aproveitamento Hidrelétrico de Irapé.

conjugado, localmente ortogonal entre si y con un alejamiento medio hacia una misma familia correspondiente a dos metros, que ocasionó inestabilidades corregidas por anclajes y hormigón proyectado. Discontinuidades aisladas, como las encontradas en la región de los deflectores, en la salida de los túneles, representan zonas de fallas, con relleno de material descompuesto laterizado, de hasta 0,5 metros. Estos locales recibieron tratamiento específico a través de una densa red de anclajes y hormigón proyectado con instalación de malla metálica.

*mento formava um par conjugado, localmente ortogonal entre si e com afastamento médio para uma mesma família da ordem de dois metros, que ocasionou instabilidades combatidas através de tratamento por tirante e concreto projetado. Descontinuidades isoladas, como as encontradas na região dos deflectores, na saída dos túneis calha, representam zonas de falhas, com preenchimento de material decomposto laterizado, com até 0,5 metro. Estes locais receberam tratamento específico através de uma densa malha de tirantes e concreto projetado com tela metálica.*





Vista general / Vista geral.

En general se puede afirmar que el macizo rocoso del emplazamiento de las obras de Irapé presenta un buen comportamiento geomecánico, principalmente en el interior de las excavaciones subterráneas y en los tramos más profundos del valle, pues el cuarzo mica pizarra se presenta muy consistente y poco fracturado. Las cuestiones relacionadas a la generación ácida a partir de los minerales sulfurosos se tratan seguidamente.

#### **Presencia de sulfuros en la roca de Irapé**

La CEMIG y las empresas constituyentes del Consórcio Construtor de Irapé ejecutaron una extensa investigación relativa a la presencia de sulfuros diseminados en la roca que sirvió de fuente de escollera, fundaciones, taludes y túneles de las obras civiles de Irapé, tratando de objetivar el conocimiento sobre el problema y encontrar sus posibles soluciones.

Los minerales de sulfuro de hierro se alteran químicamente cuando expuestos a un ambiente oxidante y húmedo

*No geral pode-se afirmar que o maciço rochoso do local das obras de Irapé apresenta um bom comportamento geomecânico, principalmente na porção interior das escavações subterrâneas e nos trechos mais profundos do vale, pois o quartzo-mica xisto apresenta-se são e muito consistente e pouco fraturado. As questões relacionadas à geração ácida a partir dos minerais sulfetados serão tratadas a seguir.*

#### **Presença de sulfetos na rocha de Irapé**

*A CEMIG e as empresas constituintes do Consórcio Construtor de Irapé executaram uma extensa pesquisa a respeito da presença de sulfetos disseminados na rocha que serviu de fonte de enrocamento, fundações, taludes e túneis das obras civis da Usina de Irapé, objetivando equalizar o conhecimento sobre o problema e encontrar suas possíveis soluções.*

*Os minerais de sulfeto de ferro se alteram quimicamente quando expostos a um ambiente oxidante e úmido (água +*

(agua + oxígeno) se transforman en nuevos compuestos químicos (sales de sulfato, hidróxidos y ácido sulfúrico). Los productos resultantes de esta reacción química dependen fundamentalmente de la cantidad de agua presente, pues esas sales resultantes se precipitan en ambiente de gran concentración de sulfatos (poca agua) y son disueltos en ambiente de gran concentración de disolvente (agua). La reacción química más común de la alteración de los sulfuros de hierro (pirrotita y pirita),  $FeS_2$ , en presencia de poca agua y oxígeno es la formación de sulfato de hierro (melanterita y rozenita en el caso de Irapé) y de ácido sulfúrico.

En los macizos rocosos, el proceso de alteración está normalmente limitado a la zona de variación del nivel de agua del terreno, en las grietas, poros y fracturas de la roca. En las porciones más externas y aliviadas del macizo rocoso, la alta permeabilidad del aire facilita el acceso del oxígeno, resultando zonas con lixiviación intensa. Ya en zonas interiores, donde el filtrado del agua oxigenada es más difícil, con la fractura cerrada y la porosidad reducida, los sulfuros se encuentran casi siempre inalterados. Su rápida oxidación puede ocurrir en zonas expuestas por las excavaciones, principalmente aquellas de granulometría más fina y, por tanto, mayor superficie específica.

En el macizo de la presa, el contacto del agua aireada del embalse con los bloques y finos de la escollera podrá ocasionar la formación de soluciones de bajo pH (ácidas) debido a la oxidación de los minerales sulfurosos presentes en las pizarras utilizadas en la construcción de la escollera. Este fenómeno podrá ocurrir en el intervalo de llenado (entre el nivel mínimo – Elevación 470,00 m y máximo – Elevación 510,00 m del embalse) y con menor posibilidad de ocurrir cuando circule el agua del embalse debido a la inversión térmica. Aguas debajo de la presa, la filtración de las aguas de lluvia podría desencadenar el proceso de formación de soluciones ácidas debido principalmente al contacto con el material fino de la escollera. Fueron tomadas algunas iniciativas de proyecto, que serán descritas a continuación, para disminuir los efectos de las reacciones en la integridad de los bloques de escollera y garantizar así la estabilidad de la presa.

