

A **ProjetEQ Consultoria em Projetos de Engenharia Química** foi fundada em 2017 com o objetivo de oferecer, através de estudo e análise de projetos, novas práticas de mercado, buscando soluções que se adequem à necessidade dos clientes.

Nossos serviços incluem quaisquer etapas de processamento industrial que envolvam Fenômenos de Transporte, Operações Unitárias, Termodinâmica, etc. Podemos atender a diversos ramos industriais projetando e dimensionando equipamentos e tubulações, bem como oferecer suporte nas etapas de operação através de análises em laboratório ou computacionais (simulações).

Nossa equipe atual é formada por membros especializados nas soluções de problemas em Engenharia de Processos. Somos graduandos em Engenharia Química pela Universidade Federal do Triângulo Mineiro - UFTM e prestamos serviços de acessoria e consultoria em projetos industriais para a disciplina de Operações Unitárias sob a supervisão da Prof. Dra. Kássia Graciele dos Santos.

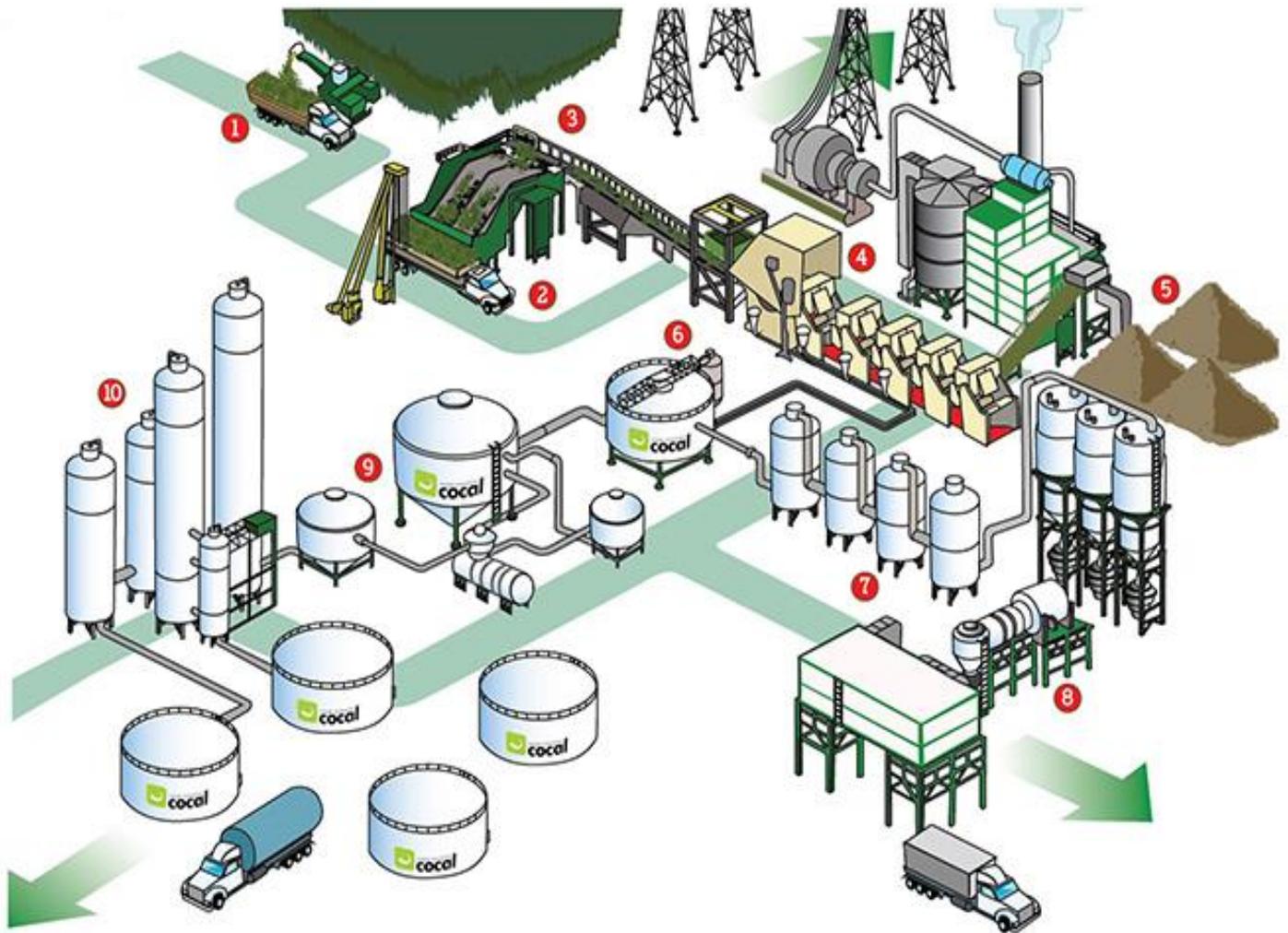
Conheça nossos serviços.

