

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LEANDRO GONÇALVES DE BEM

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA REATIVAÇÃO E REPOTENCIAÇÃO  
DA CENTRAL GERADORA HIDRELÉTRICA DO CASQUINHA  
PERTENCENTE À UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

VIÇOSA  
2018

LEANDRO GONÇALVES DE BEM

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA REATIVAÇÃO E REPOTENCIAÇÃO  
DA CENTRAL GERADORA HIDRELÉTRICA DO CASQUINHA  
PERTENCENTE À UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Tarcísio de Assunção Pizziolo.

VIÇOSA  
2018



Nesta página será inserida a ficha catalográfica correspondente à sua Monografia. Ela será elaborada pelo pessoal da Biblioteca Central da UFV.

A priori deixa a página em branco.

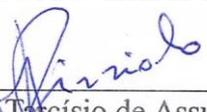
**LEANDRO GONÇALVES DE BEM**

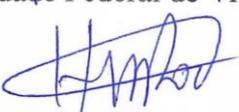
**ESTUDO DE VIABILIDADE DA REATIVAÇÃO E REPOTENCIAÇÃO  
DA CENTRAL GERADORA HIDRELÉTRICA DO CASQUINHA  
PERTENCENTE À UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

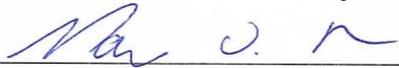
Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 — Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 06 dezembro de 2018.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Tarcísio de Assunção Pizziolo - Orientador  
Universidade Federal de Viçosa

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Henrique Márcio Pereira Rosa — Membro  
Universidade Federal de Viçosa

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Mauro de Oliveira Prates - Membro  
Universidade Federal de Viçosa

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”. (Marthin Luther King)*

*À minha família e aos meus amigos.*

## *Agradecimentos*

Agradeço a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a minha formação como Engenheiro Eletricista.

Em especial a Deus, pela vida, por me guiar e permitir que cada passo fosse dado para a conclusão deste curso.

Aos meus pais, Maria do Carmo e Antonio, por todo amor, carinho e por me incentivarem nos desafios mais difíceis. Às minhas irmãs, Lidiane e Lívia, por serem essenciais na minha vida, sempre me ajudando a evoluir. Aos meus cunhados, por toda parceria.

Aos amigos que a Engenharia Elétrica me trouxe, em especial Ana Clara, Lara, Rafael, Renata e Silas, por estarem sempre presentes durante essa trajetória e por me ajudarem a fazer dessa graduação uma caminhada mais leve.

Aos meus amigos de repúblicas, por se tornarem uma segunda família para mim.

Ao Heitor e ao Natalino da GPC, por estarem sempre dispostos a sanar minhas dúvidas e me ajudarem no levantamento dos dados.

A todos os professores com os quais pude aprender, em especial ao professor Tarcísio Pizziolo, por me orientar durante a realização deste trabalho.

## ***Resumo***

A Central Geradora Hidrelétrica (CGH) do Casquinha, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, localiza-se no Rio Casca a 45 km da cidade de Viçosa, entre as cidades de São Miguel do Anta e Canãa. Ela iniciou sua operação em 1960, com uma capacidade instalada de 480 kVA, entretanto, atualmente ela encontra-se desativada. O presente trabalho tem como objetivo fazer uma análise de viabilidade da reativação e da repotenciação da central. Para isso, foi levantado os dados hidrológicos do Rio Casca em um período de dez anos, e a partir deles estimados valores de vazões para o cálculo de repotenciação da CGH. Com o intuito de comparação, foram analisados dois casos: um com uma vazão  $Q_{95}$  (vazão encontrada no local com a duração de 95% do tempo), para um cenário mais conservador; e o outro, com uma vazão  $Q_{40}$  (vazão com a duração de 40% do tempo), para um cenário mais otimista. Em seguida, foi calculado o custo de instalação da CGH para cada um dos casos. Posteriormente, por meio das faturas de energia elétrica da UFV, fez-se um levantamento do perfil de consumo da instituição, identificando consumo e demanda média, multas por ultrapassagens, valor médio mensal das faturas, períodos em que o consumo de energia são mais elevados e o preço médio do kWh comprado pela universidade. Por fim, para uma análise de viabilidade econômica, foi realizado um *payback* com base no custo de implantação da central e na economia gerada pela CGH no consumo final da energia comprada pela concessionária, observando que a implantação do projeto é viável e que a universidade terá pago todo o investimento inicial após um período de dois a quatro anos.

## *Abstract*

The Central Hydroelectric Generation (CGH) of Casquinha, belonging to the Universidade Federal de Viçosa, is located in Rio Casca, 45 km from the city of Viçosa, between the cities of São Miguel do Anta and Canãa. It started operation in 1960, with an installed capacity of 480 kVA. However, it is currently deactivated. This work aims to make a feasibility analysis of reactivation and repowering of the plant. For this reason, the hydrological data of the Rio Casca was collected in a period of ten years, and from them estimated flow values to calculate the repowering of the CGH. Furthermore, in order to study the viability, two cases were analyzed: the first one with  $Q_{95}$  flow (flow found in the river with a duration of 95% of the time), in a conservative scenario; and the second, with  $Q_{40}$  flow (flow found with a duration of 40% of the time), in an optimistic scenario. Considering these cases, the installation cost of the CGH was calculated for each case. Subsequently, through the electric energy bills of the UFV, a survey was made of the consumption profile of the institution, identifying average consumption and demand, fines for overshooting, monthly average invoices, periods in which energy consumption is higher and the average price of kWh purchased by the university. Finally, for a feasibility analysis, a payback was made based on the cost of setting up the plant and the savings generated by CGH in the final consumption of energy purchased by the concessionaire, noting that the implementation of the project is feasible and that the university will have paid all the initial investment after a period of two to four years.

# Sumário

1	Introdução .....	14
2	Matriz energética .....	17
2.1	Fontes Renováveis de Energia.....	17
2.1.1	Hidráulica .....	17
2.1.2	Solar .....	18
2.1.3	Eólica .....	18
2.1.4	Biomassa.....	19
2.2	Fontes Não Renováveis de Energia.....	19
2.2.1	Derivados do petróleo.....	19
2.2.2	Energia Nuclear .....	19
2.2.3	Gás Natural .....	20
2.2.4	Carvão Mineral .....	20
2.3	Panorama atual .....	21
2.4	Tarifação.....	22
3	Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH).....	26
3.1	Aspectos Construtivos .....	26
3.1.1	Sistema de Captação .....	26
3.1.2	Sistema de Adução .....	27
3.1.3	Casa de Máquina.....	27
3.1.4	Sistema de Monitoramento e Proteção .....	28
3.2	Potencial Hidráulico .....	29
3.3	Custos .....	30
3.3.1	Custo de implantação.....	30
3.3.2	Custos Operacionais .....	32
4	CGH do Casquinha .....	33
4.1	Cenário atual.....	33
4.2	Dados Hidrológicos .....	37
4.3	Repotenciação da CGH do Casquinha.....	39
5	Análise Econômica .....	43
5.1	Custos de energia elétrica .....	43
5.1	Cálculo de <i>payback</i> .....	49
6	Conclusão .....	51
	Referências Bibliográficas.....	53

## *Lista de Figuras*

Figura 1 - Porcentagem de Renováveis na Matriz Energética Brasileira. ....	15
Figura 2 - Geração de energia elétrica no Brasil por fontes (2017). ....	18
Figura 3 - Geração de energia elétrica no Brasil por empreendimento (2017). ....	22
Figura 4 - Esquema de uma Central Geradora Hidrelétrica. ....	26
Figura 5 - Turbinas (a) Kaplan (b) Francis (c) Pelton. ....	28
Figura 6 - Unidades geradoras da CGH do Casquinha (a) 120 KVA (b) 360 KVA. ....	34
Figura 7 - Represa da CGH do Casquinha. ....	35
Figura 8 - Barragem da CGH do Casquinha.....	35
Figura 9 - Tubulação de adução da CGH do Casquinha. ....	36
Figura 10 - Casa de máquinas e chaminé de equilíbrio da CGH do Casquinha.....	36
Figura 11 - Vazões mensais da estação São Miguel do Anta no período de 2005 a 2014. ....	38
Figura 12 - Curva de permanência da estação São Miguel do Anta no período de 2005 a 2014. .....	39
Figura 13 - Determinação da energia gerada na CGH do Casquinha através da curva de permanência e utilizando a $Q_{40}$ . ....	40
Figura 14 - Determinação da energia gerada na CGH do Casquinha através da curva de permanência e utilizando a $Q_{95}$ . ....	40
Figura 15 - Valor total e multas da fatura de energia elétrica da UFV.....	44
Figura 16 - Consumo de energia elétrica no Horário Fora de Ponta (HFP) e no Horário de Ponta (HP) da UFV, Campus Viçosa.....	45
Figura 17 - Demanda durante um ano da UFV, campus Viçosa. ....	46

## *Lista de Tabelas*

Tabela 1 - Classificação dos aproveitamentos hidráulicos.....	15
Tabela 2 - Empreendimentos em operação no Brasil.....	21
Tabela 3 - Classificação das turbinas hidráulicas.....	28
Tabela 4 - Custos médios percentuais por categoria. ....	31
Tabela 5 - Dados técnicos dos geradores atuais da CGH do Casquinha. ....	34
Tabela 6 – Vazões mensais da estação São Miguel do Anta no período de 2005 a 2014. ....	38
Tabela 7 - Cálculo da energia gerada na CGH do Casquinha usando a $Q_{40}$ .....	42
Tabela 8 - Cálculo da energia gerada na CGH do Casquinha usando a $Q_{95}$ .....	42
Tabela 9 – Consumo e valores pagos pela UFV a CGH Limoeiro.....	48
Tabela 10 - Cálculo da economia ao ano com a reativação da CGH do Casquinha. ....	49

# ***1 Introdução***

No decorrer dos anos, o desenvolvimento da humanidade proporcionou às pessoas melhores índices de conforto e qualidade de vida devido aos avanços em vários setores, como na medicina, na agricultura e nas indústrias (NASCIMENTO e ALVES, 2016). No entanto, o contentamento das necessidades humanas vai ao encontro do uso de energia, ou seja, seu consumo é determinado pelas demandas relacionadas ao bem-estar da sociedade. Desta forma, o homem sempre necessitou da busca por novos recursos energéticos como forma de sanar suas necessidades de desenvolvimento (ALBARELLO, 2014).

O acesso a eletricidade foi um dos fatores preponderantes para o mundo alcançar o patamar atual de desenvolvimento tecnológico e social (POLLI, ALVES e FRITZEN, 2015). Conforme a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo de energia elétrica no país tem aumentado nos últimos anos e estima-se um crescimento médio de 3,7% ao ano, de 2016 até 2026. Já o crescimento médio anual da demanda total de eletricidade é estimado em 3,2% (EPE, 2017). Por sua vez, também se espera um aumento na tarifa média brasileira de energia elétrica, visto que, entre 2013 e 2017, ela sofreu uma expansão de 65,6% (EPE, 2018).

Analisando este contexto, o esgotamento das fontes de energia tradicionais e os impactos ambientais decorrentes do uso das fontes fósseis são fatores determinantes para a segurança energética mundial, podendo criar ou acirrar conflitos geopolíticos. Algumas opções, como o maior uso de fontes renováveis, se apresentam como possíveis soluções para o futuro da energia (CEMIG, 2012).

O Balanço Energético Nacional 2018 (BEN 2018) mostra que a participação de renováveis na Matriz Energética Brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo. Mesmo com uma atenuação de 1,3% de 2016 para 2017, os renováveis ainda possuem expressivo valor, com mais de 80% na matriz final, como mostra a Figura 1 (EPE, 2018).

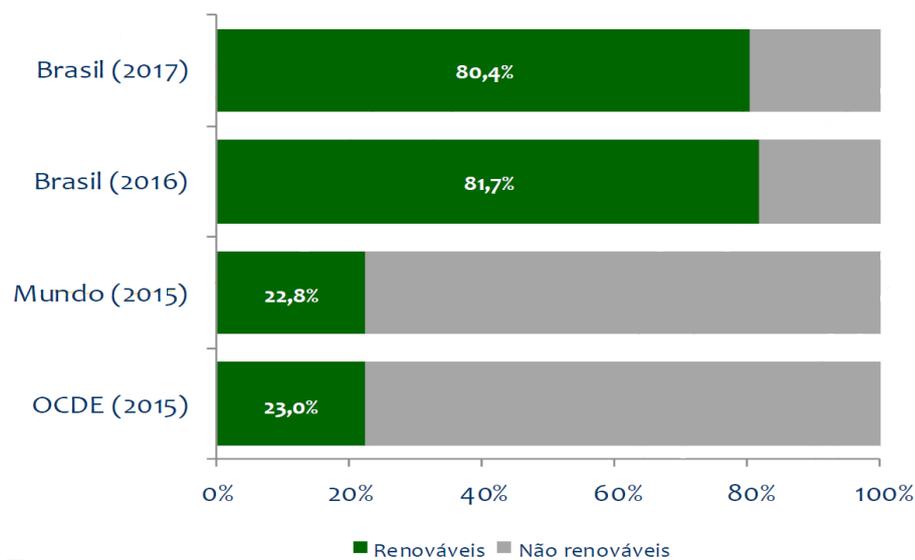


Figura 1 - Porcentagem de Renováveis na Matriz Energética Brasileira.