#### Soluciones adoptadas

Las soluciones asumidas en el proyecto de Irapé son resultado de una intensa investigación y evolucionaron a lo largo de las diversas etapas, desde los primeros estudios y re-

*oxigênio) e se transformam em novos compostos químicos (sais de sulfato, hidróxidos e ácido sulfúrico). Os produtos resultantes desta reação química dependem fundamentalmente da quantidade de água presente, pois esses sais resultantes precipitam-se em ambiente de grande concentração de soluto (pouca água) e são dissolvidos em ambiente de grande concentração de solvente (água). A reação química mais comum da alteração dos sulfetos de ferro (pirrotita e pirita),  $FeS_2$ , em presença de pouca água e oxigênio é a formação de sulfato de ferro (melanterita e rozenita no caso de Irapé) e de ácido sulfúrico.*

*Nos maciços rochosos, o processo de alteração está normalmente limitado à zona de variação do nível de água do terreno, nas fissuras, poros e fraturas da rocha. Nas porções mais externas e aliviadas do maciço rochoso, as altas permeabilidades ao ar e às soluções facilitam o acesso do oxigênio, resultando em zonas com lixiviação intensa. Já em porções interiores, onde a percolação de água oxigenada é mais difícil, com o fraturamento fechado e porosidade reduzida, os sulfetos encontram-se quase sempre inalterados. A oxidação rápida dos sulfetos pode ocorrer em porções expostas pelas escavações, principalmente aquelas de granulometria mais fina e conseqüente maior superfície específica.*

*No maciço da barragem, o contato da água aerada do reservatório com os blocos e finos do enrocamento poderá levar a formação de soluções de baixo pH (ácidas) devido à oxidação dos minerais sulfetados presentes nos xistos utilizados na construção do aterro. Este fenômeno poderá ocorrer na faixa de depleção (entre o nível mínimo – Elevação 470,00 m e máximo – Elevação 510,00 m do reservatório) e com menor possibilidade de ocorrência quando da circulação de água do reservatório devido à inversão térmica. Na porção jusante do maciço de enrocamento da barragem a infiltração das águas de chuva poderia desencadear o processo de formação de soluções ácidas devido ao contato principalmente com o material fino do enrocamento. Foram tomadas algumas iniciativas de projeto, que serão descritas a seguir, para minimizar os efeitos das reações na integridade dos blocos de enrocamento e assim garantir a estabilidade da barragem.*

#### Soluções de projeto adotadas

*Os conceitos de projeto implantados em Irapé resultam de uma grande e extensa pesquisa e evoluíram nas diversas etapas de estudos, desde os primeiros relatos e registros so-*



## Las soluciones asumidas en el proyecto de Irapé son resultado de una intensa investigación y evolucionaron a lo largo de las diversas etapas, desde los primeros estudios y registros sobre los sulfuros, realizados en los informes de viabilidad, hasta los informes técnicos del proyecto ejecutivo, además de las observaciones y pruebas de campo realizados durante la marcha de las obras

gistros sobre los sulfuros, realizados en los informes de viabilidad, hasta los informes técnicos del proyecto ejecutivo, además de las observaciones y pruebas de campo realizados durante la marcha de las obras.

### Hormigones Convencionales y Projectados

En todos los hormigones se utilizó cemento resistente a los sulfatos (RS) y áridos procedentes de materiales rocosos con ausencia o contenido mínimo de sulfuros, provenientes de piedra de metadiamicitita (cuarzo pizarra compacta) localizada a 3,5 km aguas abajo de la presa.

La baja permeabilidad del hormigón de Irapé fue resultado de una buena dosificación lograda mediante dosis elevadas de cemento, superiores a 300 Kg/m<sup>3</sup>, además de adición de microsíllica con dosis comprendidas entre el 5% y 10% del peso de cemento y bajas proporciones agua/cemento, entre 0,45 y 0,50. Fue utilizado también el producto metacaolín en sustitución de la microsíllica, también con buenos resultados.

### Protección de los Contactos Hormigón y Roca

Debido a la presencia de minerales de sulfatos en la base rocosa de las fundaciones, las aguas filtradas a través del macizo rocoso podrían contener ácido sulfúrico resultante de la reacción por oxidación, resultando, por tanto agresivas al hormigón. Los tratamientos de las superficies rocosas de la fundación de las diversas estructuras en hormigón, fueron objetos de estudios e investigaciones para la definición de los productos de impermeabilización y su mejor forma de aplicación en función de las características peculiares de cada estructura.

