



**ESTUDO DE CASO: ESTUDO DE VIABILIDADE DE MICRO TURBINA  
HIDRELÉTRICA UTILIZANDO A REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM UM  
CONDOMÍNIO RESIDENCIAL LOCALIZADO NA CIDADE DE CASCAVEL – PR**

POSSER, Bárbara<sup>1</sup>  
ALMEIDA, Maycon André<sup>2</sup>

**RESUMO:**

As buscas por fontes de energia renovável são de essencial importância econômica e social, onde passou de ser uma reflexão e se tornou um imperativo mundial. A micro geração consiste na produção de energia a partir de pequenas centrais hidrelétricas que utilizam fontes renováveis de energia elétrica conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Tendo como justificativa para a realização do presente trabalho a busca de uma forma alternativa de produção de energia sustentável próximo aos grandes centros urbanos. O estudo foi realizado em um condomínio residencial de alto padrão localizado na cidade de Cascavel – PR, no qual o mesmo se encontra em fase de construção. A instalação da turbina é de modo fictício na rede de abastecimento de água, e para a realização do presente estudo foi feito o levantamento do rendimento das turbinas Bulbo, Francis, Kaplan e Pelton. O modelo de turbina mais adequado para o presente trabalho foi a turbina Kaplan, que mostrou maiores rendimentos e potência entregue pelo eixo em comparação com as demais. Considerando a taxa de ocupação do condomínio em 100%, seria necessário a instalação de 6 turbinas Kaplan para atender a demanda. Importante reforçar que o presente trabalho se trata de um estudo exploratório, no qual não foram consideradas perdas de cargas na rede, custos de implantação, manutenção e obras civis que devem ser realizadas para a implantação da mesma.

**Palavras-chave:** Turbina hidráulica. Consumo de energia. Energia renovável

---

<sup>1</sup>Bárbara Posser, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: baaposser@hotmail.com.

<sup>2</sup> Maycon André de Almeida, Mestre, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR.



## 1. INTRODUÇÃO

Conforme o Portal Brasileiro de Energias Renováveis (2015) as fontes de energia renováveis são aquelas que os recursos naturais utilizados são capazes de se regenerar, ou seja, são recursos considerados inesgotáveis. Os principais recursos naturais utilizados na aquisição de energia são: o sol (energia solar), o vento (energia eólica), os rios e correntes de água doce (energia hidráulica), as marés e oceanos (energia maremotriz e energia das ondas), a matéria orgânica (biomassa) e o calor da Terra (energia geotérmica).

No Brasil, a energia hidráulica é a principal matriz energética, uma vez que existem diversas usinas hidrelétricas instaladas em rios que compõem a maior rede hidrelétrica do mundo. A energia hidráulica é produzida pela força mecânica promovida pela movimentação de turbinas pela força da água.

A produção de energia causa impactos ambientais em maior ou menor grau, conforme a fonte energética utilizada para obtenção de energia. No caso da utilização de usinas hidrelétricas o maior impacto ambiental que a construção de uma usina pode ocasionar são os alagamentos que ocorrem com a construção de grandes reservatórios para a acumulação de água e regularização das vazões.

Com a necessidade da construção de um reservatório, a consequência é a inundação de grandes áreas trazendo inúmeros prejuízos, árvores são destruídas e uma boa parte é submersa se transformando em matéria orgânica, esse reservatório de água acaba sendo uma fonte para os gases de efeito estufa na atmosfera, também ocorre alterações na flora e fauna aquática e terrestre nativa formando microclimas. Além disso, geram impactos sociais forçando famílias a desocuparem suas casas para poder dar espaço a construção desses reservatórios.

O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo de caso para analisar a viabilidade da instalação de uma mini usina hidrelétrica sem a necessidade de construção de barragens para armazenamento de água e utilizando a pressão da rede de distribuição de água para a geração de energia renovável sem trazer danos ao meio ambiente.

Para que o objetivo geral fosse atingido, foi necessário alcançar os objetivos específicos, sendo eles:

- A) Estudo das turbinas afim de avaliar qual é o melhor modelo para se aplicar neste estudo.

- B) Determinar a quantidade de energia que o gerador escolhido será capaz de gerar, em função da vazão de entrada de água no condomínio.
- C) Comparar com o consumo de energia elétrica estimada do condomínio para possível verificação de tempo de retorno do investimento para compra das turbinas.

Com essas informações, a justificativa para a realização do presente trabalho foi buscar uma forma alternativa de produção de energia sustentável próximo aos grandes centros urbanos. A micro usina hidrelétrica irá utilizar a rede de distribuição de água, e transformará essa energia mecânica para girar a turbina, assim gerando a energia elétrica. A água da rede de distribuição retorna para a tubulação e irá se distribuir na rede de água do condomínio.

Embora esse sistema dependa o fluxo de água, também pode fornecer energia limpa e renovável sem agredir o meio ambiente em grande escala, como as grandes usinas hidrelétricas. Uma das vantagens de se instalar uma micro usina hidrelétrica é o fato de ser muito fácil prever a quantidade de energia que será produzida por um período de tempo.

Desta forma, a pergunta respondida com a realização dessa pesquisa é a seguinte: Será viável a instalação de uma mini usina hidrelétrica utilizando a rede de distribuição de água de um condomínio residencial localizado na cidade de Cascavel – PR?