Fonte: EPE, 2018.

O potencial energético renovável do Brasil é uma das suas maiores riquezas. Devido à grande disponibilidade hídrica, o país se destaca na geração de energia elétrica por fonte hidráulica (QUEIROZ, 2013). De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2008), o Brasil apresenta o maior potencial hidrelétrico do mundo, e deste, 50% ainda está a ser explorado.

Os aproveitamentos hidráulicos de pequenas dimensões para geração de eletricidade podem ser classificados de acordo com a Tabela 1. Uma Central Geradora Hidrelétrica (CGH) corresponde as mini e micro centrais e é uma alternativa de geração de energia elétrica de baixo custo largamente utilizada. Com potência instalada inferior a 5MW, elas independem de autorização ou concessão, devendo, apenas, ser realizado um registro na ANEEL (QUEIROZ, 2010).

Tabela 1 - Classificação dos aproveitamentos hidráulicos.

Classificação da Centrais	Potência - P (kW)	Queda de Projeto – H (m)		
		Baixa	Média	Alta
Micro	$P \leq 100$	$H < 15$	$15 < H < 50$	$H > 50$
Mini	$100 < P \leq 5000$	$H < 20$	$20 < H < 100$	$H > 100$
Pequena	$5000 < P \leq 30000$	$H < 25$	$25 < H < 130$	$H > 130$

Fonte: ANEEL, 2017.

Os custos totais deste tipo de centrais, normalmente, são menores do que os custos das outras fontes e sua manutenção é bastante simplificada. Sua tecnologia é robusta e apresenta vida útil elevada, atingindo em média 50 anos de funcionamento sem maiores investimentos, apenas com baixos custos de reparos. Esse modelo de geração ajuda na redução da emissão de CO<sub>2</sub> e, como na maioria das vezes opera a fio d'água, cujos os reservatórios são pequenos ou até inexistentes, possui um reduzido impacto ambiental (FILHO et al, 2008).

Em particular, a CGH do Casquinha, de propriedade da Universidade Federal de Viçosa (UFV), foi instalada no final da década de cinquenta e situada à 45 km de Viçosa. Com uma potência instalada de 480 kW, a central tinha por finalidade suprir as necessidades de energia elétrica da universidade. Devido a alguns fatores, como a falta de manutenção de equipamentos, a não reposição de materiais de consumo das máquinas e a falta de mão-de-obra capacitada, a central foi desativada no ano de 2007 (UFV, 2007).

Desta forma, para atender as necessidades de energia, a UFV possui atualmente um contrato com a concessionária CEMIG de 3500 kW de demanda no horário fora de ponta e 2700 kW de demanda no horário de ponta e um contrato de compra de energia elétrica com a CGH Limoeiro, que tem uma capacidade instalada de 280 kW. Além disso, a UFV possui quatro geradores a diesel, totalizando 942 kVA. Entretanto, apenas um gerador entra em paralelismo com a rede elétrica, buscando evitar eventuais desligamentos decorrentes da ultrapassagem de demanda. Os demais, são utilizados somente em casos de emergência por falta de fornecimento da rede, ou seja, eles não participam ativamente da geração de energia, pois a relação do custo de diesel para a produção de energia não é favorável (GUIMARÃES, 2017).

No contexto geral, objetiva-se uma avaliação da repotenciação da CGH baseado nos níveis de vazão do Rio Casca, além de realizar uma análise econômica baseada no custo de implantação estimado e nas economias que poderão ser geradas com a reativação da central.

## 2 *Matriz energética*

Nas suas mais diversas formas, a energia é considerada indispensável aos seres humanos. Em busca de evolução e melhor qualidade de vida, o homem começou a descobrir fontes e formas alternativas de energia que pudessem atender suas necessidades. Devido a alguns fatores como a escassez ou a dificuldade de obtenção de determinados recursos, foi-se descobrindo outros novos insumos que também poderiam ser utilizados para a produção de energia (ANEEL, 2008).

Desta forma, percebeu-se que a energia elétrica poderia ser gerada basicamente por fontes renováveis como a hidráulica, solar, eólica e biomassa, e por fontes não renováveis, como os derivados do petróleo, a energia nuclear, o gás natural e o carvão mineral. Em termos de suprimento energético, a eletricidade se tornou uma das formas mais versáteis de energia e um recurso indispensável para o desenvolvimento socioeconômico de um país (FRIEDRICH, 2010).

### 2.1 *Fontes Renováveis de Energia*

Consideram-se fontes renováveis de energia aquelas que usam recursos naturais e inesgotáveis, capazes de se regenerar (FREITAS e DATHEIN, 2013). A seguir, serão descritas algumas fontes renováveis de energia.

#### 2.1.1 *Hidráulica*

A energia hidráulica é proveniente da irradiação solar e da energia potencial gravitacional, através da evaporação, condensação e precipitação da água sobre a superfície terrestre. As usinas hidrelétricas têm a capacidade de transformar energia cinética em energia elétrica a partir do aproveitamento do movimento das águas (QUEIROZ, 2013).

Diferentemente das outras fontes renováveis de energia, a energia hidráulica representa uma significativa parcela da matriz energética mundial, possuindo tecnologias de aproveitamento consolidadas. Segundo o BEN 2018, a energia hidráulica é responsável por cerca de 63% (Figura 2) da geração de energia elétrica, com 370.906 GWh no ano de 2017 (EPE, 2018).

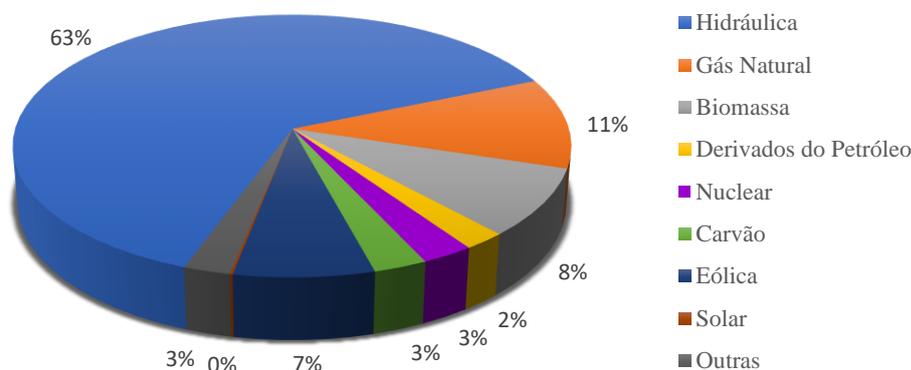


Figura 2 - Geração de energia elétrica no Brasil por fontes (2017).

Fonte: EPE, 2018.

### 2.1.2 Solar

Após passar pela atmosfera, a energia solar manifesta-se sob a forma de luz visível de raios infravermelhos e de raios ultravioleta. É possível captar essa luz e transformá-la em alguma forma de energia. Se for utilizada uma superfície escura para a captação, a energia solar será transformada em calor. Se forem utilizadas células fotovoltaicas (painéis fotovoltaicos), o resultado será a eletricidade (ANEEL, 2008).

A energia solar ainda é pouco expressiva na matriz mundial, pois o custo de fabricação e instalação de painéis fotovoltaicos ainda é bem elevado. Em 2017 foi gerado 832 GWh de eletricidade no Brasil, conforme o BEN 2018 (EPE, 2018).

### 2.1.3 Eólica

A energia eólica pode ser definida como a energia cinética contida nas massas de ar em movimento, ou seja, no vento. Com o auxílio de turbinas eólicas, também denominadas de aerogeradores, pode-se obter uma conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o objetivo de gerar energia elétrica. Além disso, pode-se empregar cata-ventos e moinhos, para obter trabalhos mecânicos (ANEEL, 2008).

De acordo com o BEN 2018, a geração de energia elétrica no ano de 2017 por meio de fontes eólicas foi de 42.373 GWh, representando 7,2% da geração (EPE, 2018).

### **2.1.4 Biomassa**

Do ponto de vista energético, a biomassa é caracterizada por todo recurso renovável que pode ser empregado na produção de energia e que seja provindo de matéria orgânica, tanto animal quanto vegetal. A obtenção da energia elétrica a partir da biomassa é oriunda da conversão da matéria-prima em um produto intermediário para ser utilizado em uma máquina motriz, com o intuito de produzir energia mecânica e acionar um gerador de energia elétrica (ANEEL, 2008).

A geração de energia elétrica por Biomassa corresponde a 8,4%, produzindo cerca de 49.385 GWh de energia em 2017 (EPE, 2018).

## **2.2 Fontes Não Renováveis de Energia**

Consideram-se fontes não renováveis de energia aquelas que após um tempo de utilização se esgotam. Essas fontes usam recursos naturais que depois de serem utilizados não podem ser regenerados, nem pela ação da natureza e nem pela ação humana (FREITAS e DATHEIN, 2013). A seguir serão descritas algumas dessas fontes empregadas para a geração de energia elétrica.

### **2.2.1 Derivados do petróleo**

Neste tipo de produção de energia elétrica, a matéria-prima derivada de petróleo é encaminhada à usina, onde será queimada em uma câmara de combustão. O calor liberado neste processo aquece e aumenta a pressão da água, transformando-a em vapor. Este vapor movimenta as pás das turbinas, transformando energia térmica em mecânica. Por fim, o gerador transforma a energia mecânica em energia elétrica (ANEEL, 2008).

Os derivados do petróleo (óleo diesel e óleo combustível) participaram em 2,2% da geração de energia elétrica, sendo produzidos 12.733 GWh de energia elétrica, segundo o BEN 2018 (EPE, 2018).

### **2.2.2 Energia Nuclear**

A principal forma de obtenção do combustível utilizado em usinas térmicas, também conhecidas como usinas termonucleares, é a extração do minério de urânio. Neste processo, o núcleo do átomo de urânio passa por um processo de fissão para gerar a energia. Nas usinas

termonucleares, a energia é liberada lentamente, manifestando-se sob a forma de calor e aquecendo a água existente nos reatores. O vapor gerado neste processo movimentava as turbinas, que converte em energia elétrica por meio dos geradores que produzem a eletricidade (ANEEL, 2008).

Em 2017, a fonte de energia nuclear gerou cerca de 15.739 GWh de energia, cerca de 2,7 % da geração (EPE, 2018).

### **2.2.3 Gás Natural**

A geração de energia elétrica oriunda do gás natural pode ser estabelecida de duas formas. A primeira, é a geração exclusiva da eletricidade e a segunda, a cogeração, de onde se extrai, além da energia elétrica, o calor e o vapor utilizados em determinados processos industriais.

Nas usinas termelétricas, para se obter a combustão, mistura-se ar comprimido com o gás natural. Desta forma, obtém-se a emissão de gases em alta temperatura, que provocam o movimento das turbinas conectadas aos geradores de eletricidade. A energia térmica, portanto, transforma-se em mecânica e, em seguida, em elétrica (ANEEL, 2008).

Com uma representatividade de 11,2%, a geração por gás natural produziu cerca de 65.593 GWh de energia elétrica, de acordo com o BEN 2018 (EPE, 2018).

### **2.2.4 Carvão Mineral**

O carvão mineral pode gerar energia elétrica por meio de dois processos específicos. O mais empregado é a geração por meio de usinas termelétricas. Neste processo o carvão é extraído do solo, fragmentado e transformado em pó para ser queimado nas fornalhas de caldeiras. O calor gerado é transferido para a água que circula nos tubos que envolvem a fornalha. Desta forma, a energia térmica presente no vapor é transformada em energia mecânica (ou cinética), movimentando a turbina do gerador (ANEEL, 2008).

O outro processo é definido pela cogeração. Este, é similar ao anterior, entretanto o vapor, além de gerar energia elétrica, também é extraído para determinadas aplicações industriais, como secagem de produtos e fabricação de vidros.

Em 2017, foram produzidos 16.257 GWh de energia elétrica com o carvão mineral, o equivalente a 2,8% da geração de eletricidade (EPE, 2018).