## SUMÁRIO

1. Processo de Produção Açúcar e Álcool .....	3
2.1 Fluxograma.....	4
2.2 Descrição do Processo .....	5
2. Proposta de Projeto .....	6
2.1 Descrição do Projeto .....	7
2.2 Detalhamento do projeto .....	8
2.2.1 Bomba 1 – Sucção .....	8
2.2.2 Bomba 1 – Recalque .....	9
2.2.3 Escolha da Bomba 1 .....	11
2.2.4 Bomba 2 – Sucção .....	12
2.2.5 Bomba 2 – Recalque .....	13
2.2.6 Escolha da Bomba 2 .....	16
2.3 Anexos .....	17
3. Referências .....	19

# 1. Processo de Produção Açúcar e Álcool

## 2.1 Fluxograma



## 2.2 Descrição do Processo

O processo se inicia com a colheita da cana-de-açúcar (1).

É feito o seu transporte até a área industrial (2).

Ela é descarregada, passa pelo desfibrador e picador, e posteriormente segue para a moagem, onde inicia-se o processo de produção de álcool, energia elétrica e açúcar (3).

A cana, através da moenda, é preparada para a extração do caldo que, ao final dessa fase, é separada do bagaço (4).

Inicia-se o processo de produção de energia elétrica, uma vez que o bagaço, sendo queimado nas caldeiras, gera vapor, que é enviado às turbinas dos geradores. Parte da energia gerada (cerca de 35%) é utilizada na própria unidade industrial. (5).

A partir do processo de extração, obtém-se um caldo impuro, que é levado ao decantador para clarificação. As impurezas são eliminadas pela parte inferior do equipamento, enquanto o caldo clarificado sai por uma corrente superior, já preparado para o processo produtivo de açúcar e álcool (6).

Esse caldo entra em um conjunto de evaporadores de múltiplo efeito, para que seja retirada boa parte da água da mistura, que se torna mais concentrada (xarope). O xarope segue para tachos de cozimento para posterior cristalização do açúcar (7).

O líquido açucarado (melaço), passa por centrifugas, para que ocorra a separação dos cristais de açúcar, que passarão por um secador, para que seja retirada a umidade. Em seguida, o açúcar, já pronto para ser comercializado, segue para o ensacamento (8).

A outra parte do caldo clarificado é tratado com leveduras (fermentação), que posteriormente são separadas do vinho e recuperadas através de um processo de centrifugação (9).

O vinho segue para os destiladores, onde se obtém o álcool concentrado e purificado, que posteriormente é armazenado em grandes tanques. (10).

## 2. Proposta de Projeto

## 2.1 Descrição do Projeto

Nossa proposta de projeto abrange as etapas (6) e (7) previamente explicadas.

O processo inicia-se com a entrada do caldo in natura (proveniente do processo de extração) na planta. Este caldo alimenta o decantador, onde ocorre a separação das impurezas e sua clarificação. O lodo que se acumula na parte inferior do decantador é escoado para integrar outra parte do processo industrial. Já o caldo clarificado, que deixa o decantador, através de uma corrente superior, é deslocado por tubulações de aço inox até uma primeira bomba afogada, onde é impulsionado para dentro de um tanque pulmão. O caldo, quando necessário, fica reservado no tanque, até que o processo de evaporação termine.

A partir do tanque pulmão, a tubulação segue até a segunda bomba afogada. Anteriormente a ela, colocou-se uma válvula gaveta, que quando necessário, será fechada para manutenção ou troca da bomba. Um medidor de vazão foi colocado para controle do processo.

Na tubulação posterior a bomba 2, colocou-se outra válvula gaveta para o caso de manutenção ou troca dos evaporadores, uma junta rosqueada também foi necessária para conectar a tubulação do projeto e dos evaporadores.

A segunda bomba desloca o clarificado para um conjunto de evaporadores de duplo efeito, onde o caldo será concentrado para a formação do melaço. Os evaporadores possuem duas válvulas, a primeira, encontra-se na tubulação que conecta os dois evaporadores e a segunda, na saída do primeiro evaporador. Uma vez que for necessária a manutenção do segundo evaporador, a primeira válvula será fechada, e a segunda, aberta, assim, apenas um evaporador seguiria trabalhando. Caso contrário, a primeira permanece aberta e a segunda, fechada, para que os dois evaporadores trabalhem em conjunto.

