

PRODUTO 6: Relatório de validação estrutural do sistema forno-fornalha adaptado às condições da mesorregião onde foi instalado

Relatório referente à Ação 6 vinculada ao Edital JOF-1069/2019; Incentivo à produção sustentável de carvão vegetal de florestas plantadas, com melhoria das tecnologias de produção e execução de programas de capacitação.

Equipe Técnica:

Marina Donária Chaves Arantes/UFSJ
Ana Flávia Neves Mendes Castro/UFSJ
Glauciana da Mata Ataíde/UFSJ
Renato da Silva Vieira/UFSJ
Renato Vinícius Oliveira Castro/UFSJ
Silvana Maria Novais Ferreira Ribeiro/INAES
Isabella Carolina de Almeida/UFSJ/Estagiária
Lívia Ferreira da Silva/UFSJ/Estagiária
Reginaldo Arthur Gloria Marcelino/UFSJ/Estagiário

**Sete Lagoas, MG
2020**

Sumário

1. Apresentação do relatório referente ao produto 6.	3
2. Validação estrutural do sistema forno-fornalha adaptado às condições da mesorregião onde foi instalado.	4
3. Relação custo-benefício, considerando aspectos de durabilidade do sistema, adequação e disponibilidade dos materiais utilizados, vedação, eficiência da fornalha/chaminé do sistema forno-fornalha adaptado às condições da mesorregião onde foi instalado.	28
3.1. Introdução	29
3.2. Análise Financeira	29
3.3. Resultados e discussão	30
3.4. Benefícios Periódicos Equivalentes (BPE)	33
3.5. Análise de sensibilidade	40
3.6. Análise de risco	42
3.7. Conclusões	43
3.8. Referências	43
4. Resultados da pesquisa sobre a adequação da estrutura do sistema fornos-fornalha à mesorregião onde foi instalada, considerando aspectos de durabilidade do sistema, adequação e disponibilidade dos materiais utilizados, vedação e eficiência da fornalha/chaminé do sistema.	44
4.1 Durabilidade do sistema:	45
4.2 Adequação e disponibilidade dos materiais utilizados:	46
4.3 Vedação e eficiência da fornalha/chaminé do sistema:	46
4.4 Referências	50

1. Apresentação do relatório referente ao produto 6.

De acordo com a proposta técnica submetida ao edital JOF-1069/2019; Incentivo à produção sustentável de carvão vegetal de florestas plantadas, com melhoria das tecnologias de produção e execução de programas de capacitação, para que este projeto seja realizado de forma adequada e atenda a todas as suas especificidades, a metodologia para o desenvolvimento das atividades foram subdivididas em dez etapas, adaptado à mesorregião de execução da presente proposta, as quais possuem suas ações descritas na metodologia da proposta e deverão ser enviadas por meio de relatórios de acordo com o novo cronograma de execução, a saber:

Tabela 1. Novo cronograma de execução do edital JOF-1069/2019; Incentivo à produção sustentável de carvão vegetal de florestas plantadas, com melhoria das tecnologias de produção e execução de programas de capacitação.

Produto	Prazo de Entrega (após a assinatura do Contrato)	Montante a ser pago (em % do total do Contrato)
Produto 1	7 dias	2,5%
Produto 2	21 dias	10%
Produto 3	31 dias	5%
Produto 4	52 dias	25%
Produto 5	52 dias	25%
Produto 6	127 dias	7,5%
Produto 7	127 dias	7,5%
Produto 8	187 dias	5%
Produto 9	197 dias	2,5%
Produto 10	207 dias	10%
TOTAL	210 dias	100%

Desta forma foi previsto na metodologia da proposta como Produto 6, a ação referente à Ação 6: Relatório de validação estrutural do sistema forno-fornalha adaptado às condições da mesorregião onde foi instalado.