### 2.3 Panorama atual

De acordo com dados obtidos no Anuário Estatístico de Energia Elétrica, ano base de 2017, observa-se que a eletricidade representa 17,5% do consumo final energético por fonte, sendo a segunda forma de energia mais consumida no país, ficando atrás apenas do óleo diesel, com 18,1%. Neste mesmo ano, nota-se o consumo de 467,2 TWh por meio da rede de distribuição de energia elétrica, valor 1,2% superior ao registrado no ano 2016 (EPE, 2018).

Quanto à geração total de energia elétrica no Brasil, foram produzidos 588 TWh no ano de 2017, valor 1,6% superior se comparado ao montante gerado em 2016. Deste total, a principal fonte de geração de energia elétrica é a hidráulica, porém, apresentando uma retração de 2,6% sobre o valor produzido em 2016 (EPE, 2018).

Outra fonte de geração que também teve uma retração foi a nuclear, que reduziu 0,8% em relação ao montante gerado em 2016. Em contrapartida, houve um aumento expressivo da eletricidade gerada a partir da fonte solar fotovoltaica, que aumentou 875,6% comparado ao ano de 2016, porém, ainda permanece com um valor inexpressivo se comparado as outras fontes de geração. As fontes eólica e gás natural também tiveram um aumento no ano de 2017 de 26,5% e 16,1%, respectivamente (EPE, 2018).

Segundo o Banco de Informações de Geração (BIG), a capacidade total instalada de geração de energia elétrica do Brasil no ano de 2018 é de aproximadamente 160.209 MW, como pode ser observado na Tabela 2. É previsto para os próximos anos um acréscimo de 20.414 MW na capacidade de geração do país, devido aos 214 empreendimentos atualmente em construção e dos 399 empreendimentos com construção não iniciada (ANEEL, 2018).

Tabela 2 - Empreendimentos em operação no Brasil

<b>Tipo</b>	<b>Sigla</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência (MW)</b>
Central Geradora Hidrelétrica	CGH	691	686,66
Central Geradora Undi-elétrica	CGU	1	50
Eólica	EOL	543	13.340,94
Pequena Central Hidrelétrica	PCH	427	5.117,51
Solar fotovoltaica	UFV	2254	1.322,17
Usina Hidrelétrica	UHE	218	96.414,82
Usina Termelétrica	UTE	3001	41.336,71
Usina Termonuclear	UTN	2	1.990
<b>Total</b>		<b>7137</b>	<b>160.208,88</b>

Fonte: ANEEL, 2018.

Analisando a Figura 3, nota-se que o principal empreendimento para geração de energia elétrica no Brasil é a Usina Hidrelétrica. Em segundo lugar encontra-se a Usina Termelétrica. Ainda com uma pequena expressividade, tem-se a Central Geradora Hidrelétrica, com menos de 1% da geração final.

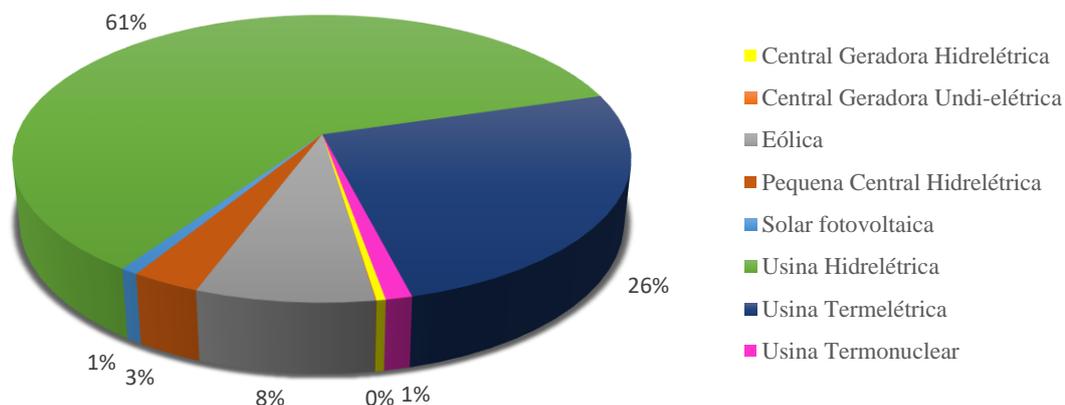


Figura 3 - Geração de energia elétrica no Brasil por empreendimento (2017).

Fonte: ANEEL, 2018.

## 2.4 Tarifação

De acordo com a Eletrobrás (2011), para se ter uma eficiente tomada de decisão no que se refere a energia elétrica, é fundamental entender como são calculados e cobrados os valores apresentados nas faturas. Para tal, é indispensável o conhecimento de alguns conceitos que integram o faturamento de energia elétrica, como:

**a. Demanda (kW):** É a média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico durante um determinado intervalo de tempo.

**b. Demanda contratada (kW):** Demanda de potência ativa disponibilizada pela concessionária conforme contrato de fornecimento e que deverá ser integralmente paga, sendo ou não integralmente utilizada durante o período de faturamento.

**c. Demanda medida (kW):** Maior demanda de potência ativa medida, integralizada no intervalo de quinze minutos durante o período de faturamento.

**d. Demanda de ultrapassagem (kW):** É uma parte da demanda medida que ultrapassa o valor da demanda contratada.

**e. Consumo de energia elétrica (kWh):** Quantidade de potência elétrica (kW) consumida em um intervalo de tempo (h), podendo ser expresso em quilowatt-hora (kWh) ou em megawatt-hora (MWh). Em um equipamento elétrico, o consumo é calculado através do produto da potência do equipamento pelo seu período de uso.

**f. Fatura de energia elétrica:** Corresponde a nota fiscal que indica o valor que deve ser pago pela prestação do serviço público de energia elétrica, referente a um período especificado.

**g. Horário de ponta (HP):** Compreende o período de três horas consecutivas definido pela concessionária como o de maior demanda do sistema. Totaliza 792 horas anuais excluindo sábados, domingos e feriados. Em determinadas modalidades tarifárias, esse horário apresenta demanda e o consumo de energia elétrica com preços mais elevados.

**h. Horário fora de ponta (HFP):** Corresponde às demais 21 horas do dia, que não sejam referentes às do horário de ponta.

**i. Bandeira tarifária:** Indica o acréscimo no custo de energia elétrica conforme as condições de geração que são diretamente influenciadas pela ocorrência ou não de chuva durante certo período do ano.

**j. Tarifa binômia:** Conjunto de tarifas de fornecimento, constituído por preços aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa (kWh) e à demanda faturável (kW). Aplica-se aos consumidores do Grupo A (alta tensão).

**k. Tarifa monômia:** tarifa de fornecimento de energia elétrica, constituída por preços aplicáveis unicamente ao consumo de energia elétrica ativa (kWh). Aplica-se aos consumidores do Grupo B (baixa tensão).

No Brasil, os consumidores de energia elétrica são classificados em dois grupos tarifários: Grupo A e Grupo B. O Grupo A possui tarifa binômia e corresponde as unidades consumidoras que são atendidas em alta tensão, acima de 2300 V. Já o Grupo B compreende os consumidores atendidos em baixa tensão, sendo abaixo de 2300 V, com tarifa monômia. Há ainda algumas subdivisões para estes dois grupos, de acordo com a atividade do consumidor ou da tensão de atendimento (ELETROBRÁS, 2011).

A Universidade Federal de Viçosa enquadra-se na classe do Poder Público Federal, correspondente ao Grupo A (alta tensão), mais especificamente no subgrupo A4, relacionado aos prédios públicos. Além disso, ela possui uma estrutura tarifária horo-sazonal azul. Essa modalidade tarifária se caracteriza por exigir que no contrato específico com a concessionária

se estabeleça tanto o valor da demanda no horário de ponta (HP) quanto o valor no horário fora de ponta (HFP), enquanto que na estrutura horo-sazonal verde, se pactua a demanda pretendida pelo consumidor, independentemente da hora do dia (ponta ou fora de ponta).

O valor da fatura de energia elétrica é composto pela soma das parcelas referentes ao consumo e demanda e, caso exista, da ultrapassagem. Cada uma é calculada de forma individual apresentando tarifa específica que é diferenciada conforme o HP e o HFP.

A parcela associada ao consumo é encontrada através da Equação (1), multiplicando-se as tarifas de cada período do ano pelo consumo propriamente dito:

$$P_{Cons} = T_{C,HFP} \cdot C_{HFP} + T_{C,HP} \cdot C_{HP} \quad (1)$$

Onde,

$P_{Cons}$  = Parcela do consumo;

$T_{C,HFP}$  = Tarifa de consumo no HFP;

$C_{HFP}$  = Consumo medido no HFP;

$T_{C,HP}$  = Tarifa de consumo no HP;

$C_{HP}$  = Consumo medido no HP;

De modo análogo, a parcela associada à demanda contratada é calculada através da Equação (2), onde é feito o produto das tarifas pela demanda contratada:

$$P_{Dem} = T_{D,HFP} \cdot D_{HFP} + T_{D,HP} \cdot D_{HP} \quad (2)$$

$P_{Dem}$  = Parcela da demanda;

$T_{D,HFP}$  = Tarifa de demanda no HFP;

$D_{HFP}$  = Demanda contratada no HFP;

$T_{D,HP}$  = Tarifa de demanda no HP;

$D_{HP}$  = Demanda contratada no HP;

Deve-se ressaltar que os valores das tarifas de consumo oscilam durante períodos do ano, possuindo valores mais elevados entre maio a novembro, conhecido como período seco. Já as tarifas de demanda não se alteram por período do ano.

Quando a demanda medida ultrapassa a demanda contratada acima do limite de tolerância de 10% (subgrupo A4), deve-se levar em conta ainda a cobrança da parcela de

ultrapassagem. O valor da mesma é obtido multiplicando-se a tarifa de ultrapassagem pelo valor da demanda medida que supera a demanda contratada, de acordo com a Equação (3):

$$P_{Ultra} = T_{U,HFP} \cdot (D_{M,HFP} - D_{HFP}) + T_{U,HP} \cdot (D_{M,HP} - D_{HP}) \quad (3)$$

$P_{Ultra}$  = Parcela da ultrapassagem de demanda;

$T_{U,HFP}$  = Tarifa de ultrapassagem de demanda no HFP;

$D_{M,HFP}$  = Demanda medida no HFP;

$D_{HFP}$  = Demanda contratada no HFP;

$T_{U,HP}$  = Tarifa de ultrapassagem de demanda no HP;

$D_{M,HP}$  = Demanda medida no HP;

$D_{HP}$  = Demanda contratada no HP;

Desta forma, tem-se definidas as três parcelas para a cobrança da fatura de energia elétrica. Os tributos federais, estaduais e municipais, como PIS, COFINS e ICMS, que participam no valor final da fatura, não serão abordados pois adicionariam um grau de complexidade desnecessário aos cálculos de economia.

## 3 Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH)

### 3.1 Aspectos Construtivos

Uma central geradora hidrelétrica é composta basicamente por um sistema de captação, sistema de adução, casa de máquina ou de força e um sistema de proteção e monitoramento. Independentemente do seu porte, os componentes de uma CGH têm a função de captar e aduzir a água para o conjunto turbina e gerador, sendo estes, responsáveis pela transformação de energia hidráulica em eletricidade (FILHO et al, 2008). A Figura 4 ilustra uma Central Geradora Hidrelétrica.

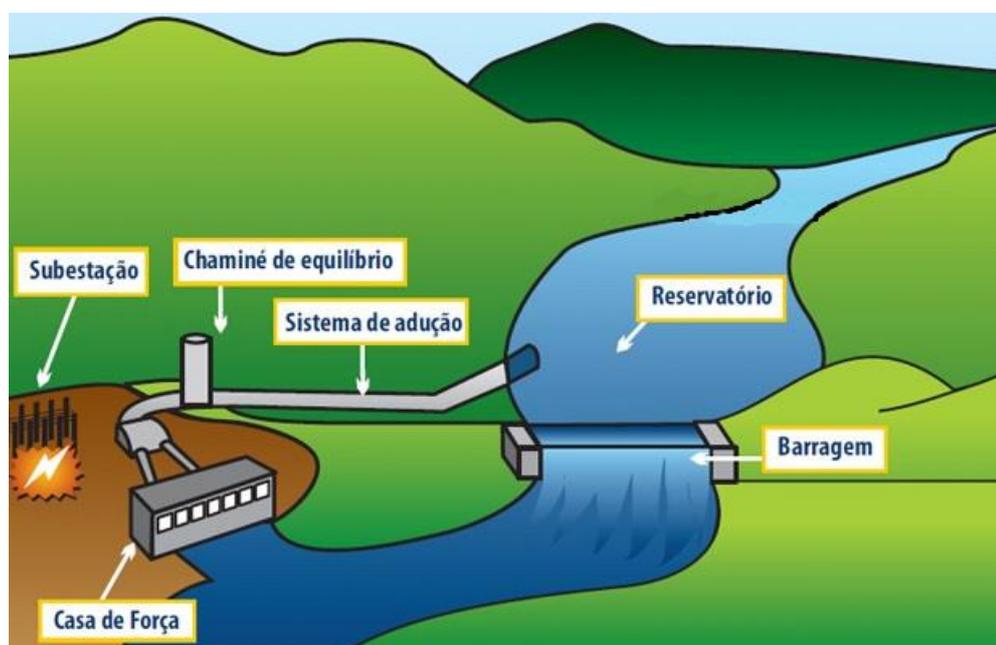


Figura 4 - Esquema de uma Central Geradora Hidrelétrica.