## 2.2 Detalhamento do projeto

### 2.2.1 Bomba 1 – Sucção

A tabela 1 possui as características do caldo, a vazão volumétrica, rugosidade da tubulação, a pressão e a altura do ponto 1 (na parte superior do caldo no decantador).

As propriedades referentes ao fluido foram obtidas segundo pesquisas (1).

Tabela 1 - Propriedades da sucção 1.

Líquido Bombeado	Caldo de Cana Clarificado
<b>Vazão Volumétrica (m<sup>3</sup>/s)</b>	0.0694
<b>Pressão de Vapor do Caldo (Pa)</b>	70000
<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1049.3749
<b>Gravidade (m/s<sup>2</sup>)</b>	9.81
<b>Viscosidade (Pa.s)</b>	0.0053
<b>Rugosidade Aço Inoxidável</b>	0.015
<b>Pressão no ponto 1 (Pa)</b>	110000
<b>Altura do ponto 1 (m)</b>	12

A velocidade do fluido foi calculada pela razão (Vazão volumétrica/Área), considerando um diâmetro de 0.2032m.

Em seguida, calculou-se o Número de Reynolds, obtendo-se um regime turbulento. O fator de atrito foi calculado pela correlação de Colebrook. Posteriormente, calculou-se o NPSHd pela equação 1.

$$NPSHd = \frac{(P_1 - P_v)}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 - H_c \quad (1)$$

A perda de carga  $h_c$  foi calculada a partir da equação 2. Onde  $L$  representa os comprimentos dos trechos retos e  $L_{eq}$ , a perda de carga nos acessórios.

$$h_c = f \frac{(L_{eq} + L)}{D} * \frac{v^2}{2g} + K \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

A Tabela 2, possui os comprimentos dos acessórios e dos trechos retos.

Tabela 2 – Perda de carga da sucção 1.

<b>Descrição</b>	<b>Quantidade</b>	<b>L(m)</b>	<b>K</b>
<b>Joelho 90° (L/D=30)</b>	4	24.384	-
<b>Trechos retos</b>	-	66	-
<b>Redução de 8 para 4 in</b>	1	-	0.34
<b>Total</b>		90.384	0.34
<b>Perda de carga: Hc (m)</b>		2.04	

A Tabela 3, mostra os resultados dos cálculos obtidos a partir das equações 1 e 2.

Tabela 3 – Resultado dos cálculos para sucção 1.

<b>Fator de atrito (f)</b>	<b>0.0189</b>
<b>Velocidade (m/s)</b>	2.140041434
<b>Reynolds</b>	86099.51161
<b>NPSHd</b>	13.8456199

### 2.2.2 Bomba 1 – Recalque

Os cálculos para o recalque foram feitos seguindo o mesmo raciocínio da sucção anterior. Na Tabela 4 estão listados os dados para o cálculo, considerando o ponto 1 na saída da bomba e o ponto 2 na entrada do tanque pulmão.

Tabela 4 – Propriedades do recalque 1.

<b>Líquido Bombeado</b>	<b>Caldo de Cana Clarificado</b>
<b>Vazão Volumétrica (m<sup>3</sup>/s)</b>	0.0694
<b>v1 (m/s)</b>	15.298
<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1049.3749
<b>Gravidade (m/s<sup>2</sup>)</b>	9.81
<b>Viscosidade (Pa.s)</b>	0.0053
<b>Pressão na saída da Bomba(Pa)</b>	200000
<b>Pressão na entrada do Tanque (Pa)</b>	150000

A Tabela 5 e 6 mostram a perda de carga total no trecho analisado e os resultados dos cálculos a partir das equações 1 e 2.

Tabela 5 – Perda de carga no recalque 1.

<b>Descrição</b>	<b>Quantidade</b>	<b>L(m)</b>	<b>K</b>
<b>Curva 90° (L/D=20)</b>	1	4.064	-
<b>Trechos retos</b>	-	15	-
<b>Expansão de 3 para 8 in</b>	1	-	0.74
<b>Total</b>		19.064	0.74
<b>Perda de carga: H<sub>c</sub> (m)</b>		0.587	