2. Validação estrutural do sistema forno-fornalha adaptado às condições da mesorregião onde foi instalado.

A construção do sistema fornos-fornalha ocorreu entre o galpão de máquinas e o viveiro florestal, na área do Campus de Sete Lagoas da Universidade Federal de São João del-Rei/UFSJ, durante os dias 09 à 14/12/2019, por meio do curso prático da construção do sistema fornos-fornalha. Para a construção do sistema fornos-fornalha foram utilizadas as especificações do modelo desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), conforme Anexo III - Desenho básico do sistema fornos-fornalha e modelo sugerido do galpão de apoio, Anexo IV - Plantas baixas do sistema fornos-fornalha e Anexo V - Memorial descritivo do sistema fornos-fornalha, documentos contidos junto ao edital JOF-1069_2019. Para execução da construção foi contratada a mesma empresa que construiu este sistema forno-fornalha no município de Lamim, MG e João Pinheiro, MG, ou seja, a empresa C.L.A Empreendimentos Florestais LTDA-ME; o curso prático foi ministrado por um instrutor do Senar, MG e pelos consultores técnicos da Universidade Federal de Viçosa, com a organização da equipe técnica do projeto.

A metodologia para o desenvolvimento das atividades vinculadas ao curso prático de instalação do sistema fornos-fornalha seguiu as instruções disponibilizadas em “Produção sustentável de carvão vegetal: manual de construção sistemas fornos, fornalha / Ministério do Meio Ambiente ... [et al.]. – Brasília, DF: MMA, 2019”; sendo que esta cartilha foi repassada pelos consultores técnicos da Universidade Federal de Viçosa a todos que estiverem participando deste treinamento.

Após a construção do sistema fornos-fornalha foram realizadas a cura dos fornos (Figuras 1, 2, 3 e 4), da cura dos fornos até as carbonizações testes com intuito de validação do sistema, os fornos ficaram lonados (Figura 5) para evitar que ficassem expostos diretamente as condições ambientais, uma vez que chuvas torrenciais contínuas acima da média histórica do Estado foram identificadas no Município de Sete Lagoas. A metodologia adotada na condução do processo de carbonização foi de acordo com procedimentos de cunho científico, por meio do monitoramento da temperatura do processo com auxílio de um pirômetro, a fim de obter maior produtividade, homogeneidade e qualidade do carvão vegetal, além da melhoria das condições de trabalho nas praças de carbonização por meio da combustão dos gases pela fornalha.



Figura 1. Processo de cura dos fornos de carbonização.



Figura 2. Processo de cura dos fornos de carbonização.



Figura 3. Processo de cura dos fornos de carbonização.



Figura 4. Forno após o processo de cura.



Figura 5. Fornos lonados para auxiliar a manter a integridade física dos fornos.

Avaliou-se após a cura do sistema fornos-fornalha as estruturas, verificando se existiam trincas e/ou furos/rachaduras. Nos locais identificados com necessidade de manutenção aplicou a "barrela" com silicato, que deixa a argamassa mais resistente, utilizando aproximadamente 400 ml de silicato de sódio para cada carrinho de solo argiloso peneirado (3 latas de 18 litros). Depois da inspeção visual, observando que tudo estava correto, repetiu-se a limpeza dos fornos e fornalha deixando tudo em condição ideal de funcionamento para fazer as carbonizações. A estrutura física dos fornos manteve-se intacta durante a carbonização, sendo necessário apenas uma barrela nos pequenos vazamentos, os quais ainda não estavam impregnados por alcatrão. Ações corriqueiras em uma unidade de carbonização.

As carbonizações ocorreram durante o primeiro treinamento teórico prático e dois dias de campo em produção sustentável de carvão vegetal (Figuras 6, 7 e 8), ocorridos até início de março/2020.



Figura 6. Primeiro curso teórico-prático em produção sustentável de carvão vegetal ocorrido entre 05 à 07/02/2020.



Figura 7. Primeiro dia de campo em produção sustentável de carvão vegetal ocorrido entre 10/02/2020.



Figura 8. Segundo dia de campo em produção sustentável de carvão vegetal ocorrido em 03/03/2020.