Fonte: Energisa, 2018. Adaptado.

#### 3.1.1 Sistema de Captação

Compreendida pela barragem, na maioria das vezes este sistema tem o objetivo de formar um reservatório e fazer a armazenagem da água. Entretanto, para os casos de CGH's a fio d'água, a barragem não possui a capacidade de armazenamento de água para a formação de um grande reservatório, mas sim de garantir a operação da tomada d'água (QUEIROZ, 2010).

A barragem é composta pelo vertedouro, pela bacia de dissipação e por outros componentes de controle, segurança e manutenção. Ela pode ser construída de concreto, pedra ou madeira (FILHO et al, 2008).

### 3.1.2 Sistema de Adução

Segundo Guitarrara (2012), caracteriza-se este sistema o conjunto responsável por levar a água até as turbinas. Este sistema é formado pela tomada d'água, por grades e elementos de limpeza, por comportas, pelo canal de adução, chaminé de equilíbrio ou câmara de carga e pelo conduto forçado de alta pressão.

A função da tomada d'água é captar e conduzir a água por meio de uma tubulação até o canal de adução, que levará a mesma até a casa de máquinas. As grades e elementos de limpeza tem por finalidade reter corpos sólidos que podem danificar a turbina (GUITARRARA, 2012).

A chaminé de equilíbrio protege o conduto de derivação quando ocorre uma variação repentina no escoamento de água. Ela é instalada quando há uma grande distância entre a tomada d'água e a casa de máquinas, se comparada à altura de queda. Já a câmara de carga tem como função absorver variações no fluxo da água, reter impurezas e realizar a passagem da água do canal até uma tubulação forçada (FILHO et al, 2008).

### 3.1.3 Casa de Máquina

A casa de máquina é o local onde se encontra o grupo gerador, o quadro de controle, o sistema de proteção e o transformador, responsáveis pela transformação de energia hidráulica em elétrica. Ela deve ser instalada em um local apropriado onde não haja risco de alagamento devido as vazões máximas (QUEIROZ, 2010).

Segundo Filho *et. al* (2008), as turbinas hidráulicas são máquinas motrizes que transformam a energia hidráulica em energia mecânica, gerando o torque com o qual o eixo da máquina gira. Essas turbinas podem ser classificadas em dois grupos: de ação (Pelton), quando o escoamento através do rotor ocorre sob pressão constante; e de reação (Kaplan e Francis), quando o rotor é completamente submerso na água e o escoamento ocorre com variação de pressão.

Além disso, as turbinas hidráulicas podem ser classificadas de acordo com a trajetória da água no rotor, como mostrado na Tabela 3 (FILHO et al, 2008). A Figura 5 mostra algumas turbinas mais populares.

Tabela 3 - Classificação das turbinas hidráulicas

Classificação	Trajectoria do fluxo de água	Turbinas
Radial	Passa pelas pás do rotor na direção radial	Francis
Axial	Passa pelas pás do rotor na direção do eixo da máquina	Kaplan
Tangencial	Incide nas pás na direção tangencial ao rotor	Pelton

Fonte: Filho *et. al*, 2008.

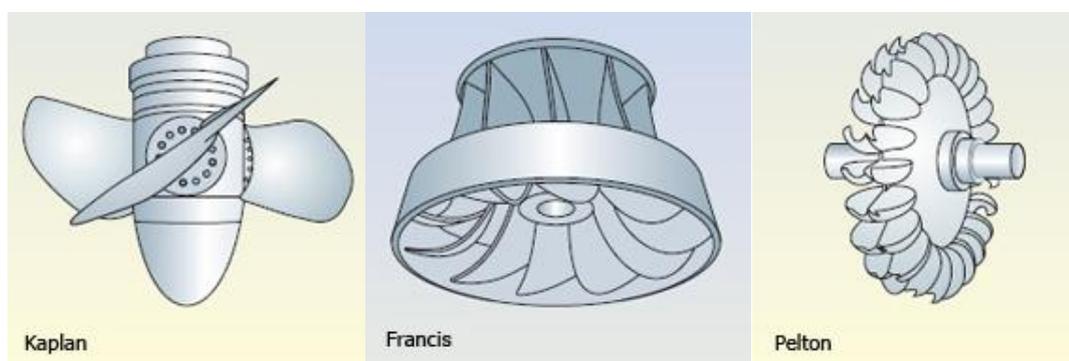


Figura 5 - Turbinas (a) Kaplan (b) Francis (c) Pelton.

Fonte: Circuit Electric For Guide, 2018.

Os geradores elétricos são responsáveis pela conversão de energia mecânica fornecida pela turbina em energia elétrica. Eles podem ser síncronos ou de indução, entretanto, quase toda geração de energia elétrica no Brasil e no mundo utiliza geradores síncronos (FILHO *et al*, 2008).

Para Queiroz (2010), a potência nominal é a especificação básica de um gerador elétrico. Com a potência mecânica e o rendimento do gerador, é possível determinar a potência elétrica ativa. Já a potência reativa é determinada pelo fator de potência da carga, e nos casos de geradores síncronos, elas são controladas pela corrente de campo.

### 3.1.4 Sistema de Monitoramento e Proteção

O sistema de monitoramento pode ser composto por medidores de potência, tensão, corrente e frequência, afim de informar ao operador da central se os equipamentos estão operando conforme o esperado. Já o sistema de proteção tem como função promover o

acionamento de alarmes ou o desligamento de equipamentos em casos de anormalidades na usina, como sobrecarga ou curto-circuito (QUEIROZ, 2010).

A complexidade do sistema de monitoramento e proteção será proporcional à potência da central e ao custo dos equipamentos a proteger (FILHO et al, 2008).

### 3.2 Potencial Hidráulico

Para se estimar a potência a ser instalada em uma central, é necessário conhecer algumas variáveis de projeto, como vazão e altura de queda. Oliveira (2017) propõe a Equação 4 para uma primeira estimativa do cálculo de potência.

$$P = \eta \cdot g \cdot H \cdot Q \quad (4)$$

Onde,

P = potência (kW);

$\eta$  = rendimento total (%);

g = aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>);

H = altura de queda (m);

Q = vazão (m<sup>3</sup>/s);

O rendimento total é dado através do produto dos rendimentos da turbina,  $\eta_T$ , e do gerador,  $\eta_G$ . Neste trabalho serão consideradas máquinas com rendimentos  $\eta_T$  de 90% e  $\eta_G$  de 95%, sendo estes, valores médios estipulados para turbinas e geradores, respectivamente (SOUZA, SANTOS e BORTONI, 1999). Assim, tem-se um rendimento total  $\eta$  de 85%.

Depois da análise de várias centrais na prática, Filho *et. al.* (2008) constatou que as vazões de projeto poderiam ser determinadas em cima das vazões encontradas no local da central geradora correspondentes a uma duração de aproximadamente 40% do tempo ( $Q_{40}$ ), pois resultam em máquinas econômicas e fatores de capacidade adequados, da ordem de 60%. Nessas condições, não se desperdiça muita água durante o período de chuvas, e em períodos de estiagem os equipamentos ainda operam com rendimentos razoáveis.

Entretanto, em um cenário conservador, para realizar o cálculo da potência de projeto utiliza-se a vazão firme  $Q_{95}$ , que é a vazão encontrada no local a ser instalada a central com a duração de 95% do tempo. Tanto a vazão  $Q_{40}$  quanto a vazão firme  $Q_{95}$  são extraídas da curva

de permanência, que apresenta de forma compacta a frequência com que ocorrem valores iguais ou superiores aos valores de uma série temporal. Neste trabalho, serão utilizadas a  $Q_{40}$  e a  $Q_{95}$  para a análise de projetos.

### 3.3 Custos

#### 3.3.1 Custo de implantação

O custo unitário em R\$/kW é a razão do investimento total pela potência instalada do empreendimento. Com base em custos de diversas centrais, Filho *et al* (2008) estimou em 2008 um custo médio percentual para cada categoria de atividade e equipamentos como mostrados na Tabela 4. Além disso, conseguiu-se determinar um custo de construção de micro e minicentrais geradoras hidrelétricas na faixa de R\$5.000,00/kW instalado.

Para ajustar este custo para valores atuais, é empregado o Índice Nacional de Custo da Construção (INCC). De acordo com o Instituto Brasileiro de Economia (2018), o INCC apura a evolução dos custos no setor da construção civil no país. Por meio deste índice, tem-se que o custo da construção civil em junho de 2018 é na ordem de 92,79% maior que em junho de 2008. Assim, neste estudo foi aplicado este índice de forma a atualizar o custo unitário, reajustando o valor de R\$ R\$5.000,00/kW (em 2008) para R\$9.639,35/kW (em 2018). Logo, o custo de implantação de uma CGH será dado por:

$$\text{Custo de implantação [R\$]} = 9.639,35 \text{ [R\$/kW]} \times \text{Potência instalada [kW]} \quad (5)$$

Tabela 4 - Custos médios percentuais por categoria.

<b>Descrição</b>	<b>Custo (%)</b>
<b>Estudos Iniciais</b>	
Investigação do local e estudo hidrológico	1,5
Avaliação Ambiental e Projeto básico	2
Estimativa de custos e relatórios	0,5
Gerenciamento do projeto, passagens e diárias 1	1
Passagens e diárias	0,6
<b>Subtotal 1</b>	<b>5,6</b>
<b>Desenvolvimento</b>	
Negociação do PPA e Licenças	1
Levantamentos geológicos	0,6
Gerenciamento do projeto, passagens e diárias 2	1,3
<b>Subtotal 2</b>	<b>2,9</b>
<b>Engenharia</b>	
Projeto executivo	3
Contratação	1
Supervisão da construção	3
<b>Subtotal 3</b>	<b>7</b>
<b>Equipamentos de Geração</b>	
Turbinas, geradores, reguladores e painéis	22
Instalação dos equipamentos	3
Transporte	2
<b>Subtotal 4</b>	<b>27</b>
<b>Estruturas Diversas</b>	
Estradas de acesso	5
Barragem	9
Canal de adução	4
Tomada d'água	2
Tubulação	5
Casa de Máquinas	3
Subestação e linha de transmissão	10
Transporte	2
<b>Subtotal 5</b>	<b>40</b>
<b>Outros</b>	<b>17,5</b>
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fonte: Filho *et al* (2008). Adaptado.

### 3.3.2 Custos Operacionais

Os custos operacionais abrangem, basicamente, os custos fixos e variáveis de operação e de manutenção - O&M (OLIVEIRA, 2012). Sabe-se que com o passar dos anos, os custos de O&M em uma central geradora aumentam, devido, por exemplo, ao desgaste dos equipamentos. Segundo Gyori (2007) usinas construídas há mais de duas décadas já necessitam de manutenção mais minuciosa e prolongada.

Neste estudo, será considerado que após a repotenciação, os custos específicos de manutenção serão reduzidos significativamente, principalmente os referentes a reposições e reparos nos equipamentos principais da usina. Assim, os custos de O&M serão considerados os mesmos de uma usina nova.

De acordo com Alves (2010), os custos de O&M para um projeto novo de pequena central hidrelétrica são estimados de 11,00 R\$/MWh. Para realizar os cálculos necessários, será considerado um custo de O&M de uma CGH similar ao de uma PCH. Além disso, será empregado o Índice Geral de Preços do Mercado (IGP-M) para reajustar o custo de O&M de 2010 para 2018, de modo análogo ao que foi feito com o custo unitário na seção anterior. Desta forma, o custo de O&M estimado para 2018 será de 18,00 R\$/MWh.

## **4 CGH do Casquinha**

A Central Geradora Hidrelétrica do Casquinha foi instalada no fim da década de 50, iniciando sua operação em 1960, com um aproveitamento hidráulico de baixa queda e capacidade instalada de 480 kVA. Ela situa-se a 45 km à leste da cidade de Viçosa, entre as cidades de São Miguel do Anta e Canãa.

Sua implantação deu-se no próprio curso do Rio Casquinha, afluente e formador do Rio Casca, da bacia do Rio Doce, que, cortando boa parte do leste de Minas Gerais, deságua no litoral do Espírito Santo. O acesso ao local se faz através de uma estrada não pavimentada entre São Miguel do Anta e Canãa (UFV, 2007).