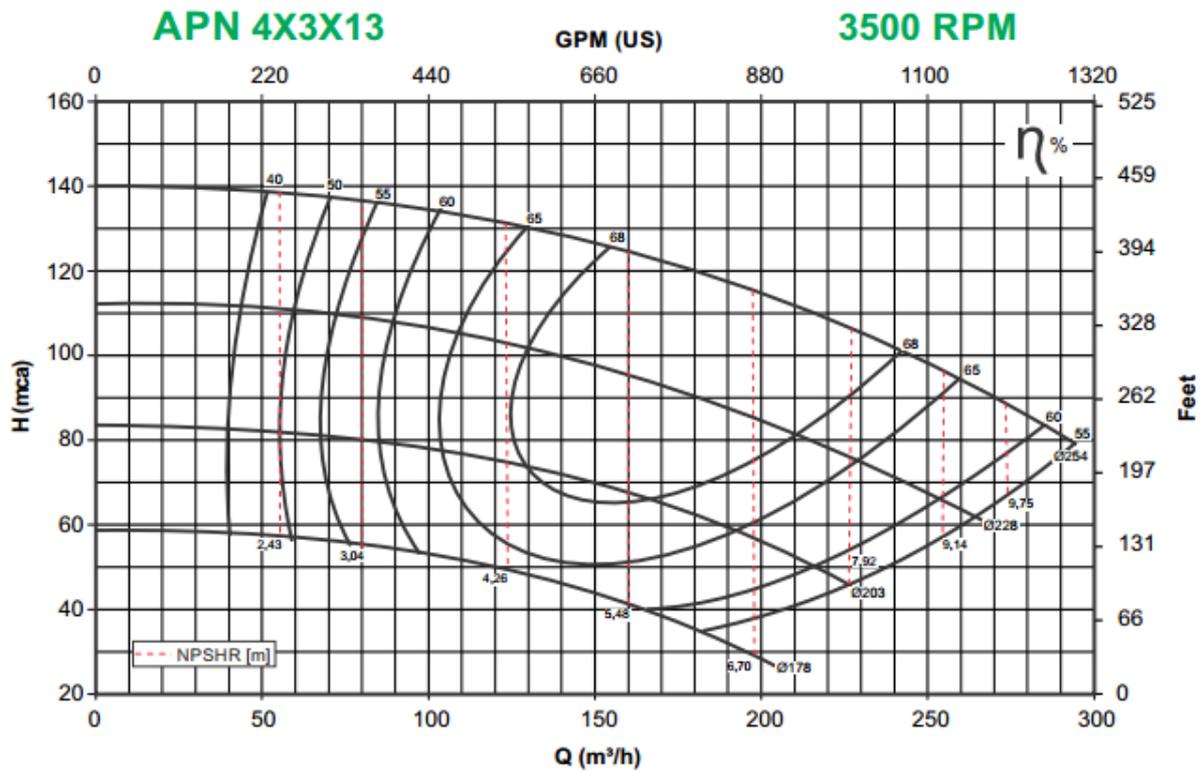
Tabela 6 – Resultados dos cálculos para o recalque 1.

<b>Fator de atrito (f)</b>	0.0189
<b>Velocidade (m/s)</b>	2.14
<b>H<sub>cD</sub></b>	6.552
<b>H<sub>cR</sub></b>	0.587

### 2.2.3 Escolha da Bomba 1

A bomba foi escolhida no catálogo da empresa **IMBIL Soluções em Bombeamento**.

Figura 1 – Curva característica da Bomba 1.



A partir da curva característica, obtém-se as informações listadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Características da Bomba 1.

<b>Bomba 1</b>	
<b>Fabricante</b>	IMBIL
<b>Modelo</b>	APN 4x3x13
<b>D sucção (in)</b>	4
<b>D recalque (in)</b>	3
<b>Dmáx do rotor (in)</b>	13
<b>Eficiência</b>	66,00%
<b>RPM</b>	3500
<b>NPSHr (m)</b>	9

#### 2.2.4 Bomba 2 – Sucção

Assim como na primeira bomba, os cálculos foram feitos seguindo as equações 1 e 2 para bombas afogadas. Foi utilizada também a razão para o cálculo da velocidade e a formula para o Número de Reynolds.

Os cálculos foram feitos a partir do ponto 1, na saída do tanque pulmão até o ponto 2, na entrada da bomba.

Na Tabela 8 estão listadas as propriedades para a sucção.

Tabela 8 – Propriedades da sucção 2.

<b>Líquido Bombeado</b>	Caldo de Cana Clarificado
<b>Vazão Volumétrica (m<sup>3</sup>/s)</b>	0.0694
<b>v1 (m/s)</b>	1.37
<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1049.3749
<b>Gravidade (m/s<sup>2</sup>)</b>	9.81
<b>Viscosidade (Pa.s)</b>	0.0053
<b>Pressão na saída do Tanque(Pa)</b>	150000
<b>Pressão na entrada da Bomba (Pa)</b>	120000

As Tabelas 9 e 10 mostram as perdas de carga ao decorrer da tubulação e os resultados finais para escolha da bomba.

Tabela 9 – Perda de carga na sucção 2.