El concepto utilizado para este sistema de protección fue aislar el hormigón del contacto directo con los agentes agresivos, buscando evitar la creación de vacíos que perjudicasen la estanqueidad del contacto entre el hormigón y la roca al flujo de agua del embalse, además de evitar la transmisión de esfuerzos de la estructura al macizo rocoso. El material de protección funciona como una barrera imper-

*bre os sulfetos feitos nos relatórios de inventário e viabilidade, até os relatórios técnicos do projeto executivo, além das observações e testes de campo que foram possíveis durante o andamento das obras.*

### Concretos Convencionais e Projectados

*Em todos os concretos foi utilizado cimento resistente a sulfatos (RS) e agregados de materiais rochosos com ausência ou contendo teores mínimos de sulfetos, provenientes de pedra de metadiamicitito (quartzo-xisto compacto) localizada a 3,5 km a jusante do barramento.*

*A baixa permeabilidade do concreto de Irapé foi resultado de um bom adensamento da matriz cimentante através de dosagens mais elevadas de cimento, tipicamente superiores a 300 Kg/m<sup>3</sup>, além de adição de microsíllica com dosagens típicas entre 5% e 10% do peso de cimento e baixos fatores água/cimento, entre 0,45 e 0,50. Foi utilizado também o produto metacaolim em substituição a microsíllica, também com bons resultados.*

### Proteção dos Contatos Concreto-Rocha

*Devido à presença de minerais de sulfetos na matriz rochosa das fundações, as águas percolantes através do maciço rochoso poderiam conter ácido sulfúrico resultante da reação por oxidação, sendo, portanto agressivas ao concreto. Os tratamentos das superfícies rochosas da fundação das diversas estruturas em concreto, foram objetos de estudos e pesquisas para a definição dos produtos de impermeabilização e sua melhor forma de aplicação em função das características peculiares de cada estrutura.*

*O conceito utilizado para este sistema de proteção foi isolar o concreto do contato direto com os agentes agressivos, procurando evitar a criação de vazios que prejudicassem a estanqueidade do contato concreto-rocha ao fluxo de água do reservatório, além de evitar a transmissão de esforços da estrutura para o maciço rochoso. O material de proteção funciona como uma barreira impermeável entre a*





## Os conceitos de projeto implantados em Irapé resultam de uma grande e extensa pesquisa e evoluíram nas diversas etapas de estudos, desde os primeiros relatos e registros sobre os sulfetos feitos nos relatórios de inventário e viabilidade, até os relatórios técnicos do projeto executivo, além das observações e testes de campo que foram possíveis durante o andamento das obras

meable entre la superficie de la roca y el hormigón y posee resistencia comprobada a los ataques químicos al que estarían sujetas durante la operación de la central.

Los productos usados fueron sometidos a ensayos de laboratorio para certificación de su resistencia al ataque de agentes químicos (soluciones ácidas). También forma parte del proceso cualificar la realización de pruebas de campo a fin de verificar la adecuación de los productos a las condiciones reales de las estructuras. Se realizó también una serie de ensayos en testigos moldeados con juntas de construcción para evaluar y cuantificar los valores de resistencia a la tracción correspondiente a la adherencia entre las películas y el hormigón. Los ensayos fueron realizados variándose el intervalo de tiempo entre el hormigonado y la última mano de las películas.

Las estructuras que fueron protegidas en el perímetro del contacto entre hormigón y roca son el aliviadero y el aliviadero de crecida, los túneles canal, los túneles forzados, el hormigón de relleno del fondo del canal del río (CCR) en la fundación de la presa, los taponos de los túneles de desvío, la casa de máquinas y la toma de agua.

### Zonificación del Macizo de la Presa

Se adoptó como criterio de proyecto de la presa la disposición de los diversos horizontes de la escollera de forma que queden preservados con relación a la desintegración por ataque ácido, como también la propia generación de efluentes ácidos en el macizo de la presa. Las escolleras con menor cantidad de finos, y mayor calidad de los bloques, fueron colocados más próximos al embalse. El material lixiviado quedó posicionado junto al núcleo impermeable. Del material más grueso en contacto con el lago, se espera la formación de películas de óxido de hierro en las superficies de los bloques, protegiéndolos de la oxidación de los sulfuros.

Los filtros y transiciones están constituidos por arenas naturales y materiales procedentes de la metadiamicrita y consecuentemente no tendrán problema respecto a la ge-

*superfície da rocha e o concreto e possui resistência comprovada aos ataques químicos a que estariam sujeitas durante a operação da usina.*

*Os produtos usados foram submetidos a ensaios de laboratório para certificação de sua resistência ao ataque de agentes químicos (soluções ácidas). Também fez parte do processo de qualificação a realização de testes de aplicação de campo para verificação da adequação dos produtos às condições reais das estruturas. Foi realizado também um conjunto de ensaios em corpos de prova moldados com juntas de construção para avaliar e quantificar os valores de resistência à tração correspondente à aderência entre as películas e o concreto. Os ensaios foram realizados variando-se o intervalo de tempo entre a concretagem e a última demão das películas.*

*As estruturas do arranjo da usina Irapé que foram protegidas no perímetro do contato concreto-rocha são o vertedouro e extravasor, os túneis calha, os túneis forçados, o concreto de enchimento do fundo do canal do rio (CCR) na fundação da barragem, os tampões dos túneis de desvio, a casa de força e a tomada de água.*

### Zoneamento do Maciço da Barragem

*Adotou-se como critério de projeto da barragem a disposição dos diversos horizontes de enrocamento de maneira a preservá-los quanto à desintegração por ataque ácido, como também a própria geração de efluentes ácidos no maciço da barragem. Os enrocamentos com menor quantidade de finos, e maior sanidade dos blocos, ficaram posicionados mais próximos ao reservatório. O material lixiviado ficou posicionado junto ao núcleo impermeável. Para o material mais grosseiro em contato com o lago, é de se esperar a formação de películas de óxido de ferro nas faces dos blocos, o que os protegerá da oxidação dos sulfetos.*