### **4.1 Cenário atual**

No presente momento, a CGH do Casquinha encontra-se desativada. As atuais condições das instalações internas e externas da usina para geração de energia elétrica estão precárias, inviabilizando o seu funcionamento, segundo uma análise realizada pela Comissão Técnica do Departamento de Engenharia Elétrica da UFMG (UFV, 2014).

A central conta com duas unidades geradoras (Figura 6) com os dados técnicos de acordo com a Tabela 5. São equipamentos arcaicos e desgastados. O gerador maior, de 360 KVA, está fazendo um século neste ano. As turbinas são todas do tipo Francis de eixo horizontal.



(a)



(b)

Figura 6 - Unidades geradoras da CGH do Casquinha (a) 120 KVA (b) 360 KVA.

Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Tabela 5 - Dados técnicos dos geradores atuais da CGH do Casquinha.

<b>Características</b>	<b>Gerador menor</b>	<b>Gerador maior</b>
Fabricante	Lê Material Eletric	Siemens
Potência	120 KVA	360 KVA
Ano	1940	1918
Tensão	380 V	2200 V
Fator de Potência	0,8 ind	0,8 ind
Rotação síncrona	720 rpm	450 rpm
Frequência	60 Hz	60 Hz
Número de fases	3	3

A represa (Figura 7) acima da barragem está com um acúmulo de vegetação nos espaços próximos ao corpo d'água. Além disso, ela está assoreada, reduzindo sua profundidade média e, conseqüentemente, seu volume.

A barragem de concreto existente (Figura 8) é do tipo gravidade. Ela consiste de um muro cuja seção transversal se aproxima de um triângulo retângulo, e que resiste à pressão da água do reservatório através do seu próprio peso. O vertedouro é coincidente com a parte central do vale onde corre o rio, destinado a permitir a extravazão das águas excedentes. A barragem não apresenta rachaduras ou defeitos que aparentemente comprometam a sua utilização, sendo necessária a limpeza do poço de captação de água e troca da grade de proteção.



Figura 7 - Represa da CGH do Casquinha.

Fonte: Arquivo pessoal do autor.



Figura 8 - Barragem da CGH do Casquinha.

Fonte: Arquivo pessoal do autor.

As tubulações de adução (Figura 9) estão inutilizáveis, apresentando furos e rachaduras que ocasionam vazamentos e comprometem a captação de água. Para uma possível reativação da central, esse sistema deverá ser refeito.

A casa de máquinas e a chaminé de equilíbrio (Figura 10) não possuem grandes defeitos nas suas edificações, necessitando de limpezas e pequenos reparos na sua estrutura física. Além disso, nas proximidades da casa de máquinas da usina existem pequenas edificações que funcionavam como depósitos e/ou moradias para os funcionários. Atualmente esses cômodos estão em desuso.



Figura 9 - Tubulação de adução da CGH do Casquinha.

Fonte: Arquivo pessoal do autor.



Figura 10 - Casa de máquinas e chaminé de equilíbrio da CGH do Casquinha.

Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Por fim, a rede elétrica de transmissão da CGH encontra-se totalmente construída e pertence à própria universidade. Ela liga a usina até o campus Viçosa, e tem aproximadamente 22km de extensão com condutores de alumínio #4/0 e isolamento para 34,5 kV estando apta a transportar de maneira segura e com o mínimo de perdas a energia gerada pela usina até o campus. Atualmente a CGH Limoeiro faz o uso dessa mesma rede elétrica para transmitir a energia até a UFV (UFV, 2007).

## 4.2 Dados Hidrológicos

A usina do Casquinha encontra-se no Rio Casquinha, afluente da margem direita do Rio Doce. Este rio não possui nenhum posto fluviométrico com série histórica de dados de vazão suficientemente longa para permitir estudos hidrológicos, entretanto, à jusante e bem próximo da usina existe uma estação fluviométrica, a estação São Miguel do Anta – Código 56385000, cujo dados são coletados pela Agência Nacional de Águas (ANA). Deve-se ressaltar que, entre a Usina do Casquinha e a estação fluviométrica de São Miguel do Anta não há nenhum afluente ou tributário, o que conseqüentemente permite utilizar os dados de vazão coletados na referida estação para os estudos hidrológicos necessários.

Os dados de vazões analisados foram obtidos através do Portal *HidroWeb*, gerenciado pela ANA. O Portal *HidroWeb* oferece o acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), reunindo dados de níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos.

Estes dados foram processados por meio do software *SisCAH* – Sistema Computacional para Análises Hidrológicas, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da UFV. Para se obter valores mais confiáveis, tomou-se amostras dos últimos 10 anos registrados, correspondendo o período de janeiro de 2005 a dezembro de 2014. A Tabela 6 mostra as vazões máximas, mínimas e médias de cada mês, assim como a média final para cada um desses quesitos.

A Figura 11 mostra as vazões máximas e mínimas mensais. Esses valores são importantes, pois as vazões máximas são utilizadas para realizar o dimensionamento dos extravasores da barragem. Já as vazões mínimas auxiliam na estimativa da mínima potência gerada nos períodos de seca.

Tabela 6 – Vazões mensais da estação São Miguel do Anta no período de 2005 a 2014.

<b>Mês</b>	<b>Mínima</b>	<b>Máxima</b>	<b>Média</b>
Janeiro	3,76	92,30	16,54
Fevereiro	3,18	49,74	11,72
Março	3,09	69,53	13,84
Abril	3,56	38,59	10,52
Maio	2,91	16,46	7,28
Junho	2,46	12,74	6,12
Julho	2,29	11,30	5,24
Agosto	1,95	8,33	4,51
Setembro	1,56	13,95	4,34
Outubro	1,11	33,19	5,42
Novembro	1,48	45,93	8,56
Dezembro	1,95	92,53	17,29
<b>Média</b>	<b>2,44</b>	<b>40,38</b>	<b>9,28</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

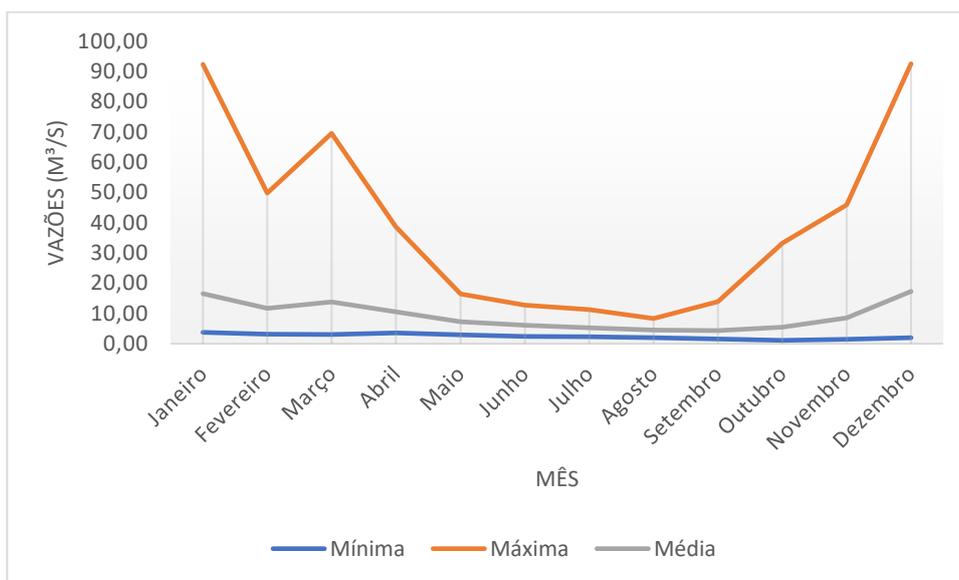


Figura 11 - Vazões mensais da estação São Miguel do Anta no período de 2005 a 2014.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode-se importar os dados das vazões diárias para o software *SisCAH*, e através dele, obteve-se a curva de permanência, como mostrado na Figura 12. Além disso, pode-se encontrar o valor da vazão firme  $Q_{95}$  de  $2,68 \text{ m}^3/\text{s}$  e da  $Q_{40}$  de  $7,97 \text{ m}^3/\text{s}$ , que serão utilizados para o cálculo da potência de projeto da CGH.

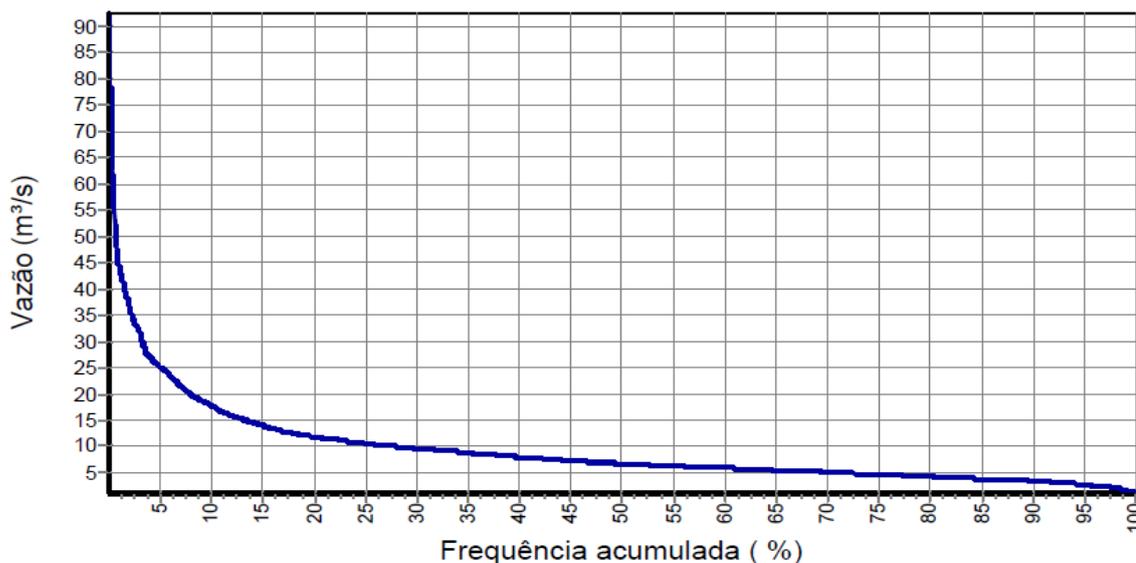


Figura 12 - Curva de permanência da estação São Miguel do Anta no período de 2005 a 2014.

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4.3 Repotenciação da CGH do Casquinha

Utilizando-se a Equação (4), pode-se calcular a potência a ser instalada na central. Para tal, foram utilizadas a vazão firme  $Q_{95} = 2,68 \text{ m}^3/\text{s}$ , considerando um cenário mais conservador, e a vazão  $Q_{40} = 7,97 \text{ m}^3/\text{s}$ , em um cenário mais otimista. Neste estudo, foi desconsiderado a parcela correspondente à vazão sanitária. Sabe-se que a altura de queda de projeto é de 14m, e utilizando um rendimento total  $\eta$  de 0,85, tem-se:

$$P(Q_{95}) = 0,85 \cdot 9,81 \cdot 14 \cdot 2,68 = 312,86 \text{ kW} \quad (5)$$

$$P(Q_{40}) = 0,85 \cdot 9,81 \cdot 14 \cdot 7,97 = 930,41 \text{ kW} \quad (6)$$

Nota-se que o valor de potência encontrado para a  $Q_{40}$  é quase o triplo do valor encontrado para a  $Q_{95}$ . Deve-se frisar que, utilizando uma vazão de projeto abaixo das condições reais do curso d'água, se terá uma central submotorizada, na qual haverá um desperdício dos recursos hídricos. Em contrapartida, se utilizarmos uma vazão muito acima das disponibilidades do curso d'água, se terá uma central supermotorizada, ocasionando o uso de máquinas maiores ou em maior quantidade e normalmente mais caras.

Por sua vez, a energia gerada pode ser calculada com o auxílio da curva de permanência mostrada na Figura 12. A partir dela, se fez a Figura 13, empregando a vazão  $Q_{40}$ , e a Figura 14, utilizando a  $Q_{95}$ .

Inicialmente, dividiu-se o eixo das abcissas em 3 intervalos. O Intervalo 1 contém a região hachurada em verde e apresenta uma vazão disponível no curso d'água maior ou igual a

vazão de projeto, assim a central opera a plena carga. A potência média durante esse intervalo são as próprias potências de projeto calculadas na Equação 5 e na Equação 6. Para o caso da vazão  $Q_{40}$ , isto ocorre durante 40% do tempo (Figura 13). Já com a  $Q_{95}$ , isto acontece durante 95% do tempo (Figura 14).