<b>Descrição</b>	<b>Quantidade</b>	<b>L(m)</b>	<b>K</b>
<b>Joelho 90°(L/D=30)</b>	1	6.096	-
<b>Curva 90°(L/D=20)</b>	1	4.064	-
<b>Válvula Gaveta(L/D=35)</b>	1	7.112	-
<b>Medidor de Vazão</b>	1	0.9	-
<b>Redução de 8 para 4 in</b>	1	-	0,34
<b>Redução de 10 para 8 in</b>	1	-	0.112
<b>Trecho Reto</b>	-	67	-
<b>Total</b>	-	85.172	0.452
<b>Perda de Carga Hc</b>		1.95	

Tabela 10 – Resultado dos cálculos para a sucção 2.

<b>Fator de atrito (f)</b>	0.0189
<b>Velocidade (m/s)</b>	2.140041434
<b>NPSHd</b>	12.92

#### 2.2.5 Bomba 2 – Recalque

Assim como nos processos anteriores, o recalque para a bomba 2 foi calculado pelas equações 1 e 2, considerando o ponto 1, na entrada do sistema de evaporadores e o ponto 2, na saída da bomba.

Na Tabela 11 estão listadas as propriedades do recalque.

Tabela 11 – Propriedades no recalque 2.

<b>Líquido Bombeado</b>	<b>Caldo de Cana Clarificado</b>
<b>Vazão Volumétrica (m<sup>3</sup>/s)</b>	0.0694
<b>v1 (m/s)</b>	0,95
<b>v2 (m/s)</b>	15.298
<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1049.3749
<b>Gravidade (m/s<sup>2</sup>)</b>	9.81
<b>Viscosidade (Pa.s)</b>	0.0053
<b>Pressão na saída da Bomba (Pa)</b>	140000
<b>Pressão na entrada do Evaporador (Pa)</b>	200000

As Tabelas 12 e 13 mostram as perdas de carga ao decorrer da tubulação e os resultados finais para escolha da bomba.

Tabela 12 – Perda de carga no recalque 2.

<b>Descrição</b>	<b>Quantidade</b>	<b>L(m)</b>	<b>K</b>
<b>Joelho 90° (L/D=30)</b>	3	18.288	-
<b>Válvula Gaveta aberta (L/D=35)</b>	1	7.112	-
<b>Junta rosqueada de 45 (L/D=26)</b>	1	5.283	-
<b>Expansão de 3 para 8 in</b>	1	-	0.74
<b>Expansão de 8 para 12 in</b>	1	-	0.31
<b>Trecho reto</b>	-	68	-
<b>Total</b>		98.683	1.05
<b>Hc<sub>r</sub></b>	2.39		
<b>Hc<sub>d</sub></b>	15.71		

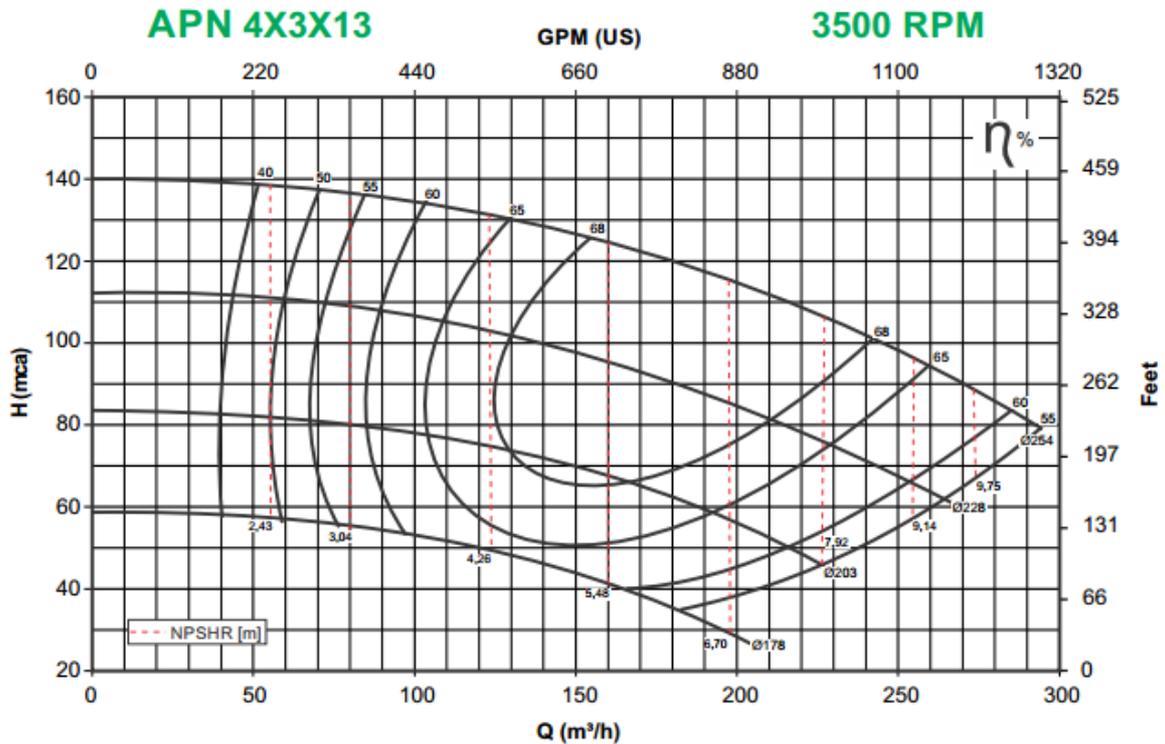
Tabela 13 – Resultado dos cálculos para o recalque 2.