O estudo foi delimitado ao levantamento de dados por meios de bibliografias, topografia do terreno e mapeamento da tubulação por meio de projetos do condomínio residencial que está localizado na Estrada Alto São Salvador, bairro Universitário na cidade de Cascavel no estado do Paraná.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo são abordados conceito de energias renováveis, geração de energia elétrica, pequenas usinas hidrelétricas e os tipos de turbinas.

### **2.1.1 Energias renováveis**

A busca por fontes renováveis de energia é de essencial importância, o desenvolvimento econômico sustentável passou de ser uma reflexão e se tornou um imperativo

mundial. Além disso, pode-se observar que produção e investimentos em fontes de alternativas de energias promovem o desenvolvimento humano (LIMA, 2012).

Muitas instituições em todo o mundo estão buscando fontes de energia mais ecológicas, sustentáveis e confiáveis, e o setor educacional não é exceção. Escolas e outras instituições enfrentam crescente pressão para cumprir as metas de energia renovável em todo o mundo (TURBULENT HYDRO, 2020).

### 2.1.2 Geração de energia elétrica

A micro e a minigeração distribuída consistem na produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras, que utilizam fontes renováveis de energia elétrica que são conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2016)

De acordo com a Eletrobrás (2000), as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) podem ser classificadas pela queda de projeto expressa em metros e à potência instalada expressa em kW, porém devem ser consideradas as especificações conjuntas, pois sendo feita a análise isoladamente não permite uma classificação correta, conforme apresenta a Tabela 1.

**Tabela 1:** Classificação das centrais hidrelétricas de potência e de queda

| Classificação das centrais | Potência – P (kW)    | Queda de projeto – Hd (m) |                 |            |
|----------------------------|----------------------|---------------------------|-----------------|------------|
|                            |                      | Baixa                     | Média           | Alta       |
| Micro                      | $P < 100$            | $Hd < 15$                 | $15 < Hd < 50$  | $Hd > 50$  |
| Mini                       | $100 < P < 1.000$    | $Hd < 20$                 | $20 < Hd < 100$ | $Hd > 100$ |
| Pequenas                   | $1.000 < P < 30.000$ | $Hd < 25$                 | $25 < Hd < 130$ | $Hd > 130$ |

Fonte: Eletrobrás, (2000)

### 2.1.3 Pequenas usinas hidrelétricas

Embora as pequenas usinas hidrelétricas só possam produzir uma quantidade limitada de eletricidade, elas geralmente podem alimentar comunidades ou casas isoladas, às vezes, podem ser conectadas à rede pública (TURBULENT HYDRO, 2020).



Segundo Perius e Carregaro (2012), as PCH são fontes de energia renovável que causam menos impacto ambiental e social, sendo perfeitamente englobado na matriz energética do Brasil devido a riqueza fluvial que abrange o país.

Para Sosnoski (2015), as PCH's são sistemas que transformam a energia cinética do fluído que passa pelas unidades geradoras transformando em energia elétrica utilizável, sendo que este aproveitamento resulta na maior parte das turbinas hidráulicas (ação ou reação) e do fluxo de água.

Segundo a Resolução Normativa de nº 414/2010 da ANEEL, é permitido o uso de quaisquer fontes alternativas para geração de energia sendo denominados como microgeração e minigeração, onde a microgeração conta com potência instalada de até 75 kW e a minigeração conta com potência de no mínimo 75 kW e menor ou igual a 5 MW. Quando a geração de energia é superior a energia consumida por um determinado período de tempo, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados dentro de 60 meses para diminuir a fatura dos meses seguintes, sendo que esses créditos podem ser utilizados em qualquer propriedade do titular sendo situadas em outros locais.

De acordo com Ramos *et al* (2010), as minis turbinas são unidades que tem potência inferior ao limite que se situa entre 1000kW e 5000kW, o que não aproxima daquela estabelecida de acordo com a Eletrobrás dentro da escala de 100 a 1000 kW. Por outro lado, segundo Ramos *et al* (2010), as microturbinas são unidades inferiores a 100 kW, que corresponde a mesma que foi utilizada neste estudo.

#### 2.1.4 Tipos de turbinas

Conforme Fuchs, Santos e Spuza (1983), as turbinas hidráulicas possuem duas classificações, turbinas de ação (ou impulsão) e turbinas de reação, conforme Tabela 2.