As atividades para o processo de carbonização ocorreram seguindo as orientações contidas na cartilha de operação do Sistema fornos-fornalha (Produção sustentável de carvão vegetal: manual de operação de sistema fornos-fornalha / Ministério do Meio Ambiente ... [et al.]. – Brasília, DF: MMA, 2019), e na dissertação de Oliveira, Aylson Costa. Sistema forno-fornalha para produção de carvão vegetal. Viçosa, MG, 2012, com as seguintes atividades:

Carregamento do forno: Antes do carregamento do forno, procedeu-se à limpeza dos controladores de ar, dos ductos de condução dos gases, da fornalha e da chaminé. O carregamento do forno foi realizado manualmente, tendo a madeira sido posicionada verticalmente, até a altura de 1,1 m, esta madeira foi pesada para realizar o rendimento gravimétrico após o processo de carbonização, neste momento foi retirada amostras para determinação de umidade e cálculo de massa seca. Na parte superior do forno, a madeira foi colocada na posição horizontal, para redução de espaços vazios e melhor aproveitamento do espaço interno do forno. Após o carregamento do forno a porta foi fechada com tijolo maciço cerâmico e argamassa de solo argiloso, areia e água. Uma abertura de 30 cm de comprimento e 5 cm de espessura foi deixada na parte superior da porta, para ignição do forno.



Figura 9. Madeira de eucalipto spp. empilhada para fazer a carga do forno durante o curso teórico-prático em produção sustentável de carvão vegetal ocorrido entre 05 à 07/02/2020.



Figura 10. Madeira de eucalipto spp. sendo pesada para fazer a carga do forno durante o curso teórico-prático em produção sustentável de carvão vegetal ocorrido entre 05 à 07/02/2020.



Figura 11. Amostras de madeira de eucalipto spp. sendo retiradas para determinação da umidade da madeira e após cálculo da massa seca visando o rendimento gravimétrico da carbonização.



Figura 12. Forno sendo carregado durante o curso teórico-prático em produção sustentável de carvão vegetal ocorrido entre 05 à 07/02/2020.



Figura 13. Forno sendo carregado durante o curso teórico-prático em produção sustentável de carvão vegetal ocorrido entre 05 à 07/02/2020.



Figura 14. Forno sendo carregado durante o curso teórico-prático em produção sustentável de carvão vegetal ocorrido entre 05 à 07/02/2020.



Figura 15. Fechamento do forno durante o curso teórico-prático em produção sustentável de carvão vegetal ocorrido entre 05 à 07/02/2020.

Ignição e controle da carbonização: Durante a ignição do forno todos os controladores de ar e a guilhotina permaneceram abertos. O controle da carbonização foi realizado pelo monitoramento da temperatura, pelo controle da entrada de ar (oxigênio) para dentro do forno por meio da sua abertura ou do fechamento com tijolo e pela saída dos gases originários da degradação térmica da madeira pelo ducto de condução dos mesmos do forno para a fornalha. A temperatura do forno foi monitorada a partir dos quatro cilindros metálicos instalados, utilizando um pirômetro. De acordo com as temperaturas obtidas, principalmente na parte superior do forno, procedeu-se o fechamento ou a abertura das entradas de ar, e conseqüentemente, o controle da carbonização em função das faixas de degradação térmica da madeira, tendo como meta a temperatura máxima final de carbonização média de 450 °C, as imagens a seguir representa as operações realizadas durante o processo de carbonização.



Figura 16. Ignição do forno durante o curso teórico-prático em produção sustentável de carvão vegetal ocorrido entre 05 à 07/02/2020.



Figura 17. Ignição do forno durante o curso teórico-prático em produção sustentável de carvão vegetal ocorrido entre 05 à 07/02/2020.



Figura 18. Forno início de processo de carbonização durante o curso teórico-prático em produção sustentável de carvão vegetal ocorrido entre 05 à 07/02/2020.



Figura 19. Vedação dos dutos para não ocorrer entrada de ar por eles durante o processo de carbonização.



Figura 20. Verificação dos dutos, fornalha e fornos durante o processo de carbonização.



Figura 21. Observação da temperatura durante o processo de carbonização.



Figura 22. Redução da entrada de ar no tatu.



Figura 23. Chegada da frente de carbonização no tatu, durante o processo de carbonização.



Figura 24. Introdução de um vergalhão no tatu do forno, para verificar se processo de carbonização findou.