*Os filtros e transições são constituídos por areias naturais e materiais processados oriundos da pedreira de metadiamicrito e conseqüentemente não terão problema quanto à ge-*



## Río de expresiva belleza, que corre sinuoso por un paisaje entre valles, piedras y montañas. Se configura en la retina, la visión de un relieve despampanante entre las sierras, mesetas, rápidos y nacientes, verdes de diversos tonos, llevando en su curso comunidades de lavanderas, buscadores de metales y piedras preciosas, labradores, artesanos, entre tantos otros

neración de ácido. De la misma forma, tanto aguas arriba a lo largo del intervalo de oscilación y depleción del embalse, cuanto aguas abajo, fue prevista una capa de escollera de revestimiento, el cual también procede de la piedra metadiamictita, cuya roca se presenta prácticamente libre de sulfuros, y garantizará la no generación ácida. Esta misma roca fue empleada en la escollera de la presa, aguas abajo del núcleo, en el relleno del canal profundo del río y en una franja junto a los paredones del *canyon* en la plataforma de conexión de la presa con la plataforma de la central.

Debido a las condiciones geométricas del canal más profundo y estrecho del río Jequitinhonha, este fue relleno con hormigón compactado con rodillo (CCR) debidamente encapsulado por una película de material *epoxi*. En esta parte de la fundación de la presa se instaló también un medidor de pH para control de la acidez del agua filtrada proveniente del embalse, durante la operación de la central.

En el paramento de aguas abajo de la presa la protección adoptada para minimizar la filtración de las aguas de lluvia, que podrán ocasionar la generación ácida, por el contacto con los finos de roca sulfurada, está constituida a base de barreras impermeables sucesivas formadas por mantas de PEAD dispuestas en intervalos regulares cada tres capas de escollera y con dirección de flujo hacia aguas abajo realizando el drenaje a través de la escollera constituida por bloques de metadiamictita.

### Sistemas de Soporte del Macizo Rocoso y Tratamientos Profundos

Todas las barras de anclaje recibieron un tratamiento anticorrosivo para resistir el ataque ácido y los hormigones proyectados fueron fabricados con cemento resistente a los sulfatos. Cuando fueron rellenos los orificios que recibieron los anclajes se buscó dar preferencia al uso de resinas y argamassas con cemento resistente a sulfatos.

Las lechadas de cemento empleadas en los tratamientos profundos de las fundaciones de las estructuras de Irapé, prin-

*ração de ácido. Da mesma forma, tanto a montante ao longo da faixa de oscilação e depleção do reservatório, quanto à jusante, foi prevista uma camada de enrocamento de revestimento, o qual também é oriundo da pedreira de metadiamictito, cuja rocha apresenta-se praticamente isenta de sulfetos, e garantirá a não geração ácida. Esta mesma rocha foi empregada no enrocamento da barragem, a jusante do núcleo, no preenchimento do canal profundo do rio e numa faixa junto aos paredões do canyon na plataforma de ligação da barragem com o pátio da casa de força.*

*Devido às condições geométricas do canal mais profundo e estreito do rio Jequitinhonha, este foi preenchido com concreto compactado a rolo (CCR) devidamente encapsulado pela película de material epóxi. Nesta região da fundação da barragem foi instalado também um medidor de pH para acompanhamento da acidez da água de percolação na barragem, proveniente do reservatório, durante a operação da usina.*

*No paramento de jusante da barragem a proteção adotada para minimizar a infiltração das águas de chuva, que poderão levar a geração ácida quando em contato com os finos do enrocamento de rocha sulfurada, é constituída de barreiras impermeáveis sucessivas formadas por mantas de PEAD dispostas em intervalos regulares a cada três camadas de enrocamento e com direcionamento de fluxo para jusante aduzindo a drenagem através do enrocamento constituído por blocos de metadiamictito.*

### Sistemas de Suporte do Maciço Rochoso e Tratamentos Profundos

*Todas as barras de ancoragem receberam um tratamento anticorrosivo para resistirem ao ataque ácido e os concretos projetados foram fabricados com o uso de cimento resistente a sulfatos. No preenchimento dos furos que receberam as ancoragens procurou-se dar preferência a utilização de resinas e argamassas com cimento resistente a sulfatos.*

*As caldas de cimento empregadas nos tratamentos profundos das fundações das estruturas de Irapé, principalmen-*





Programa de Conservación y Salvamento de Especies Vegetales/Programa de Conservação e Salvamento de Espécies Vegetais.

principalmente de la presa, fueron confeccionadas con cemento resistente a sulfatos, con varias pruebas de adición de súper plastificante, sílice activo, escoria, como también meta caolín. Se usó también lechada de micro cemento. Todas las pruebas realizadas lo fueron a fin de obtenerse un producto que llegase a las profundidades de las juntas y de los vacíos de la fundación, y que sean más resistentes al ataque ácido.