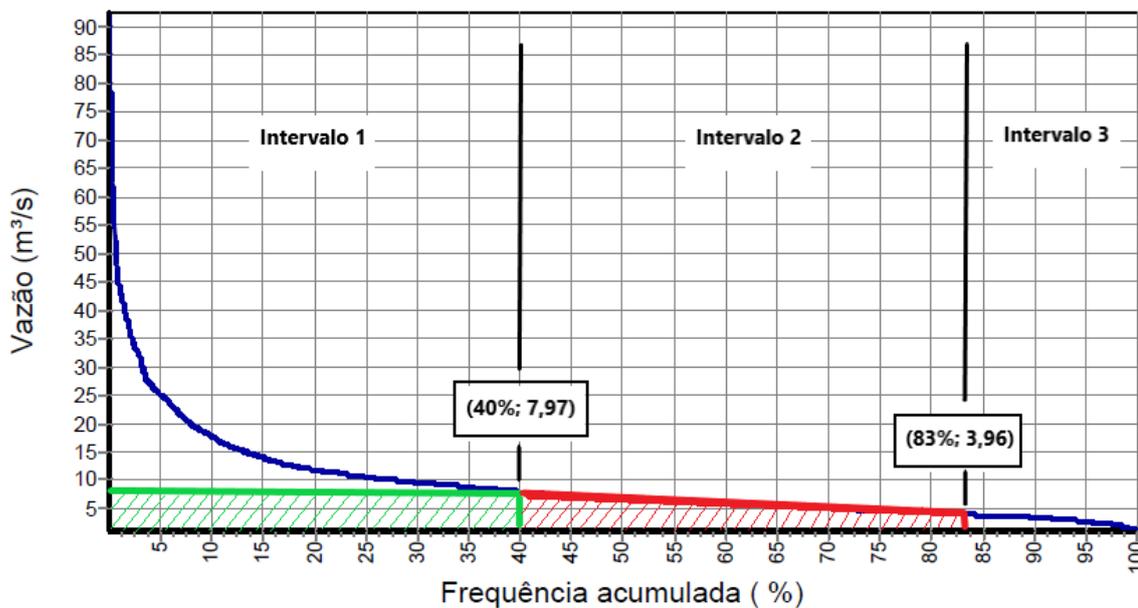


Figura 13 - Determinação da energia gerada na CGH do Casquinha através da curva de permanência e utilizando a  $Q_{40}$ .

Fonte: Elaborado pelo autor.

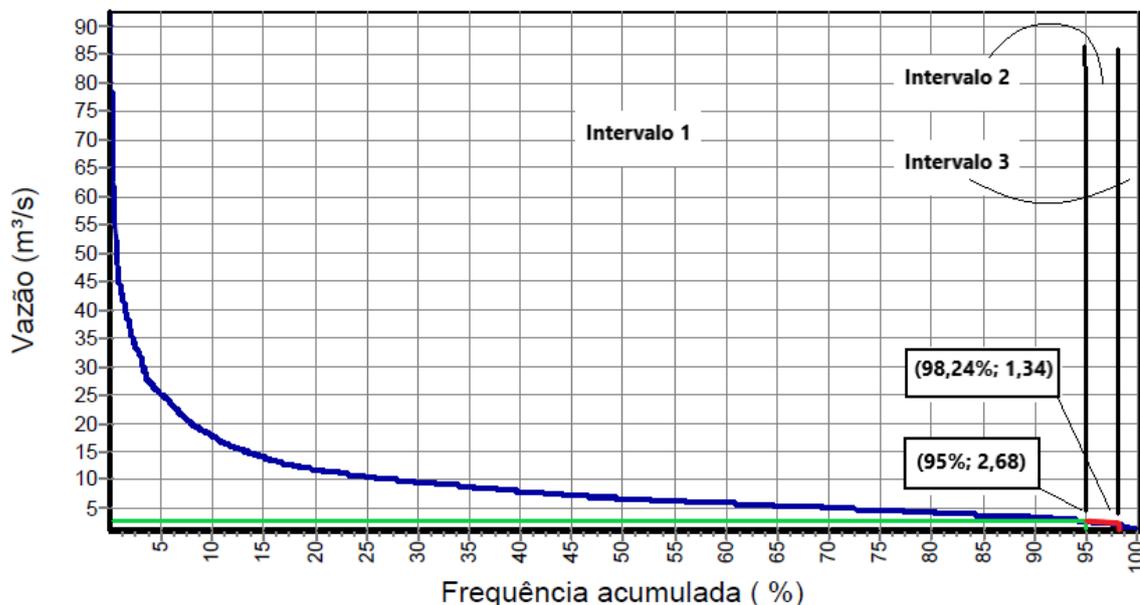


Figura 14 - Determinação da energia gerada na CGH do Casquinha através da curva de permanência e utilizando a  $Q_{95}$ .

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Intervalo 2 possui a região hachurada em vermelho, onde a vazão disponível é inferior a vazão de projeto. Desta forma, a central deve operar com potência reduzida, tendo como limite mínimo exigido de 50% da potência nominal, ou seja, uma vazão mínima de 50% da vazão de projeto. No caso do projeto empregando a  $Q_{40}$ , a vazão mínima exigida para manter a central em bom funcionamento corresponde a 50% da  $Q_{40}$ , ou seja, uma vazão de  $3,96\text{m}^3/\text{s}$ . Este valor de vazão mínima corresponderia a 83% no eixo das abcissas (Figura 13), portanto o Intervalo 2, neste caso, possui uma duração de 43% do tempo, como mostra a Figura 13. Por sua vez, o valor médio da vazão durante o Intervalo 2 será a média aritmética entres os valores máximo e mínimo de vazão deste intervalo, e é dado por:

$$Q_{\text{média}}(\text{Intervalo 2}) = \frac{Q_{40} + 50\% \cdot Q_{40}}{2} = \frac{7,97 + 3,96}{2} = 5,98 \text{ m}^3/\text{s} \quad (7)$$

De forma análoga, no caso empregando a  $Q_{95}$ , a mínima vazão para manter a central operando em modo satisfatório corresponde a 50% da  $Q_{95}$ , ou seja, uma vazão de  $1,34 \text{ m}^3/\text{s}$ . Este valor corresponderia a 98,24% no eixo das abcissas, como mostra a Figura 14. Logo, o Intervalo 2 neste caso possui uma duração de 3,24% do tempo. Já o valor médio da vazão no Intervalo 2 é:

$$Q_{\text{média}}(\text{Intervalo 2}) = \frac{Q_{95} + 50\% \cdot Q_{95}}{2} = \frac{2,68 + 1,34}{2} = 2,01 \text{ m}^3/\text{s} \quad (8)$$

Desse modo, é possível calcular as potências médias do Intervalo 2 aplicando na Equação 4 os valores das vazões médias encontrados acima.

$$P_{\text{média}}(Q_{95}) = 0,85 \cdot 9,81 \cdot 14 \cdot 2,01 = 234,65 \text{ kW} \quad (9)$$

$$P_{\text{média}}(Q_{40}) = 0,85 \cdot 9,81 \cdot 14 \cdot 5,98 = 698,10 \text{ kW} \quad (10)$$

Já o Intervalo 3 corresponde às situações onde a central seria desligada, devida a baixa vazão. Deve-se evitar essas situações onde a vazão disponível só permite operação com potências inferiores a 50% da potência nominal, pois ocorre um desgaste acelerado dos componentes da turbina. Portanto, para esta análise, será considerado que durante o Intervalo 3 não haverá geração de energia elétrica.

Com a duração de cada intervalo determinada, é possível encontrar a energia gerada em um ano, de acordo com a Equação 10. Os valores calculados estão dispostos nas Tabela 7 e Tabela 8, para os casos usando a  $Q_{40}$  e a  $Q_{95}$ , respectivamente.

$$\text{Energia gerada [kWh]} = P_{\text{méd}} [\text{kW}] \cdot 24 [\text{horas}] \cdot 365 [\text{dias}] \cdot \text{duração do intervalo [\%]} \quad (10)$$

Tabela 7 - Cálculo da energia gerada na CGH do Casquinha usando a  $Q_{40}$ .

Descrição	Intervalo 1	Intervalo 2	Intervalo 3
Vazão média (m <sup>3</sup> /s)	7,97	5,98	0
Potência média (kW)	930,41	698,1	0
Duração (%)	40	43	17
Energia gerada (MWh/ano)	3.260,1	2.629,6	0
<b>Energia total gerada (MWh/ano)</b>		<b>5.889,7</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 8 - Cálculo da energia gerada na CGH do Casquinha usando a  $Q_{95}$ .

Descrição	Intervalo 1	Intervalo 2	Intervalo 3
Vazão média (m <sup>3</sup> /s)	2,68	2,01	0
Potência média (kW)	312,86	234,65	0
Duração (%)	95	3,24	1,76
Energia gerada (MWh/ano)	2.603,6	66,6	0
<b>Energia total gerada (MWh/ano)</b>		<b>2.670,2</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os resultados encontrados, nota-se que, apesar da potência instalada no primeiro caso ser quase três vezes maior que no segundo caso, a energia total gerada no decorrer de um ano não respeita essa proporção. Enquanto na primeira situação é gerada uma energia de 5.889,7 MWh/ano, na segunda situação é gerado cerca de 2.670,2 MWh/ano. Isto ocorre devido ao tempo de duração de cada vazão no decorrer do ano e ao fato da central ficar desativada em 17% do ano no primeiro caso, contra 1,76% no segundo.

## 5 Análise Econômica

A análise de viabilidade econômica é a última etapa para a tomada de decisão da aprovação de um projeto. Sabendo-se que já foram apresentadas as características técnicas, e a energia gerada em cada um dos casos, deve-se então avaliar o cenário financeiro, estimando o custo de instalação, os custos operacionais e os benefícios que se terão com a implantação de cada projeto. Para analisar a viabilidade de cada caso, será adotada a estratégia de *payback* simples.

O *payback* simples trata-se de um indicador usado para calcular o período de retorno de investimento em um projeto. Tecnicamente, é o período de tempo necessário para que os lucros gerados por um determinado projeto se igualem ao valor do investimento inicial (BRUNI e FAMÁ, 2007). Para este estudo será considerado o custo de implantação estimado da central geradora, os custos operacionais e o custo do kWh fornecido pela CEMIG, que serão encontrados a seguir.

### 5.1 Custos de energia elétrica

Atualmente são contratadas junto à CEMIG uma demanda de 3.500kW no horário fora de ponta (HFP) e 2.700kW no horário de ponta (HP). A fim de identificar o perfil de consumo elétrico da UFV, foi feita uma análise das faturas de energia elétrica da instituição no período de maio de 2017 a abril de 2018, totalizando 12 meses. Deve-se frisar que, os valores cobrados nas faturas de um determinado mês são referentes ao mês anterior.

A análise feita durante esse período mostrou que o valor médio mensal por fatura pago pela UFV é de R\$ 590.404,28. Os valores específicos de cada mês podem ser encontrados na Figura 15. Através da Figura 16 e da Figura 17 determinou-se que o consumo médio durante estes doze meses analisados foi de 1,402 GWh e a demanda média foi de 3.332 kW no HFP e 2.635 kW no HP. Ainda por meio das faturas, observou-se que os meses de maior consumo de energia elétrica compreendem o período de setembro a dezembro e o mês de abril, e de menor consumo de janeiro a março. Essas variações são influenciadas pelo calendário escolar que tem o seu início em março e o término nas primeiras semanas de dezembro, gerando uma baixa no consumo de energia elétrica em três meses do ano.