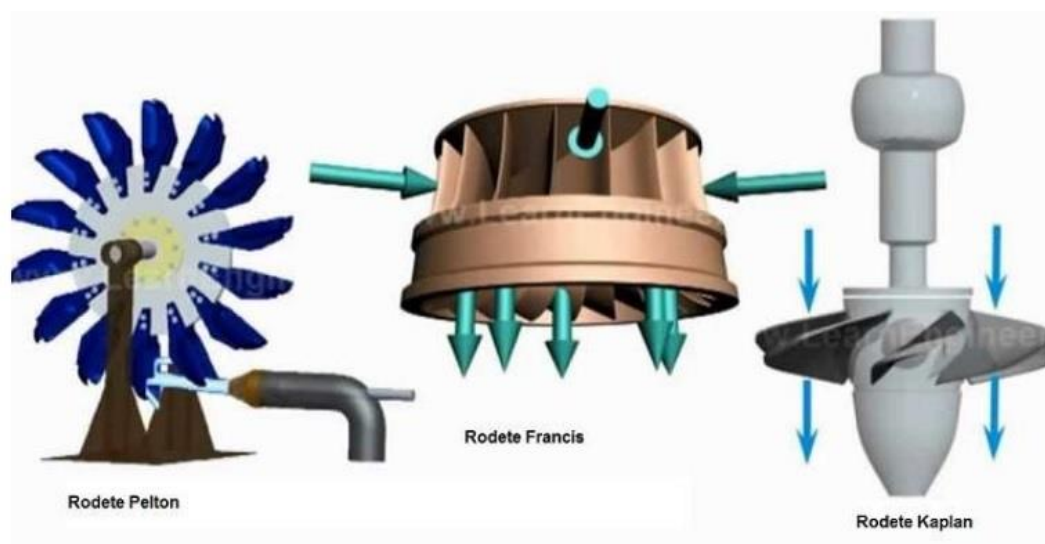
As turbinas de ação ou turbinas de impulsão o escoamento através do rotor acontece sem variação de pressão, neste caso, as turbinas de ação se aproveitam da velocidade do fluído transformando a energia cinética energia elétrica. Um exemplo de turbina de ação são as turbinas Pelton, sendo indicadas para grandes quedas de água.

**Tabela 2:** Classificação de turbinas hidráulicas

| Tipo de turbina       | Escoamento do rotor |         |                     |
|-----------------------|---------------------|---------|---------------------|
|                       | Radial              | Axial   | Mista               |
| Ação<br>(ou impulsão) | -                   | -       | Pelton (tangencial) |
| Reação                | Francis             | Kaplan  | -                   |
|                       |                     | Bulbo   | Francis (diagonal)  |
|                       |                     | Straflo | Dêriaz (diagonal)   |
|                       |                     | Hélice  | -                   |

**Fonte:** Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, (2019)

Nas turbinas de reação o escoamento ocorre através do rotor com variações de pressão, o fluido pode estar em pressões negativa, positiva ou nula em comparação a pressão atmosférica. Um exemplo de turbina de reação são as turbinas Kaplan sendo indicadas para grandes volumes de água e podendo ter baixas quedas de água. Os modelos das principais turbinas são apresentados na Figura 1.

**Figura 1:** Modelos de turbinas


Fonte: Área Tecnologia (2015).

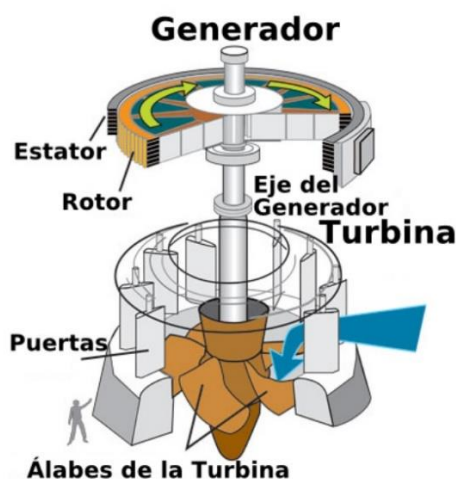
Para a escolha ideal de uma turbina hidráulica na utilização de uma PCH deve-se levar em consideração a facilidade na operação da mesma e a manutenção, dando-se uma grande importância em sua confiabilidade, pois a mesma será operada em um modo não assistido (ELETROBRÁS, 2000).

### 2.1.5 Partes de uma turbina hidráulica

As turbinas hidráulicas são compostas por uma caixa espiral que envolve a região do rotor tendo sua função de distribuir o fluído igualmente na entrada da turbina. O pré-distribuidor é fixado na caixa espiral e direciona o fluído para a entrada do distribuidor, onde o mesmo é responsável por controlar o fluxo de água, o rotor e o eixo são os responsáveis de transformar a energia hídrica em energia elétrica (HYDROENERGY, 2016).

A Figura 3 apresenta os componentes básico de uma turbina hidráulica.

**Figura 3:** Componentes da turbina



Fonte: Google (2020).

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 TIPO DE ESTUDO E LOCAL DA PESQUISA