#### Aspectos sociales, ambientales y económicos.

##### Problemática y soluciones

Río de expresiva belleza, que corre sinuoso por un paisaje entre valles, piedras y montañas. Se configura en la retina, la visión de un relieve despampanante entre las sierras, mesetas, rápidos y nacientes, verdes de diversos tonos, llevando en su curso comunidades de lavanderas, buscadores de metales y piedras preciosas, labradores, artesanos, entre tantos otros. Relación íntima entre estas partes, dependencia directa... Reciprocidad. Es de ese río del que se alimenta, refresca y donde se baña.

Los valles de los ríos y riachuelos forman las depresiones, con áreas húmedas y frescas próximas a los cursos de agua. En estos espacios, los agricultores asientan una buena parte de sus unidades de producción, casas y patios, campos y pastizales cercados y plantados.

Una vez determinado que el principal elemento de este paisaje del Valle es el río Jequitinhonha, surgió de sus aguas la verdadera importancia para la construcción de la presa de Irapé. Sus aguas, como recurso natural e ícono esencial para la generación de energía, se convirtieron en temas de importancia no solamente para la región, sino para toda la región sudeste de Brasil. Su uso sustentable es fundamental, tanto en el

*te da barragem, foram confeccionadas com cimento resistente a sulfatos, com vários testes de adição de superplastificante, sílica ativa, escória, como também metacaolím. Utilizou-se também de calda de microcimento. Todos os testes realizados foram para se obter um produto que atingisse as maiores profundidades das juntas e dos vazios da fundação, e que sejam mais resistentes ao ataque ácido.*

#### Aspectos sóciais, ambientais e econômicos.

##### Problemática e soluções

*Rio de expressiva beleza, que risca sinuoso a paisagem entre vales, pedras e montanhas. Faz-se junto à retina a visão de um relevo estonteante entre serras, chapadas, corredeiras e nascentes, verdes de diversos tons, levando em seu percurso comunidades de lavadeiras, garimpeiros, lavradores, artesãos, dentre tantos outros. Relação íntima entre estas partes, dependência direta... Reciprocidade. É do rio que se alimenta, refresca e banha.*

*Os vales dos rios e córregos formam as grotas, com áreas úmidas e frescas próximas dos cursos de água. Nestes espaços, os agricultores assentam boa parte das suas unidades de produção - casas e quintais, roças e pastagens cercadas e plantadas.*

*Uma vez que o principal elemento desta paisagem do Vale é o rio Jequitinhonha, surgiu de suas águas a verdadeira importância para a construção da barragem de Irapé. Suas águas, como recurso natural e ícone essencial para a geração de energia, viraram temas de destaque não somente para a região, como de importância para toda a região sudeste do Brasil. Seu uso sustentável é fundamental, tanto na*





Asentamiento de las familias/Assentamento das famílias.

mantenimiento de la vida como para garantizar el desarrollo socioeconómico de las poblaciones ribereñas allí radicadas.

Uno de los principales beneficios que la presa de Irapé proporciona al Valle del río Jequitinhonha, con la formación del lago, es el control del caudal del río aguas abajo, evitando así la falta de agua en el período seco, entre los meses de mayo a noviembre de cada año, y que produce grandes inundaciones en el período húmedo. Los caudales medios mensuales naturales del río Jequitinhonha presentaban una gran variación entre los meses del período seco y los meses de lluvias, variando entre 15 m<sup>3</sup>/s y 1500 m<sup>3</sup>/s. Con la regularización de las aguas aguas abajo, y la disponibilidad de agua en el lago aguas arriba, se estableció la posibilidad de diversos programas para la mejoría de la calidad de vida y generación de renta de la población ribereña, atrayendo el turismo y la industria para la región, y llevando energía eléctrica a más de un millón de personas.

#### Asentamiento de las familias

En la fase de planificación y construcción, uno de los focos de resistencia a la obra fue el hecho de que en el embalse, de 137,16 km<sup>2</sup>, había que reasentar cerca de 1.100 familias ribereñas, enraizadas en aquellas regiones, que ya habían desarrollado una forma de vivir propia y de cultivar la tierra, unidas por fuertes lazos culturales y de vecindad. Por ello, las familias tuvieron su condición considerada de forma peculiar por parte de la CEMIG. Así al tiempo que se comenzaban las obras de la hidroeléctrica, se inició un extenso Programa de Comunicación Social y Educación Ambiental.

*manutenção da vida como para garantir o desenvolvimento socioeconômico das populações ribeirinhas que ali vivem.*

*Um dos principais benefícios que a barragem de Irapé proporcionou ao Vale do rio Jequitinhonha, com a formação do lago, é o controle da vazão do rio a jusante, evitando assim a escassez de água no período seco, entre os meses de maio a novembro de cada ano, e a ocorrência das grandes enchentes no período úmido. As vazões médias mensais naturais do rio Jequitinhonha apresentavam uma grande variação entre os meses de seca e os meses de chuvas, variando entre 15 m<sup>3</sup>/s e 1500 m<sup>3</sup>/s. Com a regularização das águas a jusante, e a disponibilidade de água no lago a montante, estabeleceram-se a possibilidade de diversos programas para a melhoria da qualidade de vida e geração de renda da população ribeirinha, atraindo o turismo e a indústria para a região, e levando energia elétrica a mais de um milhão de pessoas.*

#### Assentamento das famílias

*Na fase de planejamento e construção, um dos focos de resistência à obra foi o fato de o reservatório da usina, de 137,16 km<sup>2</sup>, remanejar cerca de 1.100 famílias ribeirinhas, enraizadas naquelas regiões, desenvolvendo um jeito próprio de viver e cultivar a terra, ligadas por fortes laços culturais e de vizinhança, as famílias tiveram sua condição considerada de forma peculiar por parte da CEMIG. Tão logo se iniciaram as obras da hidrelétrica, iniciou-se um extenso Programa de Comunicação Social e Educação Ambiental.*



Asentamiento de las familias/Assentamento das famílias.