A carbonização foi realizada em todos os quatros fornos presentes no sistema, e a fornalha obteve funcionamento pleno durante todos os ciclos. Contudo alguns ciclos de carbonização foram superiores a cinco dias (Tabela 2), o recomendado para este tipo de sistema fornos-fornalha, devido principalmente das condições adversas e severas do clima, tendo intensas e constantes chuvas durante o período de carbonização.

Devido ao período chuvoso do final de 2019 a meados de março de 2020, as toras de madeiras utilizadas no enchimento dos fornos, estavam em condições de elevada umidade, o que veio a interferir na qualidade final do carvão vegetal, bem como no processo de carbonização e duração de seu ciclo. Como já era esperado a copa sempre manteve uma temperatura maior que as paredes em todos os fornos, variando entre 80 a 100°C (Tabela 3), o que já consta em literatura deste tipo de sistema, e pelo fato da carbonização ser de cima para baixo, e da frente para o fundo dos fornos.

Tabela 2: Representação das datas e suas atividades relacionadas ao sistema fornos-fornalha, bem como a duração de cada fase da carbonização.

Registro	Fornos			
Datas das Atividades nos fornos e fornalha	1	2	3	4
Ignição da fornalha	Sempre que necessário, geralmente pela manhã.			
Enchimento dos fornos	25/01/2020	01/02/2020	05/02/2020	01/03/2020
Ignição dos fornos	03/02/2020	05/02/2020	07/02/2020	02/03/2020
Secagem da madeira e fornos (antes de atingir a 1ª fase)	0 dia	1 dia	2 dias	3 dias
FASE 1	03/02/2020	07/02/2020	09/02/2020	06/03/2020
FASE 2	04/02/2020	08/02/2020	10/02/2020	07/03/2020
FASE 3	05/02/2020	09/02/2020	11/02/2020	08/03/2020
FASE 4	06/02/2020	10/02/2020	12/02/2020	09/03/2020
Fechamento de todos os tatus e da câmara de combustão	07/02/2020	11/02/2020	13/02/2020	10/03/2020
Resfriamento (<40°C)	3 dias	9 dias	7 dias	Já se encontra abaixo desse valor.
Abertura dos fornos	10/02/2020*	03/03/2020**	03/03/2020**	Ainda não aberto (devido ao Covid-19)
Descarregamento e pesagem do carvão vegetal	09/03/2020	10/03/2020	10/03/2020	-
Manutenção dos fornos	Se necessário antes e após da carbonização.			
Avaliação Umidade da Madeira no dia do enchimento dos fornos	25/01/2020	01/02/2020	05/02/2020	01/03/2020
Avaliação Umidade do Carvão vegetal, no dia da abertura	10/02/2020	03/03/2020	03/03/2020	Ainda não realizada (devido ao Covid-19)
Tipo de revestimento	Argamassa UFV	Argamassa UFV	Refragan-Refracast	Tradicional - Argila + silicato
Intensidade de chuva durante as fases de carbonização	Muita	Muita	Muita	Muita
Observação:	Durante a noite não houve medição da temperatura, e a fornalha logo pela manhã era abastecida com resíduos de madeira, se necessário. A medição da temperatura ocorreu de duas em duas horas, devido ao intenso período chuvoso durante os dias de carbonização dos 4 fornos. A madeira de todos os fornos estava fora do padrão de umidade ou diâmetro das toras, o que afetou os resultados obtidos, além do período chuvoso na região de Sete Lagoas, MG.			

* Primeiro dia de Campo. ** Segundo dia de Campo

Em relação à durabilidade da fornalha, a qual foi revestida externamente com o revestimento desenvolvido pela UFV e internamente por uma manta cerâmica, até o momento não foram observadas trincas ou rachaduras na sua estrutura externa. Deste modo, novas

avaliações ao longo do tempo são necessárias, de forma a acompanhar a durabilidade da fornalha, assim como dos fornos, este que possuem manutenções externas mais recorrentes e frequentes antes e após as carbonizações. A única ressalva é que, devido às chuvas intensas a noite, logo pela manhã era necessário realizar sua ignição, como já mencionado anteriormente.