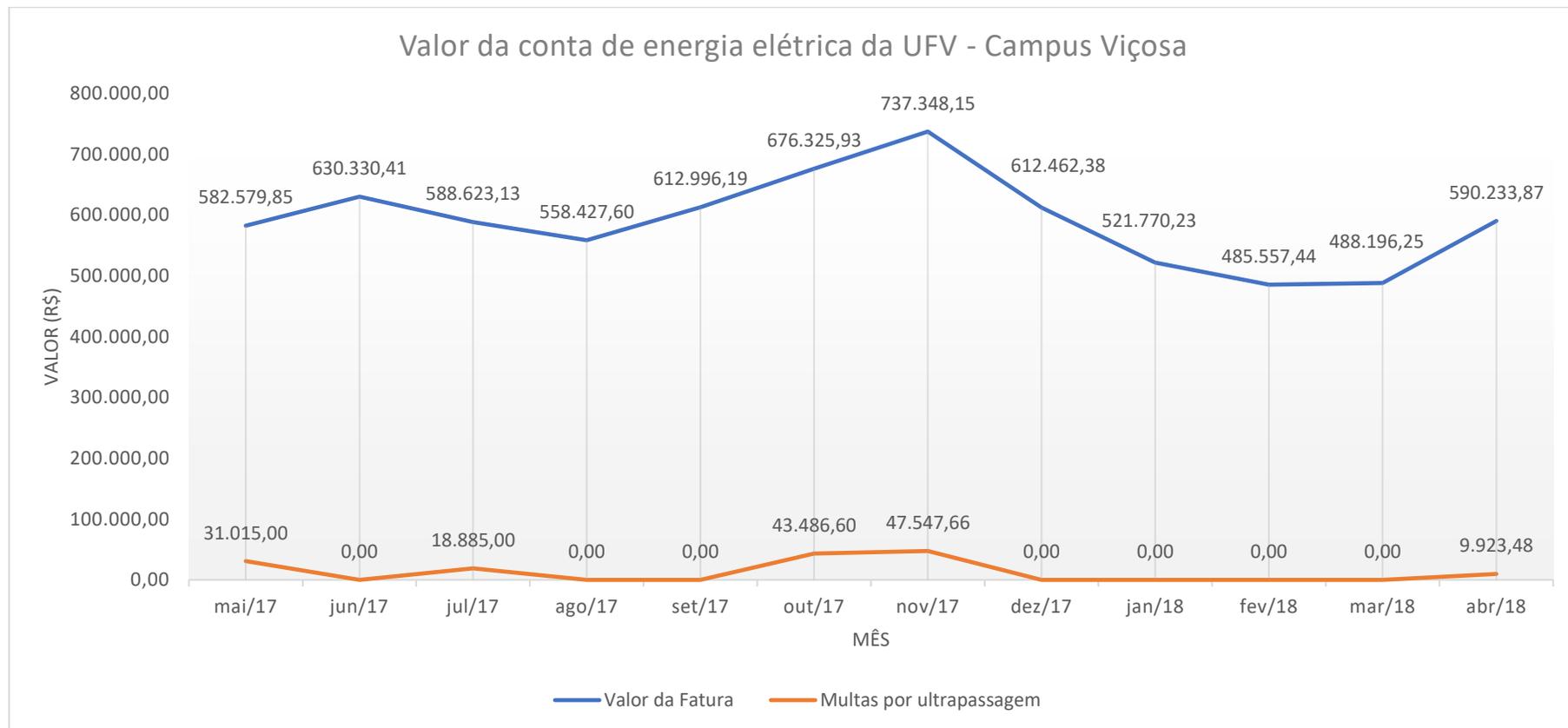


Figura 15 - Valor total e multas da fatura de energia elétrica da UFV.

Fonte: Elaborado pelo autor.

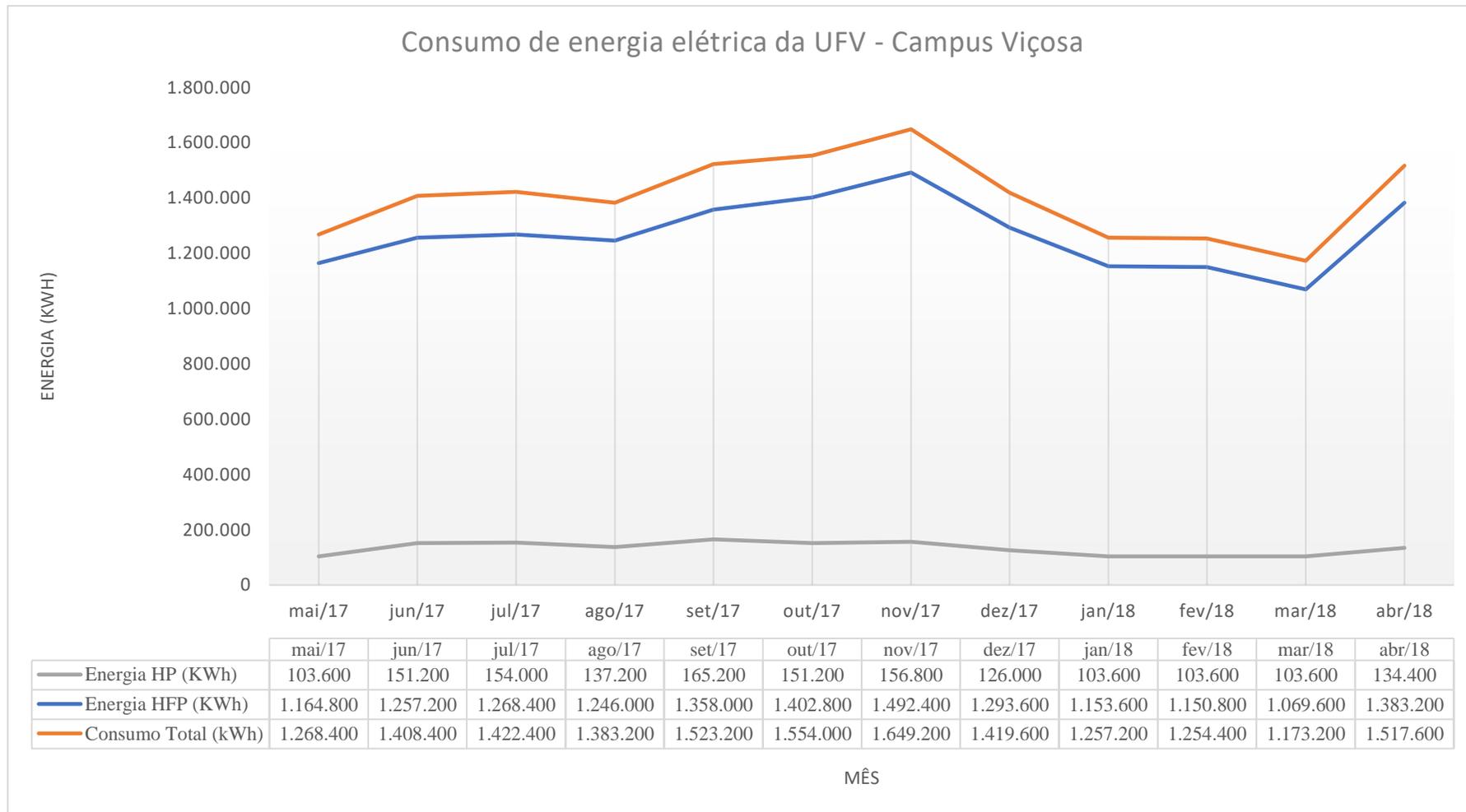


Figura 16 - Consumo de energia elétrica no Horário Fora de Ponta (HFP) e no Horário de Ponta (HP) da UFV, Campus Viçosa.

Fonte: Elaborado pelo autor.

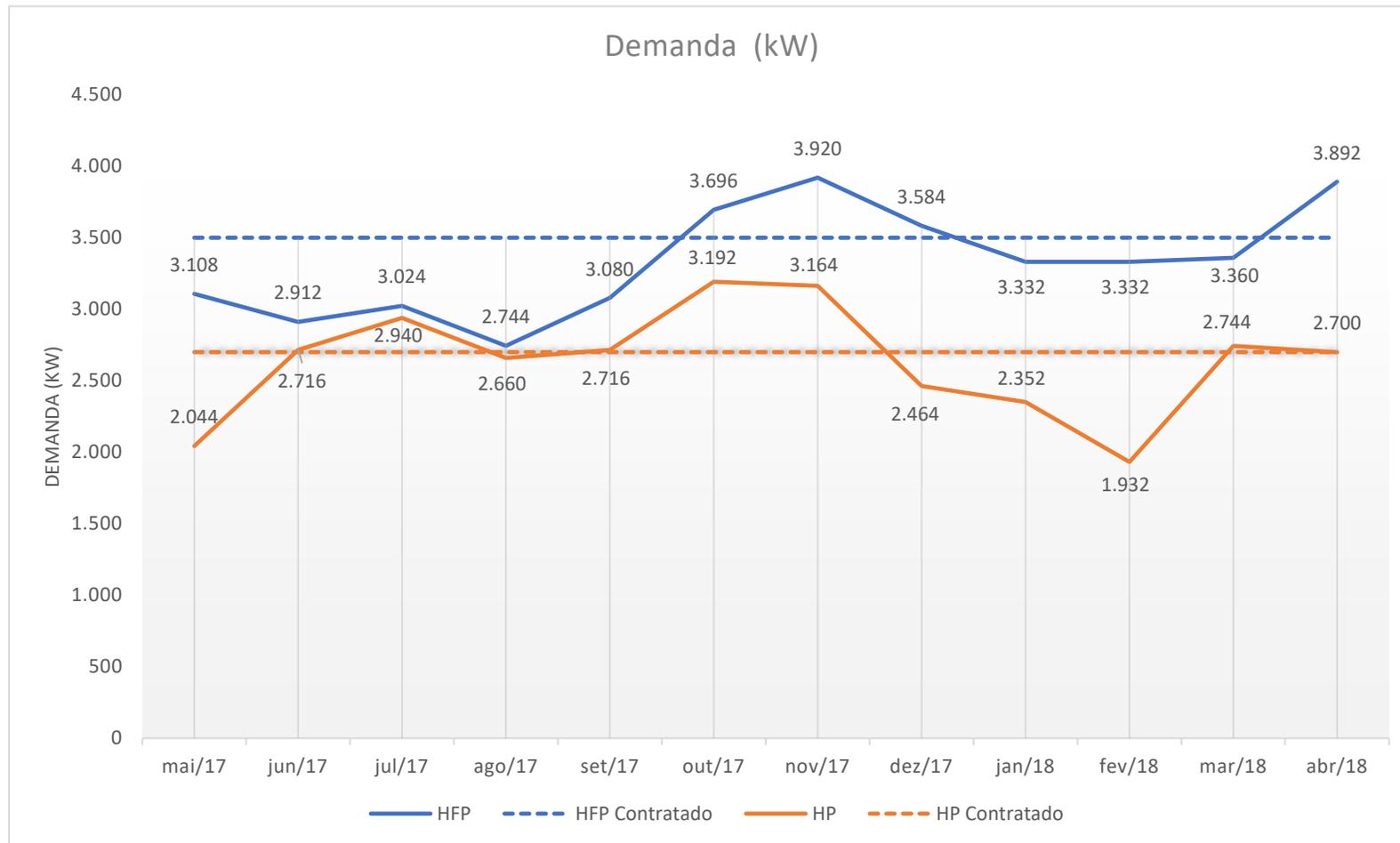


Figura 17 - Demanda durante um ano da UFV, campus Viçosa.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando a Figura 17, percebe-se que houve ultrapassagens de demanda no horário fora de ponta em 4 meses, sendo eles outubro, novembro, dezembro e abril. Já no horário de ponta houve ultrapassagens em 6 meses. A maior ultrapassagem foi no HP e se deu no mês de outubro, excedendo 492 kW do valor contratado. Devido a isso, a universidade pagou R\$ 38.528,79 somente pela ultrapassagem neste mês, ressaltando que, a tarifa da demanda ultrapassada é o dobro da tarifa da demanda normal. Reunindo todas as ultrapassagens, a UFV obteve durante um ano, uma multa no valor de R\$ 150.857,74, lembrando que, como a universidade encontra-se no subgrupo A4, as multas só são contabilizadas quando a demanda medida ultrapassa a demanda contratada acima do limite de tolerância de 10%.

Através dos valores mensais das faturas (Figura 15) e do consumo mensal, pode-se calcular o valor médio em reais do megawatt-hora (R\$/MWh) pago à CEMIG. O valor obtido foi de 420,00 R\$/MWh.

Além do contrato com a CEMIG, a UFV ainda compra energia diretamente da CGH Limoeiro, ao valor de 350,00 R\$/MWh. Nas faturas do Limoeiro é cobrado apenas o consumo de energia, enquanto na fatura da CEMIG são cobradas outras variáveis, como demandas no HFP e no HP, demandas de ultrapassagens, entre outras. A Tabela 9 mostra o consumo mensal e os valores mensais das faturas do Limoeiro. O consumo total foi de 1.210 MWh, no período de um ano e o valor total pago das faturas foi de R\$ 421.084,54 durante um ano, sendo uma média de R\$ 35.090,38 ao mês. Deve-se ressaltar que houve deduções nas faturas por perdas de energia, totalizando R\$ 2.520,46. Os dados de outubro e novembro não foram computados, devido a baixíssima produção de energia. Assim, os valores desses meses foram acumulados ao mês de dezembro.

Tabela 9 – Consumo e valores pagos pela UFV à CGH Limoeiro.