La organización de las familias fue incentivada y resuelta en un plazo de acuerdo bien amplio atendiendo las necesidades de las comunidades que serían reasentadas.

De las 1.100 familias afectadas, cerca de 650 escogieron ser reasentadas en 28 comunidades rurales, con un área total de 63 mil hectáreas de tierras, especialmente adquiridas por la CEMIG, donde fue proyectada y construida toda la infraestructura de la red eléctrica, sistemas de distribución de agua tratada, saneamiento y telefonía, además del preparado de las tierras y asistencia técnica para el cultivo.

Ante la magnitud de la obra, y la fragilidad socioeconómica de la región de inserción, la CEMIG desarrolló un cuidadoso trabajo con las familias, buscando preservar al máximo su historia, su cultura y los lazos familiares y sociales de esas personas. Para eso, la Empresa realizó los reasentamientos considerando los lazos de vecindad, en tierras de calidad, y suministró asesoría técnica apropiada, visando condiciones sustentables y calidad de vida para esas comunidades. Cerca de 40 programas socioambientales fueron desarrollados en las comunidades y municipios afectados durante la construcción, algunos de los cuales aún se encuentran en marcha.

#### Medidas socioambientales

En la fase de construcción de la presa, y hasta el inicio de la formación del gran embalse, fueron desarrolladas varias acciones socioambientales.

Las principales intervenciones atendieron las necesidades relacionadas con el estudio de la flora y fauna, al

*A organização das famílias foi encorajada e resultou num termo de acordo bastante amplo no atendimento às necessidades das comunidades a serem remanejadas.*

*Das 1.100 famílias atingidas, cerca de 650 escolheram ser reassentadas em 28 comunidades rurais, com área total de 63 mil hectares de terras, especialmente adquiridas pela CEMIG, onde foram projetadas e construídas toda a infra-estrutura de rede elétrica, sistemas de distribuição de água tratada, saneamento e telefonia, além do preparo das terras e assistência técnica para o cultivo.*

*Em face da magnitude do empreendimento, e a fragilidade socioeconômica da região de inserção, a CEMIG desenvolveu um cuidadoso trabalho com as famílias, buscando preservar ao máximo a sua história, a cultura e os laços familiares e sociais dessas pessoas. Para isso, a Empresa realizou os re-assentamentos considerando os laços de vizinhança, em terras de qualidade, e forneceu assessoria técnica apropriada, visando condições sustentáveis e qualidade de vida para essas comunidades. Cerca de 40 programas sócio-ambientais foram desenvolvidos nas comunidades e municípios afetados durante a construção, sendo que alguns deles ainda se encontram em andamento.*

#### Medidas sócio-ambientais

*Na fase de construção da barragem, e até o início de formação do grande lago, foram desenvolvidas inúmeras ações sócioambientais.*

*As principais intervenções atenderam às necessidades relativas ao estudo da flora e fauna, ao assentamento de*



asentamiento de familias, a la infraestructura, a la salvación arqueológica, control de la calidad del agua, recomposición de áreas de yacimientos y de préstamo, creación e inversión en el área de la reserva ambiental, incremento de la piscicultura dirigido a la repoblación de especies de la fauna de la cuenca del río Jequitinhonha, y salvación de animales durante el llenado del embalse, entre otras.

El río Jequitinhonha y sus afluentes son considerados de extrema importancia biológica, a pesar de que su fauna, sobre todo la ictiofauna, es sobre todo una de las menos estudiadas. La falta de informaciones acerca de la sistemática, de la biología reproductiva y alimentar y del comportamiento migratorio de las especies refuerza la importancia de los estudios que la CEMIG desarrolló en el ámbito del Estudio de Impacto Ambiental. Estos estudios de los peces del río Jequitinhonha, suministran así, aportaciones importantes a los programas para su mantenimiento y conservación.

En el objetivo de las acciones socioambientales, se destacaron, también, en Irapé, las actividades dirigidas a los medios socioeconómicos y culturales. Nunca en otra hidroeléctrica construida en Brasil, fueron realizados estudios tan amplios relativos a la cultura local, fomentando las manifestaciones populares (fiestas, folclor, música, construcciones típicas, etc.). Se pudo reunir un importante acervo y, para poner a disposición del público, se construyeron dos Centros de Referencia y Memoria en la región.

Estas acciones destacaron por el uso de metodologías de vanguardia, con relación a la preservación de bienes culturales y ambientales junto a comunidades afectadas por la obra. Para esto, fue importante la alianza entre la CEMIG y los organismos del Gobierno responsables por la preservación del Patrimonio Histórico y Cultural. Por medio de programas especialmente desarrollados, fueron inventariadas las manifestaciones culturales de las comunidades, promovida la restauración y conservación de bienes culturales, y se implantó un Programa de Educación Patrimonial y Ambiental cuyo principal objetivo es la valorización del patrimonio cultural y natural, estimulando así nuevas producciones.