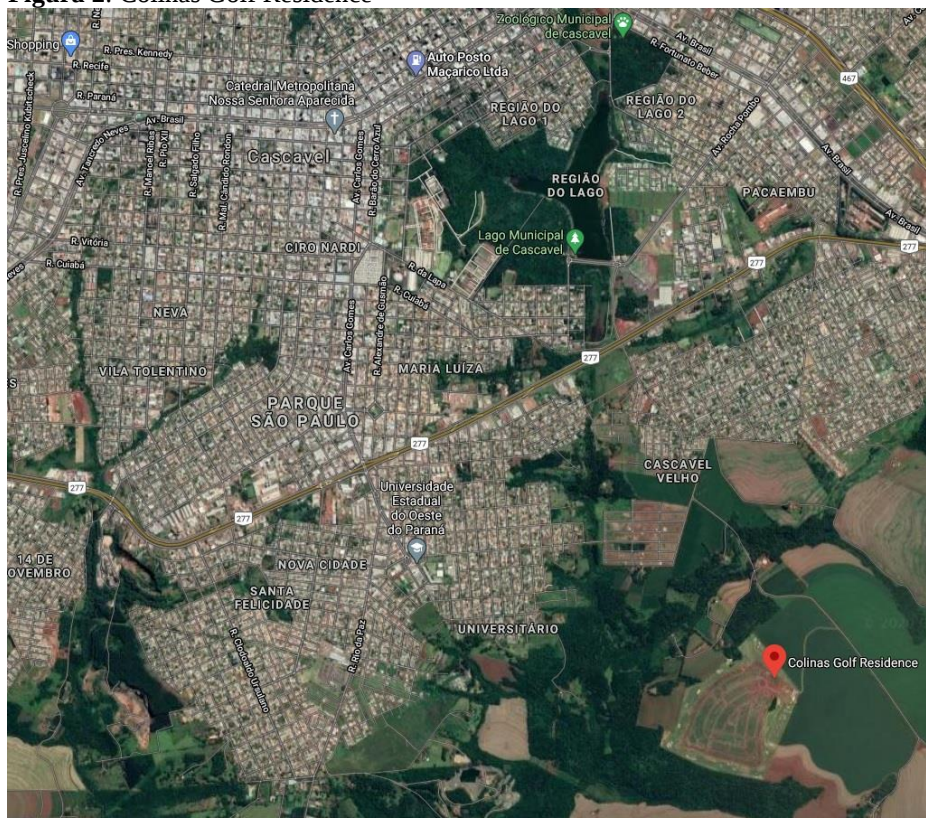
A pesquisa foi realizada pelo método quantitativo, pois foram levantadas as quantidades de geração de energia que a turbina produz para comparar com outro sistema de geração disponível no mercado. Segundo Gil (1996), trata-se de um estudo descritivo, pois foram utilizados instrumentos de coleta de dados padronizados para quantificar a geração de energia de forma direta, ou seja, baseados em projetos.

O condomínio objeto deste estudo está sendo executado na cidade de Cascavel, Paraná. O projeto de rede de distribuição de água potável foi utilizado para levantamento de dados tais como, quantidades de lotes, localização do reservatório elevado de água potável, seu volume e alturas manométricas mínimas e máximas, que foi disponibilizado por uma construtora, da cidade de Cascavel, Paraná.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

O estudo de caso foi realizado em um condomínio residencial de alto padrão localizado na cidade de Cascavel, Paraná, apresentado na Figura 2. O condomínio conta com 390 lotes previsto para a venda, o mesmo se encontra em fase de construção onde terá em sua área de 980.000 m<sup>2</sup> complexo poliesportivo, campo de golfe, quadras de tênis, piscinas semiolímpicas, academia, parque infantil, piscina de caminhada e ciclismo entre outros. Localizada a 12 minutos do centro da cidade possui uma localização privilegiada tendo uma rota fácil de acesso do centro da cidade ao condomínio.

**Figura 2:** Colinas Golf Residence



Fonte: Google Maps (2020)



### 3.4 CALCULO DE POTÊNCIA DE TURBINA

Antes de mais nada foi necessário encontrar a velocidade de escoamento da água que passa pela tubulação da rede de distribuição, determinada a partir da Equação 1, desenvolvida por Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + h_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 \cdot G} + h_2 \quad (1)$$

Onde:

P1, P2: Pontos de pressão do sistema em Pa;

γ: Peso específico da água em N/m³;

V1, V2: velocidade do fluido em m²/s;

G: gravidade em m/s².

H1, H2: Alturas verticais dentro do sistema em metros.

O calculo da vazão é realizado pela Equação 2 sendo necessário para desenvolver os cálculos. A vazão é expressa em m³/s, a velocidade do fluido encontrada a partir da Fórmula de Bernoulli é expressa m²/s e a área é expressa em m²

$$Q = V * A^2 \quad (2)$$

Para encontrar a potência de eixo foi utilizada a Equação 3, no qual relaciona a potência de eixo com a queda líquida, rendimento da turbina e a vazão (MUNHOZ E MARQUES, 2015).

$$Pe = 9,81 * Hl * Q * \eta t \quad (3)$$

Onde:

Pe: Potência de eixo, em kW.

Hl: Altura de queda útil ou líquida em metros.

Q: Vazão em m³/s.

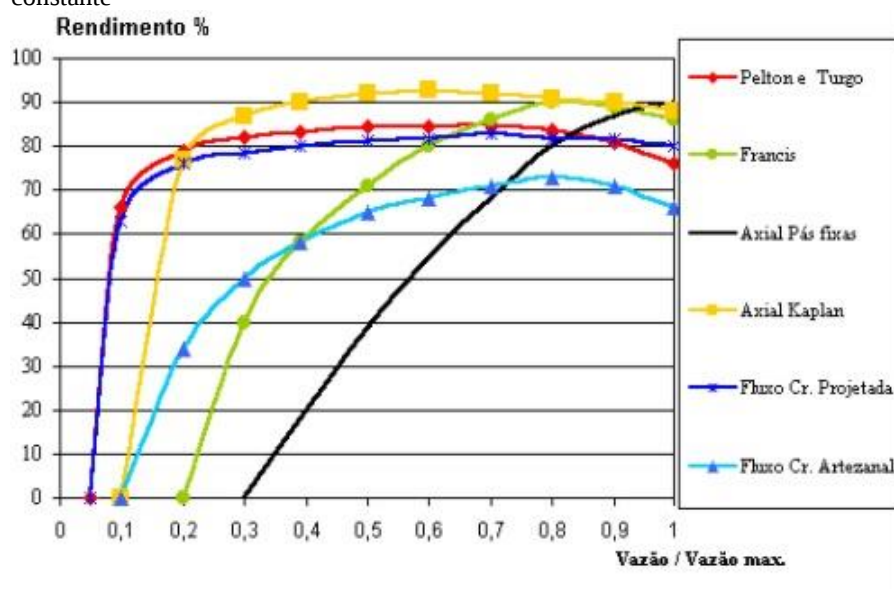
$\eta_t$ : Rendimento da turbina

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O objetivo deste presente trabalho foi realizar um estudo de viabilidade de geração de energia através de turbina hidráulica instalada na rede de abastecimento de um condomínio residencial localizado na cidade de Cascavel – PR. A pesquisa foi feita através de estudos bibliográficos e cálculos para chegar ao valor de potência entregue pelo eixo em kW, sendo assim, mostrando o que cada turbina produz de energia.