Em relação às manutenções preventivas e corretivas dos fornos, estas ocorreram sempre que necessário, com intuito de manter e aumentar a vida útil do sistema, principalmente devido as intensas chuvas e por ser a primeira carbonização dos fornos, o que já se esperava uma manutenção mais recorrentes nas paredes e copas, bem como nas conexões entre fornalha e fornos. Após estas primeiras carbonizações, observou-se que o revestimento desenvolvido pela UFV foi o que apresentou melhor estabilidade (Tabela 3), tendo uma menor incidência de manutenções ao longo do período analisado, mesmo com a chuva presente, não afetando em grande escala a eficiência no processo de carbonização.

Já o revestimento desenvolvido pela empresa Refragan-Refracast, como o forno ficou um tempo superior exposto as condições ambientais até a primeira carbonização, mesmo lonado, o que fez com que o forno ficasse mais tempo até atingir a Fase I por completa, o mesmo pôde ser observado no forno de argila e silicato, contudo este ainda teve um tempo superior até atingir a fase 1 por completa, e além disso sua porta no primeiro dia de carbonização veio a ceder, devido às fortes chuvas, o que precisou refaze-la de forma rápida e segura, a fim de não aumentar ainda mais o ciclo de carbonização deste forno (Tabela 3).

Além disso, foram necessárias mais manutenções nestes dois revestimentos, quando comparado ao revestimento desenvolvido pela UFV, tendo maior ocorrência de trincas e rachaduras nas paredes e copa dos fornos, exigindo maior atenção quando os fornos ficam desativados. Portanto, considerando-se o fato de as fases das carbonizações terem ocorrido em período de intensas chuvas, a manutenção constante dos revestimentos foi fundamental para seu sucesso e a gerar carvão vegetal de forma sustentável e com qualidade agregada, mesmo que em condições adversas.

Tabela 3: Representação da escala temporal com relação às fases da carbonização dos quatros fornos, a temperatura que se encontrava na parede e copa, com intuito de avaliar a duração dos ciclos de carbonização de cada forno.

Forno 1													
Etapas da carbonização	Temperatura (°C)												Datas das fases
	08:00		10:00		12:00		14:00		16:00		18:00		
Local aferido (média)	Copa	Parede	Copa	Parede	Copa	Parede	Copa	Parede	Copa	Parede	Copa	Parede	
Secagem dos fornos	50.0	33.0	65.0	40.0	75.0	46.0	90.0	57.0	100.0	60.0	130.0	88.0	03/02/2020
Fase 1	120.0	90.0	136.0	92.0	150.0	100.0	165.0	103.0	185.0	127.0	177.0	148.0	04/02/2020
Fase 2	196.0	145.0	210.0	155.0	230.0	175.0	254.0	184.0	280.0	190.0	275.0	197.0	05/02/2020
Fase 3	285.0	200.0	290.0	210.0	310.0	225.0	330.0	240.0	346.0	255.0	350.0	260.0	06/02/2020
Fase 3/4	348.0	250.0	360.0	257.0	370.0	268.0	380.0	289.0	400.0	298.0	395.0	285.0	07/02/2020

Forno 2													
Etapas da carbonização	Temperatura (°C)												Datas das fases
	08:00		10:00		12:00		14:00		16:00		18:00		
Local aferido (média)	Copa	Parede	Copa	Parede	Copa	Parede	Copa	Parede	Copa	Parede	Copa	Parede	
Ignição e secagem	-	-	-	-	28.0	20.0	38.0	24.0	45.0	28.4	50.0	30.0	05/02/2020
Secagem dos fornos	45.0	25.0	60.0	35.0	70.0	45.0	88.0	50.0	97.6	65.0	120.0	75.0	06/02/2020
Fase 1	115.0	70.0	140.0	90.0	155.0	100.0	160.0	103.0	180.0	133.0	175.0	150.0	07/02/2020
Fase 2	200.0	160.0	225.0	167.0	245.0	170.0	250.0	178.0	264.0	185.0	270.0	190.0	08/02/2020