### **Beneficios favorecedores de los municipios de la Región**

La falta de saneamiento básico en varios municipios de la región sometía a la población local a la contaminación por metales pesados. El río Jequitinhonha no posee calidad de aguas adecuadas para el consumo humano, por lo que necesitaba tratamiento convencional antes de ser utilizada. Diariamente, iban al río cerca de 200 litros de vertidos en la

*famílias, à infraestrutura, ao salvamento arqueológico, monitoramento da qualidade da água, recomposição de áreas de jazidas e de empréstimo, criação e investimento em área de reserva ambiental, incremento à piscicultura voltado para o re-povoamento de espécies da fauna da bacia do rio Jequitinhonha, salvamento de animais durante o enchimento do reservatório, entre outras.*

*O rio Jequitinhonha e seus afluentes são considerados, ainda, de extrema importância biológica, sendo que, no entanto, sua fauna, notadamente a ictiofauna, ainda é uma das menos estudadas. A carência de informações acerca da sistemática, da biologia reprodutiva e alimentar e do comportamento migratório das espécies reforça a importância dos estudos que a CEMIG desenvolveu no âmbito do Estudo de Impacto Ambiental. Estes estudos dos peixes do rio Jequitinhonha, fornecem assim, subsídios consistentes aos programas para sua manutenção e conservação.*

*No escopo das ações sócio-ambientais, destacaram-se, também, em Irapé, as atividades voltadas para os meios sócio-econômico e cultural. Jamais em outra hidrelétrica construída no Brasil, foram realizados estudos tão abrangentes relativos à cultura local, com levantamento das manifestações populares (festas, folclore, música, construções típicas, etc). Um importante acervo foi reunido e, para disponibilizá-lo ao público, foram construídos dois Centros de Referência e Memória na região.*

*Estas ações destacaram-se pela utilização de metodologias de vanguarda, no que se refere à preservação de bens culturais e ambientais junto a comunidades afetadas pelo empreendimento. Para tanto, foi importante a parceria entre a CEMIG e os organismos do Governo responsáveis pela preservação do Patrimônio Histórico e Cultural. Por meio de programas especialmente desenvolvidos, foram inventariadas as manifestações culturais das comunidades, promovida a restauração e a guarda de bens culturais, e implantado um Programa de Educação Patrimonial e Ambiental que visa à valorização do patrimônio cultural e natural e estimula novas produções.*

### **Benefícios favorecem municípios da Região**

*A falta de saneamento básico em vários municípios da região submetia a população local à contaminação por metais pesados. O rio Jequitinhonha não possui qualidade das águas adequada para o consumo humano, portanto, necessitou de tratamento convencional antes de ser utilizada. Diariamente, eram despejados cerca de 200 litros de es-*





Centros de Porto dos Cori-Leme do Prado y Usina de Irapé-Grão Mogol/Centros do Porto dos Cori-Leme do Prado e Usina de Irapé-Grão Mogol.

parte comprendida dentro del estado de Minas Gerais, aparte de que una agricultura y pecuaria mal planificadas acentuaban la contaminación. Con el objetivo de reducir el impacto de este problema, la CEMIG realizó una serie de obras de saneamiento básico en el entorno del embalse de Irapé, todas ellas ya concluidas. La CEMIG construyó y amplió redes de alcantarillado, redes colectoras, instalaciones de edificios, bombeo, interceptores y emisarios.

Fueron realizadas diversas obras de infraestructura en los municipios de la región, incluyendo puentes, escuelas, cuarteles, puestos de salud y muchas otras inversiones, canales de protección en las orillas de los arroyos locales, puestos telefónicos, sedes comunitarias, lavanderías y reforma de piscina pública.

Otros beneficios, incluyendo entrenamientos, actividades de soporte, generación de puestos de trabajo y recaudación de impuestos, favorecieron la región desde el inicio de la implantación de la obra. En relación a los impuestos, hubo un aumento significativo durante las obras en la central y en el entorno del lago. Como ejemplo, citamos el municipio de Berilo, cuyo crecimiento del PIB - Producto Interno Bruto fue de 304%, en función de las obras de la central, y se consolidó como el cuarto mayor aumento entre los municipios del País en el período calculado.

La compensación financiera por el uso de los recursos hídricos comenzó a ser pagada por la CEMIG en octubre del 2006, totalizando cerca de dos millones ochocientos mil reais anuales a los municipios abarcados por el lago (correspondiente a más de 1 millón de euros anuales).

Se estima que la base para cálculo de la recaudación del tributo resultante de la implantación de Irapé relaciona-

gato na parte do rio no estado de Minas Gerais, além da agricultura e pecuária mal planejadas acentuarem a poluição. Com o objetivo de reduzir o impacto deste problema na região, a CEMIG realizou uma série de obras de saneamento básico no entorno do reservatório de Irapé, todas concluídas. A CEMIG construiu e ampliou redes de esgoto, redes coletoras, instalações prediais, elevatórias, interceptores e emissários.