Foi utilizada a Equação 3 para o cálculo das potências do reservatório de água potável do condomínio, devido a diferença de rendimento para os modelos de turbinas do estudo, altura manométrica para os 4 casos e as vazões. Harvey *et al.* (1998) propõem a Figura 4 para estimativa de rendimentos de turbinas para o micro e minicentrals hidrelétricas.

**Figura 4:** Rendimento de turbinas com variação da vazão da turbina em relação à nominal mantendo queda líquida constante



Fonte: Adaptado de Harvey et al., (1998).

Para os valores de vazão foi considerado 4 casos conforme Munhoz e Marques (2015), onde o reservatório opera com capacidade de 100%, 80%, 50% e 30%, sendo assim, a sua altura de queda útil varia nesses 4 casos e, conseqüentemente a velocidade do fluido altera-se levando

também a alteração da vazão encontrada pela Fórmula de Bernoulli. Utilizando os dados da Figura 4 foi montado a Tabela 1

**Tabela 1:** Rendimento das turbinas

| Vazão Q<br>(m <sup>3</sup> /s) | Taxa de<br>ocupação dos<br>lotes | Rendimento (%) |         |        |        |
|--------------------------------|----------------------------------|----------------|---------|--------|--------|
|                                |                                  | Bulbo          | Francis | Kaplan | Pelton |
| 0,332                          | 100%                             | 79%            | 48%     | 88%    | 83%    |
| 0,297                          | 80%                              | 78%            | 36%     | 86%    | 82%    |
| 0,235                          | 50%                              | 77%            | 13%     | 83%    | 81%    |
| 0,182                          | 30%                              | 75%            | -       | 78%    | 77%    |

Fonte: Adaptado de MUNHOZ e MARQUES, (2015).

Levando em consideração o valor da vazão em função da altura de queda útil do reservatório simulado nos 4 casos e o rendimento encontrado dos modelos do presente estudo, montou-se a Tabela 2, onde foi utilizado a Equação 3 para encontrar as informações de potência entregue pelo eixo da turbina em kW.

**Tabela 2:** Potência entregue pelo eixo das turbinas para a vazão ótima de projeto

| Vazão<br>Q<br>(m <sup>3</sup> /s) | Rendimento<br>(%) |         |        |        | Potência entregue pelo eixo<br>(kW) |         |        |        |
|-----------------------------------|-------------------|---------|--------|--------|-------------------------------------|---------|--------|--------|
|                                   | Bulbo             | Francis | Kaplan | Pelton | Bulbo                               | Francis | Kaplan | Pelton |
| Q                                 |                   |         |        |        |                                     |         |        |        |
| 0,332                             | 79%               | 48%     | 88%    | 83%    | 46,50                               | 28,25   | 51,80  | 48,86  |
| 0,297                             | 78%               | 36%     | 86%    | 82%    | 32,89                               | 15,18   | 36,26  | 34,58  |
| 0,235                             | 77%               | 13%     | 83%    | 81%    | 16,10                               | 2,71    | 17,36  | 16,94  |
| 0,182                             | 75%               | -       | 78%    | 77%    | 7,33                                | -       | 7,62   | 7,52   |

Fonte: Adaptado de MUNHOZ e MARQUES, (2015).

Pode-se observar os valores de potência entregue pelo eixo na Tabela 2 para os quatro modelos estudados, sendo as turbinas Bulbo, Francis, Kaplan e Pelton. A turbina Kaplan possui o maior rendimento comparado com as demais turbinas e é a que apresenta o maior nível de potência para tais configurações.

Foi considerado uma estimativa de consumo mensal de energia, pois o condomínio encontra-se em fase de construção. O consumo de energia elétrica foi estimado de uma



residência familiar com 4 habitantes, o consumo em média é de 539,7 kWh/mês, conforme apresenta a Figura 5.