<b>Fator de atrito (f)</b>	0.0189
<b>Velocidade (m/s)</b>	2.140041434
<b>Reynolds</b>	86099.51161
<b>NPSHd</b>	15.71

### 2.2.6 Escolha da Bomba 2

A bomba 2 também foi escolhida no catálogo da empresa **IMBIL Soluções em Bombeamento**.

Figura 2 – Curva característica da Bomba 2



A partir da curva característica, obtém-se as informações da bomba.

Tabela 14 – Características da Bomba 2.

<b>Bomba 1</b>	
<b>Fabricante</b>	IMBIL
<b>Modelo</b>	APN 4x3x13
<b>D sucção (in)</b>	4
<b>D recalque (in)</b>	3
<b>Dmáx do rotor (in)</b>	13
<b>Eficiência</b>	64,00%
<b>RPM</b>	3500
<b>NPSHr (m)</b>	9

### 2.3 Anexos

Vistas do projeto feito em 3D.

Figura 3 – Vista 1.

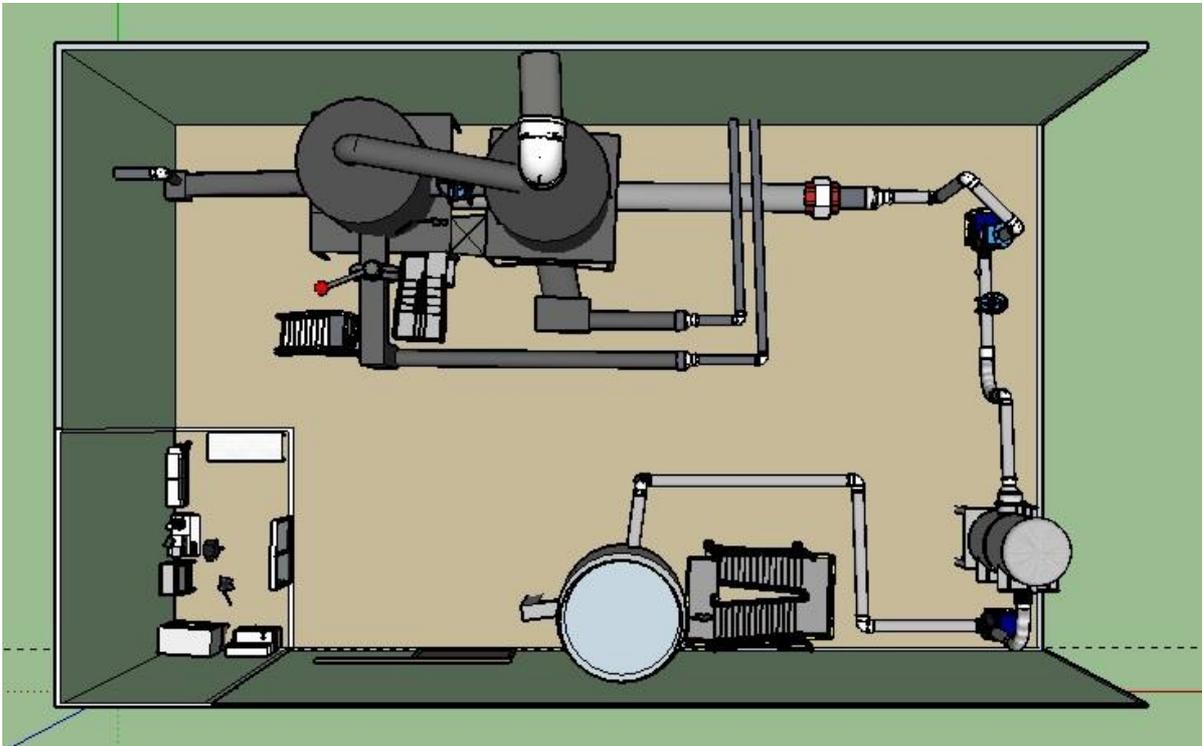


Figura 4 – Vista 2.