Foram realizadas diversas obras de infra-estrutura nos municípios da região, e a lista inclui pontes, escolas, quartéis, postos de saúde e muitos outros investimentos, canais de proteção nas margens dos ribeirões locais, postos telefônicos, sedes comunitárias, lavanderias e reforma de piscina pública.

Uma série de outros benefícios, incluindo treinamentos, atividades de suporte, geração de postos de trabalho e arrecadação de impostos, favoreceu a região desde o início da implantação da obra. Em relação aos impostos, houve aumento significativo de arrecadação de tributos durante as obras na usina e no entorno do lago. Como exemplo, citamos o município de Berilo, cujo crescimento do PIB - Produto Interno Bruto foi de 304%, em função das obras da usina, e se consolidou como o quarto maior aumento entre os municípios do País no período apurado.

A compensação financeira pela utilização dos recursos hídricos começou a ser paga pela CEMIG em outubro de 2006, totalizando cerca de 2 milhões e 800 mil reais anuais aos municípios abrangidos pelo lago (correspondente a mais de 1 milhão de euros anais).

Estima-se que a base para cálculo da arrecadação do tributo decorrente da implantação de Irapé relacionado à



## Bajo la óptica socioambiental, Irapé ciertamente cumplió su papel de establecer la infraestructura necesaria para impulsar el desarrollo de la región y propiciar la elevación de los indicadores de calidad de vida y desarrollo humano, armoniosamente integrado al paisaje local

do a la circulación de mercaderías y prestación de servicios, cuya sigla adoptada en Brasil es el ICMS, será de 125 millones de reais anuales (cerca de 47 millones de euros), pues gran parte de la recaudación será destinada a los siete municipios involucrados que constituyen parte de la AMBHI - Asociación de los Municipios de la Cuenca Hidrográfica de Irapé, principalmente Grão Mogol y Berilo, donde está instalada la central.

### Conclusión

La Central de Irapé, ante las particularidades de relieve accidentado y geología del sitio con rocas ricas en sulfuros, y con generación de efluentes ácidos, hizo que, por parte de la CEMIG y de las empresas que componen el Consórcio Construtor de Irapé (CCI) se adoptasen una serie de soluciones inéditas para el proyecto. Esto fue el resultado de intensas investigaciones y observaciones, con la participación de consultores internacionales que habían vivido experiencias semejantes, principalmente en Minerías con generación de drenaje ácido. La obra de Irapé fue equipada con diversos instrumentos que permitirán el control y vigilancia constante de sus estructuras durante la operación de la central, evaluando las soluciones de proyecto adoptadas.

Se destaca, además, la elección acertada por los proyectistas y planificadores de la obra, de una logística muy compleja de los accesos, muchos de ellos subterráneos, a fin de cumplir el plazo fijado de 40 meses para la primera unidad generadora. La ingeniería de proyectos optó también, acertadamente, por la adopción de canal subterráneo para los aliviaderos, aprovechándose las condiciones topográficas y geológicas favorables para este tipo de estructura.

Bajo la óptica socioambiental, Irapé ciertamente cumplió su papel de establecer la infraestructura necesaria para impulsar el desarrollo de la región y propiciar la elevación de los indicadores de calidad de vida y desarrollo humano, armoniosamente integrado al paisaje local. ♦

*circulação de mercadorias e prestação de serviços, cuja sigla adotada no Brasil é o ICMS, será de 125 milhões de reais anuais (cerca de 47 milhões de euros anuais), sendo que grande parte da arrecadação será destinada aos sete municípios atingidos que fazem parte da AMBHI - Associação dos Municípios da Bacia Hidrográfica de Irapé, principalmente Grão Mogol e Berilo, onde está instalada a usina.*

### Conclusão

*A Usina de Irapé, face as particularidades de relevo acidentado e geologia do sítio em rochas ricas em sulfetos, sabidamente com geração de efluentes ácidos, mereceu por parte da CEMIG e das empresas que compõem o Consórcio Construtor de Irapé (CCI) um grande ineditismo das soluções adotadas pelo projeto. Isto foi resultado de intensas pesquisas e observações, com a participação de consultores internacionais, os quais haviam vivenciado situações semelhantes, principalmente em Minerações com geração de drenagem ácida. O empreendimento de Irapé foi aparelhado com diversos instrumentos que permitirão o monitoramento constante de suas estruturas durante a operação da usina, de maneira a avaliar as soluções de projeto adotadas.*

*Destaca-se, ainda, a escolha acertada, pelos projetistas e planejadores da obra, de uma logística bastante complexa de acessos, muitos deles subterrâneos para atender ao prazo de geração de 40 meses para a primeira unidade geradora. A engenharia de projetos optou também, acertadamente, pela adoção de calha subterrânea para os vertedouros, aproveitando-se das condições topográficas e geológicas favoráveis para este tipo de estrutura.*

*Sob a óptica sócio-ambiental, Irapé certamente cumpriu o seu papel de estabelecer a infra-estrutura necessária para impulsionar o desenvolvimento da região e propiciar a elevação dos indicadores de qualidade de vida e desenvolvimento humano, harmoniosamente integrado à paisagem local. ♦*