Fase 3	285.0	200.0	290.0	210.0	299.0	214.0	315.0	230.0	320.0	235.0	335.0	240.0	09/02/2020
Fase 3/4	335.0	240.0	350.0	265.0	355.0	266.0	359.0	266.0	366.0	270.0	368.0	274.0	10/02/2020
Forno 3													
Etapas da carbonização	Temperatura (°C)												Datas das fases
	08:00		10:00		12:00		14:00		16:00		18:00		
Local aferido (média)	Copa	Parede	Copa	Parede	Copa	Parede	Copa	Parede	Copa	Parede	Copa	Parede	
Secagem dos fornos	-	-	30.0	25.0	38.0	25.0	44.0	30.0	48.0	36.0	50.00	40.00	07/02/2020
Secagem dos fornos	55.0	40.0	57.0	38.0	60.0	40.0	70.0	42.0	73.0	45.0	80.0	58.0	08/02/2020
Fase 1	90.0	64.0	95.0	68.0	102.0	74.0	110.0	78.0	118.0	85.0	130.0	95.0	09/02/2020
Fase 2	140.0	100.0	145.0	104.0	150.0	108.0	158.0	113.0	166.6	120.0	188.0	127.0	10/02/2020
Fase 3	200.0	135.0	214.0	144.0	235.0	151.0	253.0	158.0	265.0	163.0	278.0	170.0	11/02/2020
Fase 3/4	300.0	176.0	304.0	186.0	326.0	198.0	330.0	200.0	345.0	224.0	354.0	245.0	12/02/2020
Forno 4													
Etapas da carbonização	Temperatura (°C)												Datas das fases
	08:00		10:00		12:00		14:00		16:00		18:00		
Local aferido (média)	Copa	Parede	Copa	Parede	Copa	Parede	Copa	Parede	Copa	Parede	Copa	Parede	
Ignição e secagem	-	-	-	-	-	-	-	-	30.00	24.00	33.00	25.00	02/03/2020
Ignição e secagem	34.00	25.00	37.00	25.00	39.00	26.00	43.00	29.00	46.00	34.00	55.00	36.00	03/03/2020
Secagem dos fornos	50.0	36.0	60.0	40.0	69.0	43.0	78.0	45.0	86.0	52.0	95.0	56.0	04/03/2020

Secagem dos fornos	102.0	60.0	112.0	73.0	135.0	80.0	146.0	93.0	150.0	98.0	155.0	98.0	05/03/2020
Fase 1	150.0	95.0	156.0	102.0	167.0	106.0	180.0	110.0	183.0	123.0	183.0	128.0	06/03/2020
Fase 2	190.0	134.0	199.0	138.0	208.0	146.0	215.0	155.0	226.0	160.0	237.0	178.0	07/03/2020
Fase 3	247.0	197.0	264.0	201.0	275.0	214.0	297.0	224.0	312.0	233.0	336.0	247.0	08/03/2020
Fase 3/4	338.0	249.0	347.0	257.0	360.0	263.0	371.0	277.0	369.0	289.0	374.0	299.0	09/03/2020

* As fases do processo de carbonização foram realizadas seguindo as instruções contidas na cartilha de Produção sustentável de carvão vegetal: manual de operação de sistema fornos-fornalha / Ministério do Meio Ambiente ... [et al.]. – Brasília, DF: MMA, 2019, em sua página 37.

Com relação ao forno 1, todo seu controle e avaliação do ciclo da temperatura nas quatro fases foi realizado pelos instrutores da UFV, a fim de realizar o treinamento de todos que estavam acompanhando o curso teórico/prático. Contudo, foi o forno com maior temperatura em todas as fases (Tabela 3), pelo fato de estar mais seco (parede e copa). Assim, conclui-se que foi o forno menos problemático, e o que continha a média da umidade da madeira no intervalo adequado para a carbonização, < 40°C, porém com toras em sua maioria de maior diâmetro, que o desejável, ou seja, maior que 20cm. Já o forno 2, teve problemas com relação a chuva intensa, contudo o revestimento suportou bem a variação de temperatura externa e interna ao forno, em que após aquecido respondeu bem a carbonização, contudo a umidade média das toras passaram de 60%, interferindo negativamente no tempo do ciclo de carbonização e qualidade do carvão vegetal.