<b>Mês</b>	<b>Consumo (MWh)</b>	<b>Valor (R\$)</b>	<b>Perdas de Energia (R\$)</b>	<b>Valor pago (R\$)</b>
mai/17	123,4	43.190,00	256,98	42.933,02
jun/17	106	37.100,00	220,75	36.879,25
jul/17	76,1	26.635,00	158,48	26.476,52
ago/17	32	11.200,00	66,64	11.133,36
set/17	104,8	36.680,00	218,25	36.461,75
out/17	-	-	-	-
nov/17	-	-	-	-
dez/17	154,3	54.005,00	321,33	53.683,67
jan/18	143,6	50.260,00	299,05	49.960,95
fev/18	144,4	50.540,00	300,71	50.239,29
mar/18	161,2	56.420,00	335,7	56.084,3
abr/18	164,5	57.575,00	342,57	57.232,43

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5.1 Cálculo de payback

Para este estudo, o tempo de retorno do investimento inicial para a implantação da CGH será considerado conforme a economia de energia comprada com base no preço do MWh da CEMIG e os custos de O&M. Assim, o *payback* será dado pela equação abaixo

$$\text{Payback} = \frac{\text{Custo de implantação}}{\text{Receita Bruta ao ano} - \text{Custos de O\&M ao ano}} \quad (11)$$

Para realizar o cálculo do custo de implantação da CGH, será empregado a Equação 5, de acordo com a seção 3.3.1. Desta forma, tem-se os valores de instalação para os dois casos de potência instalada:

$$\text{Custo de implantação } (Q_{95}) = 312,86 \text{ kW} \times 9.639,35 \frac{\text{R\$}}{\text{kW}} = \text{R\$ } 3.015.767,04 \quad (12)$$

$$\text{Custo de implantação } (Q_{40}) = 930,41 \text{ kW} \times 9.639,35 \frac{\text{R\$}}{\text{kW}} = \text{R\$ } 8.968.545,99 \quad (13)$$

Esses valores encontrados são estimados para a construção de uma usina em sua totalidade. Entretanto, a CGH do Casquinha possui alguns sistemas e equipamentos que podem ser reaproveitados, necessitando apenas de alguns reparos, como a barragem, a estrutura física da casa de máquinas, as estradas de acesso, a subestação e a linha de transmissão. Isso reduziria ainda o custo total de investimento para implantação da usina na ordem de 25%, segundo a Tabela 4.

Para o cenário otimista, empregando a  $Q_{40}$ , calculou-se uma geração de 5.889,7 MWh ao ano. Já para o cenário conservador, utilizando a  $Q_{95}$ , calculou-se que seria gerado ao ano, cerca de 2.670,2 MWh. Desta forma, pode-se calcular o custo de O&M e utilizando-se o valor médio cobrado pela CEMIG de R\$ 420,00/MWh, consegue-se encontrar qual seria a Receita Bruta da UFV ao ano, caso ela tivesse a reativação da CGH do Casquinha, como mostrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Cálculo da economia ao ano com a reativação da CGH do Casquinha.

Cenário	Energia gerada ao ano (MWh/ano)	Preço da energia - CEMIG (R\$/MWh)	Receita Bruta (R\$/ano)	Custo de O&M (R\$/ano)
Q40	5.889,7	420	2.473.674,00	106.014,60
Q95	2.670,2	420	1.121.484,00	48.063,60

Fonte: Elaborado pelo autor.

Aplicando os valores encontrados na Equação (12), Equação (13) e na Tabela 10 na Equação (11), pode-se calcular o tempo de retorno para cada cenário:

$$\text{Payback } (Q_{40}) = \frac{R\$ 8.968.545,99}{2.473.674,00 \text{ R\$/ano} - 106.014,60 \text{ R\$/ano}} = 3,79 \text{ anos} \quad (14)$$

$$\text{Payback } (Q_{95}) = \frac{R\$ 3.015.767,04}{1.121.484,00 \text{ R\$/ano} - 48.063,60 \text{ R\$/ano}} = 2,81 \text{ anos} \quad (15)$$

Ou seja, para o cenário utilizando a  $Q_{40}$ , o período de retorno do investimento será de aproximadamente 3 anos e 9 meses. Já para o cenário com a  $Q_{95}$ , o período de retorno será menor, cerca de 2 anos e 10 meses. A partir disso, se terá uma central geradora hidrelétrica própria que se pagou apenas com os benefícios gerados.

Após um período de 25 anos do projeto instalado, com uma receita líquida anual de R\$ 2.367.659,40, o cenário otimista economizaria cerca de 50 milhões de reais, e com uma receita líquida anual de R\$1.073.420,40, o cenário conservador economizaria aproximadamente 24 milhões de reais, já descontando o tempo de *payback* em ambos os casos.

Por fim, deve-se salientar que as considerações não devem ser baseadas apenas nas economias futuras, mas também em toda a economia que a universidade deixou de obter devido ao fato de a CGH encontrar-se desativada há um pouco mais de 10 anos.

## 6 Conclusão

Este trabalho avaliou o potencial energético para uma possível repotenciação da CGH do Casquinha a partir das vazões  $Q_{40}$  e  $Q_{95}$  do Rio Casquinha. O potencial hidrelétrico resultante encontrado para vazões com 40% de permanência (cenário otimista) foi de 930,41 kW, produzindo aproximadamente 5.889,7 GWh de energia elétrica por ano; já para vazões com 95% de permanência (cenário conservador), foi de 312,86 KW, gerando cerca de 2.670,2 GWh anuais.

Esses resultados mostram o impacto da permanência da vazão para a produção de energia, além de demonstrar que por mais que a potência projetada no cenário otimista seja cerca de três vezes maior que a potência projetada no cenário conservador, a geração final de energia elétrica no decorrer de um ano não condiz com essa mesma proporção, sendo, neste caso, pouco mais que o dobro. Notou-se que, por mais que o uso de vazões maiores na implantação de uma CGH provoque uma maior geração de energia elétrica, o aumento indiscriminado da vazão reduz o fator de capacidade da usina e eleva os custos de implantação, operação e manutenção, tornando o projeto inviável. Desta forma, é importante realizar uma criteriosa análise para determinar a vazão que otimize o benefício econômico, os custos de investimento e o potencial da usina.

Uma estratégia que pode ser utilizada para aumentar a produção de energia elétrica seria utilizando duas unidades geradoras com a metade da potência no lugar de uma com a potência integral. Esta estratégia ampliaria a capacidade de manobra durante os períodos de seca, onde haveria baixas vazões. Durante esses períodos, seria possível parar apenas uma unidade geradora e manter a outra unidade funcionando normalmente. Isto reduziria a duração do Intervalo 3, visto que a mínima vazão exigida para se ter um bom funcionamento de uma unidade geradora será, agora, 25% da vazão de projeto da central, fazendo com que a usina fique menos tempo desativada durante o ano.

Observou-se também que os valores estipulados para a implantação de uma CGH são baseados em todas as etapas de planejamento, construção e aquisição de equipamentos. Entretanto, por mais que estejam obsoletos, algumas partes da CGH do Casquinha poderiam ser reaproveitadas, necessitando apenas de algumas manutenções e reformas, como a barragem, a estrutura física da casa de máquinas, o canal de fuga, as estradas de acesso, a subestação e a linha de transmissão.

Após a análise econômica, notou-se que, apesar do alto investimento inicial para a instalação da CGH (de R\$ 8.968.545,99 utilizando a  $Q_{40}$  ou de R\$ 3.015.767,04 com a  $Q_{95}$ ), o retorno do capital investido aconteceria em um período de 3 anos e 9 meses para o projeto com potência de 930,41kW e de 2 anos e 10 meses para o outro projeto. A princípio, quanto menor for o tempo de recuperação, mais atrativo se torna o projeto. Entretanto, deve-se levar em conta a economia que será gerada na fatura de energia no decorrer de anos.

Além disso, como a UFV é uma instituição de ensino, pesquisa e extensão, a reativação da CGH seria um investimento que serviria de laboratório para aulas práticas de vários cursos, principalmente para a Engenharia Elétrica, fazendo com que os alunos tenham um contato direto com temas abordados em sala de aula.

Por fim, propõe-se como sugestão para futuros trabalhos estudos mais detalhados de engenharia em áreas específicas, como, por exemplo, projetos exclusivos para a parte estrutural, impactos ambientais, especificação de maquinários, dentre outros.

## Referências Bibliográficas

ALBARELLO, L. **Guia para a implantação de pequenas centrais hidrelétricas - PCHs**. Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. TCC (Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos). Panambi, RS, Brasil. 2014.

ALVES, R. F. P. **Análise de investimento em Pequenas Centrais Hidrelétricas: Um estudo de cenários**. TCC (Engenharia de Produção). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2010.

ANEEL, A. N. D. E. E.-. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: [s.n.], 2008.

ANEEL, A. N. D. E. E.-. **Banco de Informações de Geração, 2018**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 10 outubro 2018.

BRUNI, A. L.; FAMÁ, R. **As decisões de investimentos: com aplicações na calculadora HP12C e Excel**. 2. ed. [S.l.]: São Paulo: Atlas, 2007.

CEMIG, C. E. D. M. G.-. **Alternativas Energéticas: Uma visão CEMIG**. Belo Horizonte. 2012.

ELETROBRÁS, C. E. B. S. A. **Manual de Tarifação de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro. 2011.

ENERGISA GERAÇÃO. **PCH Cristina**. Disponível em: <<http://geracao.grupoenergisa.com.br/Paginas/nossos-negocios/pch-detalhes.aspx?idpch=6>>. Acesso em: 15 de outubro 2018.

EPE, E. D. P. E.-. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017 - 2026)**. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro. 2017.

EPE, E. D. P. E.-. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018**. Ministério de Minas e Energia. [S.l.]. 2018.

EPE, E. D. P. E.-. **Balanco Energético Nacional - BEN. Relatório Síntese**. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro. 2018.

FILHO, G. L. T. et al. **Pequenos Aproveitamentos Hidroelétricos - Soluções Energéticas para a Amazônia**. 1. ed. Brasília: Ministério de Minas e Energia. Novembro, 2008.

FREITAS, G. S.; DATHEIN, R. **As energias renováveis no Brasil: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental**. Revista Nexos Econômicos, v.7, n.1 – CME-UFBA. 2013.

FRIEDRICH, P. G. **Benefícios Econômicos e Sociais das Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs)**. TCC (Ciências Econômicas). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2010.

GUIMARÃES, H. S. **Estudo de efficientização da iluminação pública do campus Viçosa da Universidade Federal de Viçosa**. TCC (Engenharia Elétrica). UFV. Viçosa. 2017.

GUITARRARA, G. B. **Estimativa de vazão para a implantação de micro-centrais hidrelétricas com utilização do SIG**. TCC (Engenharia Elétrica). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. 2012.

GYORI, D. F. S. **Análise de Viabilidade Técnica-Econômica de Repotenciação de PCHs com Inserção de Benefícios Ambientais: Estudo de Caso**. Dissertação. Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá – SP. 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA, 2018. Disponível em: <<http://portalibre.fgv.br/main.jsp?lumChannelId=402880811D8E34B9011D92B7684C11DF>>. Acesso em: 05 outubro 2018.

NASCIMENTO, R. S.; ALVES, G. M. **Fontes alternativas e renováveis de energia no Brasil: Métodos e benefícios ambientais**. XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VI Encontro de Iniciação à Docência. Centro Universitário Ingá - Uningá. Maringá - PR. 2016.

OLIVEIRA, M. A. **Modelo para análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental da repotenciação de pequenas centrais hidrelétricas**. Revista Hidro & Hydro – PCH Notícias & Ship New, UNIFEI/CERPCH. Itajubá, v. 02, 2017.

OLIVEIRA, M. A. D. **Repotenciação de pequenas centrais hidrelétricas: avaliação técnica e econômica**. Dissertação. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 2012.

POLLI, J. A. A.; ALVES, G. M.; FRITZEN, P. C. **Projeto de implantação da microcentral hidrelétrica de Roncador**. AGRENERGD 2015 - 10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba - PR. 2015.

QUEIROZ, G. B. R. **Análise de Viabilidade econômica de Centrais Geradoras Hidrelétricas**. TCC (Engenharia Elétrica). Universidade de Brasília - Faculdade de Tecnologia. Brasília. 2010.

QUEIROZ, R. E. A. **Geração de energia elétrica através da energia hidráulica e seus impactos ambientais**. Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. Santa Maria. v. 13 n. 13. Agosto 2013, p. 2774 - 2784.

SOUZA, Z.; SANTOS, A. H. M.; BORTONI, E. C. **Centrais hidrelétricas: estudos para implantação**. ELETROBRÁS. Rio de Janeiro. 1999.

UFV – UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **Caderno de Encargos – Parceria para efficientização da produção energética na usina do Casquinha**. Nº 10126/07. 2007.

UFV – UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. Processo 006001/2014. **Adequação da Usina Hidrelétrica do Casquinha para uso como laboratórios do Departamento de Engenharia Elétrica.** Abertura: RTR 07/04/14. Folha de 04 a 07. 2014.