**Figura 5:** Estimativa de consumo de energia elétrica mensal

| <b>Estimativa de consumo mensal</b>              |                 |                                 |                  |
|--------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Unidade residencial de uma família com 4 pessoas |                 |                                 |                  |
| Ambiente                                         | Uso             |                                 | Consumo (kW x h) |
| SALA                                             | iluminação      | 0,2 kW x 2 h/dia x 30 dias      | 12,0             |
|                                                  | tomadas         | 0,4 kW x 3 h/dia x 30 dias (TV) | 36,0             |
| DORMITÓRIO 1                                     | iluminação      | 0,1 kW x 1 h/dia x 30 dias      | 3,0              |
|                                                  | tomadas         | 0,5 kW x 0,2 h/dia x 30 dias    | 3,0              |
| DORMITÓRIO 2                                     | iluminação      | 0,1 kW x 1 h/dia x 30 dias      | 3,0              |
|                                                  | tomadas         | 0,4 kW x 0,2 h/dia x 30 dias    | 2,4              |
| COZINHA                                          | iluminação      | 0,1 kW x 3 h/dia x 30 dias      | 9,0              |
|                                                  | tomadas         | 0,3 kW x 0,5 h/dia x 30 dias    | 4,5              |
|                                                  | geladeira *     | 0,4 kW x 6 h/dia x 30 dias      | 72,0             |
|                                                  | freezer *       | 0,5 kW x 6 h/dia x 30 dias      | 90,0             |
|                                                  | máq. lav. prat. | 2,2 kW x 1 h/dia x 30 dias      | 66,0             |
|                                                  | torneira        | 3 kW x 1 h/dia x 30 dias        | 90,0             |
| ÁREA DE SERVIÇO                                  | iluminação      | 0,1 kW x 0,5 h/dia x 30 dias    | 1,5              |
|                                                  | máq. lav. roup. | 0,6 kW x 6 h/sem. x 4 sem.      | 9,6              |
|                                                  | ferro           | 0,6 kW x 4 h/sem. x 4 sem.      | 14,4             |
| BANHEIRO                                         | iluminação      | 0,1 kW x 1 h/dia x 30 dias      | 3,0              |
|                                                  | tomadas         | 0,1 kW x 0,1 h/dia x 30 dias    | 0,3              |
|                                                  | chuveiro        | 4,0 kW x 1 h/dia x 30 dias      | 120,0            |
| TOTAL **                                         |                 |                                 | 539,7            |

Fonte: Sitengenharia.com.br (2004)

#### 4.1 Consumo de energia do condomínio

Na Tabela 3 apresenta o consumo médio do condomínio considerando situações diferentes de ocupação dos lotes, onde apresenta um consumo médio mensal.

**Tabela 3:** Consumo estimado do condomínio

| Ocupação dos Lotes (%) | Quantidade de lotes ocupados | Consumo médio de energia (kWh/mês) | Consumo previsto de energia (kWh/mês) |
|------------------------|------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| 100%                   | 390                          | 539,7                              | 210.483                               |
| 80%                    | 312                          |                                    | 168.386,4                             |
| 50%                    | 195                          |                                    | 105.241,5                             |
| 30%                    | 117                          |                                    | 63.144,9                              |

Fonte: Autor, (2020).



O tempo de funcionamento da turbina é de 24 horas por dia durante todos os dias do mês, obteve-se o tempo de funcionamento de 720 horas. Com os dados da Tabela 3, pode-se verificar o consumo médio previsto que o condomínio poderá ter. Esses dados foram de extrema importância para fazer a análise de quantas turbinas seriam necessárias para suprir a necessidade do condomínio, sendo assim, montou-se a Tabela 4 onde mostra a produção média de energia gerada pela turbina Kaplan.

**Tabela 4:** Consumo estimado do condomínio

| Ocupação dos Lotes (%) | Tempo de funcionamento da turbina (mensal) | Potência entregue pelo eixo (kW) | Geração de energia pela turbina Kaplan (kWh/mês) |
|------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------|
| 100%                   | 720 horas                                  | 51,80                            | 37.296,00                                        |
| 80%                    |                                            | 36,26                            | 26.107,20                                        |
| 50%                    |                                            | 17,36                            | 12.499,20                                        |
| 30%                    |                                            | 7,26                             | 5.227,20                                         |

Fonte: Autor, (2020).

Conforme os dados obtidos das Tabelas 3 e 4 pode-se estimar a quantidade de turbinas que seria necessário instalar para suprir o consumo de energia do condomínio. Esses dados foram de extrema importância para fazer a análise de quantas turbinas seriam necessárias para suprir a necessidade do condomínio, sendo assim, montou-se a Tabela 5.

**Tabela 5:** Quantidade de turbina

| Ocupação dos Lotes (%) | Consumo previsto de energia (kWh/mês) | Geração de energia pela turbina (kWh/mês) | Quantidade de turbinas |
|------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------|
| 100%                   | 210.483                               | 37.296,00                                 | 06                     |
| 80%                    | 168.386,4                             | 26.107,20                                 | 07                     |
| 50%                    | 105.241,5                             | 12.499,20                                 | 09                     |
| 30%                    | 63.144,9                              | 5.227,20                                  | 12                     |

Fonte: Autor, (2020).

Com o valor do kWh sendo R\$0,753996 estipulado pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL) no mês de novembro de 2020, pode-se observar os valores de gastos estimados com energia elétrica na Tabela 06.



**Tabela 6:** Valores gastos estimados em energia elétrica

| Ocupação dos Lotes (%) | Consumo previsto de energia (kWh/mês) | Valor do kWh estipulado pela concessionária R\$ | Valor estimado em gastos com energia elétrica |
|------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 100%                   | 210.483                               | 0,753996                                        | R\$158.703,34                                 |
| 80%                    | 168.386,4                             |                                                 | R\$126.962,67                                 |
| 50%                    | 105.241,5                             |                                                 | R\$79.351,67                                  |
| 30%                    | 63.144,9                              |                                                 | R\$47.611,00                                  |

Fonte: Autor, (2020).