O forno 3, também teve comportamento atípico, principalmente devido ao revestimento, pois, o mesmo aquecia e liberava vagarosamente a umidade das paredes e copa devido as intensas chuvas, mesmo em dias que não ocorreu a chuva. Isto, demandou inúmeras manutenções ao seu revestimento, prejudicando negativamente as fases da carbonização, sendo a fase 1 mais problemática, pois a madeira também com média de 60% de umidade, teve um longo período até atingir a fase 1 por completa e demais fases subsequentes, este forno foi o que atingiu as menores temperaturas em todas as fases (Tabela 3). Por fim, o forno 4, devido principalmente ao seu revestimento, tradicional, não suportar eficientemente as intensas chuvas, necessitando de uma manutenção constante. Também necessitou de um maior tempo até atingir a fase 1 da carbonização.

Outro fator importante a ser destacado, é o fato de que o recomendado pela literatura, contido na cartilha, Produção sustentável de carvão vegetal: manual de operação de sistema fornos-fornalha / Ministério do Meio Ambiente, referente as temperaturas bases de cada fase da carbonização, fica entre: fase 1 (150 a 180°C), fase 2 (até 270°C), fase 3 (entre 300 a 350°C) e fase 4 (350 a 450°C). Contudo como pode ser observado na tabela 2, os fornos não atingiram temperatura superiores a 410 °C, em sua última fase 4, porém, além da avaliação da temperatura durante a carbonização, existe a introdução de um vergalhão nos tatus dos fornos, o forno estando na sua última fase de carbonização, o vergalhão já penetrava com facilidade, o que indica que o processo de carbonização findou, estando estes pontos de observação prontos para serem fechados. Ou seja, todos os fornos ficaram de cinco a oito dias em carbonização, o que evidencia que o ciclo para formação de carvão vegetal foi cumprido, mesmo não atingido o máximo da temperatura correspondente da fase 4 de 450°C, por isso de todos os fornos em sua última fase á uma junção da fase 3 e 4, tabela 2, contudo o carvão vegetal já estava formado e os fornos pronto para o fechamento, a fim de evitar perda no rendimento e formação de cinzas.

Combustão dos gases da carbonização na fornalha: Após a ignição do forno realizou-se o acendimento da fornalha, que estava abastecida com resíduos lignocelulósicos. Abastecimentos posteriores foram necessários para manter a chama acesa e elevar a temperatura na fornalha. Quando os gases gerados durante a carbonização da madeira no forno atingiram $\pm 120^{\circ}\text{C}$, o abastecimento da fornalha com resíduos foi suspenso, pois os gases gerados foram capazes de manter a combustão. Deste momento até próximo ao fim da carbonização, quando ocorreu a diminuição no volume de gases liberados, a chama dentro da câmara de combustão da fornalha permaneceu acesa. Para controle da combustão de gases na fornalha, a abertura de alimentação e entrada de ar permaneceu parcialmente fechada com tijolo maciço cerâmico, para reduzir a entrada de oxigênio, mantendo a queima mais lenta, e obter uma combustão completa. Os tijolos foram retirados somente no momento do abastecimento da fornalha com resíduos.



Figura 25. Fornalha funcionando durante o processo de carbonização.

Resfriamento dos fornos: Ao final do processo de carbonização, quando o volume de gases e a temperatura interna do forno diminuía, procedeu-se seu fechamento total, para início da etapa de resfriamento. A vedação total do forno foi realizada, fechando-se os controladores de ar e descendo a guilhotina até ao nível do solo, evitando a entrada de oxigênio para o interior do forno. O resfriamento do forno foi natural, não utilizando nenhum procedimento para redução do tempo

dessa etapa. Durante o resfriamento, as temperaturas internas do forno foram obtidas a partir dos oito cilindros de medição, por meio do uso de medidor infravermelho de temperatura.