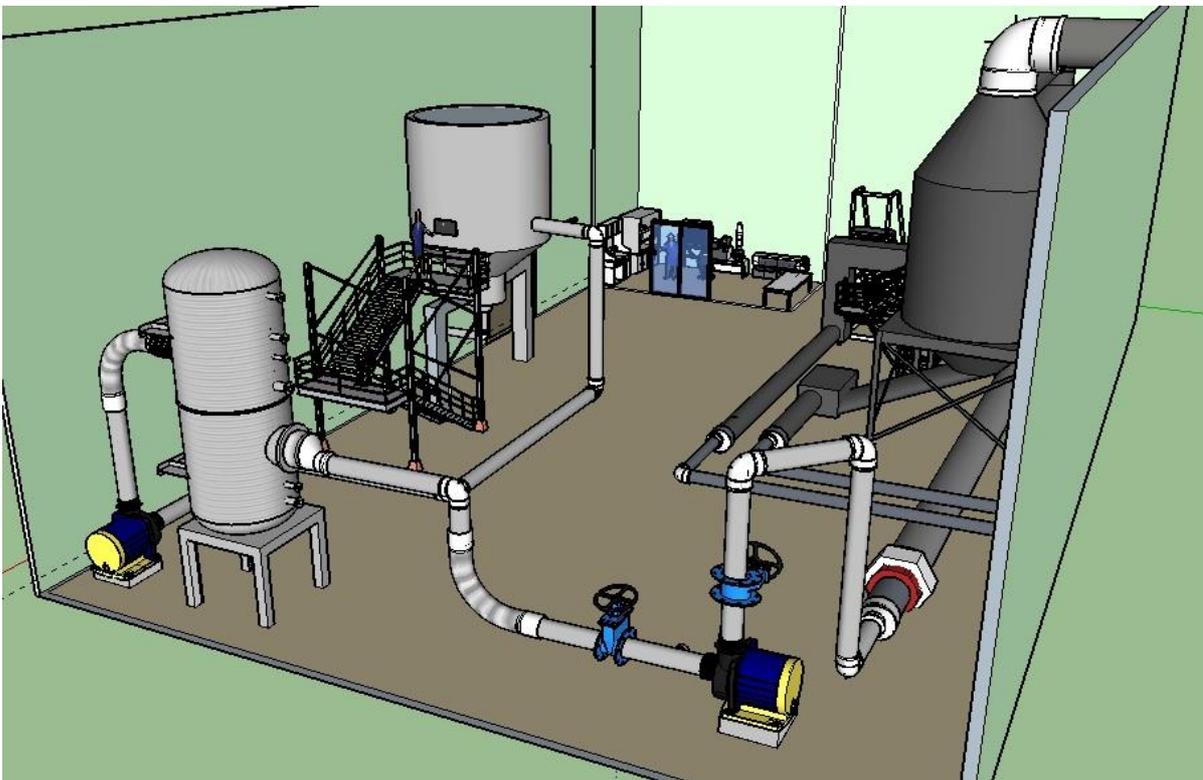


Figura 5 – Vista 3.