Os valores previstos com gastos de energia elétrica, leva em consideração a ocupação dos lotes do condomínio. O valor de uma turbina do tipo Kaplan pode chegar a valores entre U\$1.000,00 à U\$8.000,00 no mercado internacional, convertendo o valor em moeda nacional considerando a cotação do Dólar em R\$5,31 (20/11/2020), o valor da turbina Kaplan é estimado entre R\$5.310,00 à R\$42.480,00, o valor da turbina varia conforme as especificações técnicas como tamanho da turbina por exemplo. Não foram considerados valores como taxa de importação, impostos, manutenção e obras civis.

Considerando os gastos de energia anual nas situações mais extremas montou-se a Tabela 7, no qual, mostrou os gastos de energia elétrica estimados no período de 12 meses.

**Tabela 7:** Valores gastos estimados em energia elétrica em 12 meses

| Ocupação dos Lotes (%) | Valor estimado em gastos com energia elétrica mensal (R\$) | Período de gastos com energia elétrica em meses | Valor estimado em gastos com energia elétrica anual (R\$) |
|------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 100%                   | R\$158.703,34                                              | 12                                              | R\$1.904.440,08                                           |
| 30%                    | R\$47.611,00                                               |                                                 | R\$571.332,00                                             |

Fonte: Autor, (2020).

Com os gastos anual estimados de energia elétrica do condomínio e considerando o maior valor de compra da turbina em R\$42.480,00, este valor seria apenas para aquisição da turbina, não sendo incluso os gastos necessários com adequações de infraestrutura, como obras civis e manutenção da mesma, pode-se analisar que a implantação de micro turbinas seria viável conforme mostra a Tabela 8.



**Tabela 8:** Valores gastos estimados em energia elétrica em 12 meses

| Ocupação dos Lotes (%) | Valor estimado em gastos com energia elétrica anual | Valor estimado na aquisição de turbinas (R\$) | Quantidade de turbinas | Estimativa de gastos com turbinas hidráulicas |
|------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------|
| 100%                   | R\$1.904.440,08                                     | R\$42.480,00                                  | 06                     | R\$254.880,00                                 |
| 30%                    | R\$571.332,00                                       |                                               | 12                     | R\$509.760,00                                 |

Fonte: Autor, (2020).

Com os dados da Tabela 8 pode-se chegar à conclusão de que no caso de 100% dos lotes ocupados seria necessário a instalação de 06 turbinas hidráulicas na rede de abastecimento de água o retorno seria dentro do 2º mês após a instalação das turbinas. No caso de 30% da ocupação dos lotes seria necessário à instalação de 5 turbinas hidráulicas na rede de distribuição de água, o retorno seria dentro do 11º mês após a instalação.

Levando em consideração dos dados encontrados no presente estudo, deve-se levar em consideração que a ocupação dos lotes do condomínio irá aumentar conforme o tempo, então seria viável a instalação de 06 micro turbinas pois futuramente esta quantidade de turbinas iria atender satisfatoriamente o consumo.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado possibilitou o levantamento de dados favoráveis para a possível inserção de turbinas hidráulicas na rede de abastecimento de água potável de um condomínio residencial localizado na cidade de Cascavel – PR.

O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo de caso para analisar a viabilidade da instalação de uma turbina hidráulica na rede de abastecimento de um condomínio utilizando a pressão da rede para a geração de energia renovável sem trazer danos ao meio ambiente.

Os valores estimados de vazão na tubulação de distribuição foram determinados pela Equação de Bernoulli, que possibilitou determinar a velocidade do fluido em 4 situações conforme Munhoz e Marques (2015), de acordo com a ocupação dos lotes estimados em 100%, 80%, 50% e 30%.

Esse cálculo foi essencial pois todas as turbinas trabalham em regime de vazão variável, o que implica na variação do rendimento. A área da tubulação responsável pelo abastecimento

não muda, logo em seguida foi calculado a vazão para cada situação simulada, tendo um valor inferior implica em menos potência gerada, enquanto que valores superiores não forneciam uma potência suficiente maior que justificasse os gastos proveniente de mais turbinas.

Com a análise realizada, pode-se observar que a turbina que entregou maior potência em seu eixo neste estudo foi a Turbina Kaplan, a qual consegue ter o maior aproveitamento de cargas baixas.

Foi considerado uma estimativa de consumo mensal de energia elétrica residencial com 4 habitantes, pois o condomínio encontra-se em fase de construção. Conforme previsto um consumo médio de 539,7 kWh/mês, segundo Site Engenharia.com.br, neste caso também foi empregado as 4 situações simuladas no presente estudo, considerando a ocupação dos lotes em 100%, 80%, 50% e 30%, sendo assim, foi estimado um consumo médio do condomínio nos 4 casos.

No estudo realizado, obteve-se a quantidade necessária de turbinas para suprir à quantidade de energia consumida nas situações apresentadas, tendo em vista que quanto menor rendimento da turbina consequentemente menor será a geração de energia pela turbina.

Os valores encontrados no mercado internacional das turbinas variaram de U\$1.000,00 a U\$8.000,00, considerando o maior custo a turbina do tipo Kaplan pode chegar à R\$42.480,00 levando em consideração o valor do dólar nos dias de hoje. Não foi estimado custos de importação, impostos, transporte, manutenção e mão de obra de instalação da turbina.