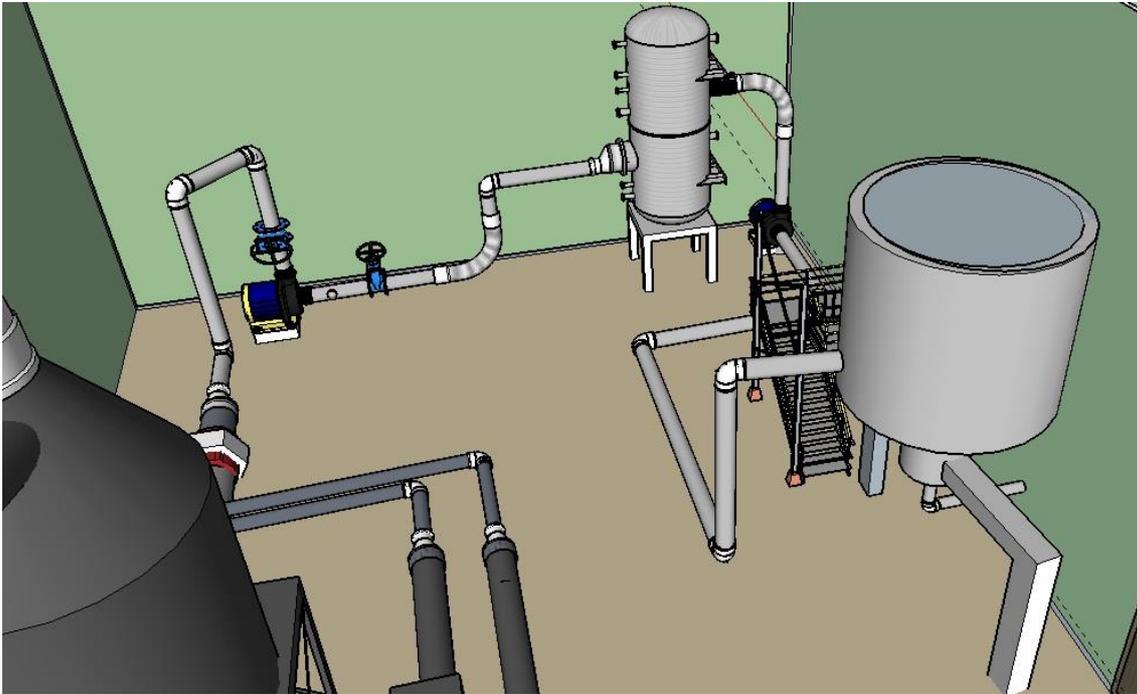
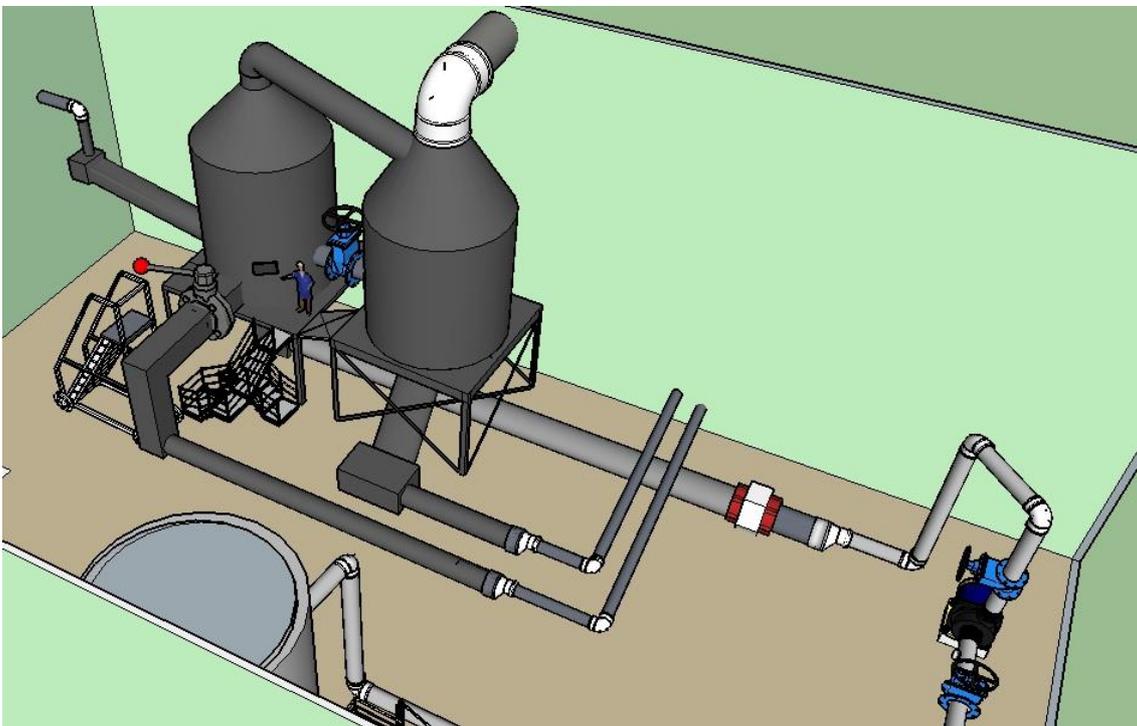


Figura 6 – Vista 4



## 3. Referências

Catalogo linha APN. IMBIL, Disponível em: <  
[http://www.imbil.com.br/Imbil/Portugues/Upload/Cat%C3%A1logos/APN%20\\_w  
eb.pdf](http://www.imbil.com.br/Imbil/Portugues/Upload/Cat%C3%A1logos/APN%20_web.pdf) > Acesso em: 21 mai 2017.

FILHO, Z. A. Propriedades Reológicas e Termofísicas de Caldos de Cana Ctilizados no Processo de Obtenção de Bioetanol. Disponível em <  
[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/101969/astolfifilho\\_z\\_dr\\_sjrp.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/101969/astolfifilho_z_dr_sjrp.pdf?sequence=1&isAllowed=y)> Acesso em: 21 mai 2017.