Foi estimado o gasto anual em energia elétrica em dois casos que foi considerado 100% de ocupação dos lotes e 30% de ocupação dos lotes e obteve-se gastos anuais de energia elétrica de R\$1.904.440,08 em 100% e R\$571.332,00 em 30% sem considerar tarifa de bandeiras cobrados pela concessionária. O valor da turbina foi considerado em R\$42.480,00 e mostrou que considerando a ocupação de 100% dos lotes seria necessário a instalação de 6 turbinas hidráulicas, levando em consideração o gasto anual em energia elétrica o investimento poderá dar retorno dentro do 2º mês após a instalação, entretanto considerando 30% dos lotes ocupados será necessário a instalação de 12 turbinas hidráulicas e o retorno se dará dentro do 11º mês após a instalação da mesma.

Deve-se levar em consideração que a ocupação do condomínio irá aumentar conforme o tempo, então seria viável a instalação de 6 turbinas hidráulicas que futuramente irá atender a demanda de energia consumida pelo condomínio.



Importante reforçar, no entanto, que este trabalho trata de um estudo exploratório e que não foram consideradas perdas de carga na rede, custos de importação e impostos das turbinas, manutenção e mão de obra das mesmas, sendo uma sugestão de objeto de estudo para um futuro trabalho.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, A S.; OLIVEIRA, L. C. DE S.; ARCANJO, G. L. F. **Energia renovável: Os ganhos e os impactos sociais, ambientais e econômicos nas indústrias brasileiras**. 2012 (Artigo) – XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves.

APOSTILA ENGENHARIA MECÂNICA – **Turbinas de geração de energia elétrica** >file:///C:/Users/Usuario/Downloads/docsity-turbinas-de-geracao-de-energia-eletrica-apostilas-engenharia-mecanica.pdf> Acesso em 25 de abr. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 12.218 (1994) – **Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público** >file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Nbr\_12218\_Projeto\_De\_Rede\_De\_Distribuica.pdf> Acesso em 25 de abr. 2020.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ – SANEPAR – **Prescrições para elaboração de projetos de sistemas de abastecimento de água** >http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/informacoes-tecnicas/mps-manual-de-projetos-de-saneamento/Modulo\_3\_-\_Prescricao\_PE\_-\_SAA.pdf> Acesso em 25 de abr. 2020.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ – SANEPAR – **Diretrizes para elaboração de simulação hidráulica** >http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/informacoes-tecnicas/mps-versao-2017/modulo10.2\_diretrizes\_de\_simulacao\_hidraulica\_saa.pdf> Acesso em 25 de abr. 2020.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ – SANEPAR – **Manual de projeto hidrossanitário** >http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/informacoes-tecnicas/projeto-hidrossanitario/manual\_de\_projeto\_hidrossanitario\_marco-2019.pdf> Acesso em 25 de abr. 2020.

ELETROBRÁS – **Diretrizes para projetos de PCH** >https://eletrobras.com/pt/Paginas/Manuais-e-Diretrizes-para-Estudos-e-Projetos.aspx> Acesso em 25 de abr. 2020.

ESTIMATIVA DE CONSUMO MENSAL DE ENERGIA ELÉTRICA – **Site Engenharia.com.br** >https://www.sitengenharia.com.br/tabelaenergia.htm> Acesso em 06 de dez. 2020.



GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1996.

LIMA, G. M. **Microgeração em sistemas de abastecimento de água**. 2013. Dissertação (Mestre em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

LIMA, R. A. **A produção de energias renováveis e o desenvolvimento sustentável: uma análise no cenário d mudança do clima**. 2012. Energy Law in Brazil.

MUNHOZ, G. P. MARQUES, T. **Estudo de turbina para implantação em uma central hidrelétrica**. 2015. Conclusão de curso (Engenheiro Eletricista) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

O SETOR ELÉTRICO ><https://www.oseletrico.com.br/consumo-de-energia-deve-crescer-48-ate-2020/#:~:text=Em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20ao%20consumidor%20residencial,ultrapassado%20por%20volta%20de%202017.>> Acesso em 03 de abr. 2020.

PERIUS, M. R. CARREGARO, J. B. **Pequenas centrais hidrelétricas como forma de redução de impactos ambientais e crises energéticas**. 2012. Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e Saúde, Vol. 16, núm. 2 – Universidade Anhanguera, Mato Grosso do Sul, Campo Grande.

RAMOS, H M, COVAS, D. ARAUJO, L. MELLO, M. **Available energy assessment in water supply systems**. 2005. XXXI IAHR Congress. Seoul, Korea.

RAMOS, H. M.; MELO, M. de P. K. **Clean power in water supply systems as a sustainable solution: from planning to practical implementation**. 2010. IWA Publishing, Water Science & Technology: Water Supply – WSTWS | 10.1.

SILVA, J. A. L. **Avaliação técnico-econômica de mini centrais hidrelétricas operando a velocidade variável utilizando conversores de potência**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia da Universidade de Minas Gerais, Minas Gerais.

SOSNOSKI A. S. K. B. **Produção de energia por mini e micro hidrelétricas na rede de distribuição de água**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SOUZA, Z; FUCHS, R. D; SANTOS, A. H. M. **Centrais hidro e termelétricas**. São Paulo: Edgar Blucher, Escola de Engenharia, 1983. Itajubá – Minas Gerais.

TURBULENT HYDRO. **Do small hydropower plants provide continuous power?** ><https://www.turbulent.be/post/do-small-hydropower-plants-provide-continuous-power>>. Acesso em 30 de nov. de 2020.