Abertura, descarregamento do forno e rendimento gravimétrico da carbonização: Até o final de fevereiro/2020, as etapas de abertura, descarregamento do forno e rendimento gravimétrico da carbonização, ainda não tinham sido executadas devido às fortes chuvas na mesorregião onde foi instalado o sistema fornos-fornalha, atrasando assim estas atividades. No período de 02/03/2020 a 27/03/2020, os fornos foram descarregados, pois teve-se condições climáticas para tal. As informações a seguir referem-se à abertura e descarregamento dos fornos e cálculo do rendimento gravimétrico. Após todo o processo de carbonização, realizou-se a descarga dos fornos (Figura 26) e obteve-se o rendimento gravimétrico da carbonização, por meio da relação da massa seca do carvão e massa seca de madeira, dado em percentual.



Figura 26. Descarga dos fornos após o processo de carbonização.

O rendimento gravimétrico é influenciado por vários fatores, entre eles, os parâmetros do processo e condução da carbonização e a qualidade da madeira enforada. Os fornos no qual ocorreu a carbonização da madeira para esta pesquisa possuem diferentes revestimentos, além disto, o período em que ocorreu o processo foi de chuvas intensas, o que provocou uma variação do tempo de carbonização de cada forno (Tabela 4).

Foi encontrada uma variação de rendimento entre 18% e 34%, com a média entre os valores de rendimento gravimétrico entre os três fornos de 26%. Exceção do forno 4, que não foi possível finalizar as coletas de dados, devido a paralização das atividades devido ao coronavirus. O primeiro forno obteve rendimento gravimétrico de 34%, a madeira enfiada possuía a menor umidade (31,2%), maior densidade (0,677 g/cm³) e o processo de carbonização foi conduzido pela equipe técnica da UFV, com o acompanhamento da equipe técnica da UFSJ e participantes do curso teórico/prático em produção sustentável de carvão vegetal. O segundo forno, a umidade da madeira (63,4%) foi superior ao do primeiro, a densidade (0,491 g/cm³) inferior, sendo o processo de carbonização iniciado pela equipe técnica da UFV e findado pela equipe técnica da UFSJ. O terceiro forno com umidade da madeira de maior valor (65.1%), pois a madeira ficou exposta por um tempo superior no pátio, densidade também de 0,491 g/cm³ e com maior tempo de carbonização, pois o termómetro laser digital infravermelho estragou durante o final de semana, ficando a condução do processo de carbonização de forma empírica, assim contribuindo para a queda do rendimento gravimétrico da carbonização, desta forma fica evidente a necessidade do acompanhamento da temperatura por meio de um termómetro laser digital infravermelho durante o processo de carbonização, como também o treinamento dos operadores para a boa condução do processo de carbonização.

Tabela 4: Valores médios de tempo de carbonização, Dados de pesagem e cálculo de rendimento gravimétrico do carvão.

Forno	T.C (horas)	D.M (cm)	U.M (%)	U.C (%)	RG (%)	DB (g/cm ³)
1	98 hs	16.5	31.2	5.7	34.00	0,677
2	98 hs	9.59	63.4	6.2	25.00	0.491
3	123 hs	9.91	65.1	20.1	18.00	0.491
4	-	8.64	-	-	-	-

D.M: Diâmetro médio da madeira, U.M: Umidade média da madeira; U.C: Umidade média do carvão; RG: Rendimento gravimétrico da carbonização.

Ressalta-se que estas foram as primeiras carbonizações destes fornos e que a equipe que está operando os fornos também está em processo de aprendizagem/treinamento, assim, espera-se que com novos processos de carbonizações e com condições climáticas adequadas ao processo de carbonização, que este obtenha melhores resultados. Essa melhora nos resultados é esperada

pois é muito comum em sistemas de carbonização convencionais que fornos recém construídos e na primeira marcha de carbonização, obterem resultados mais baixos daqueles encontrados em fornos já em trabalho há mais tempo. Essa constatação se deve a diversos fatores como, umidade do próprio forno, pequenos vazamentos que são debelados por meio da impregnação do alcatrão e defeitos na execução da barreira que só são detectados com saída da fumaça.

Observações aprendidas durante o treinamento e que devem ser observadas em todos os ciclos de carbonização:

- a) O processo de carbonização ocorre da porta para o fundo do forno, pois caso contrário ocorre a requeima do carvão.
- b) O ideal é abrir os tatus de forma homogênea, ou seja, dos dois lados, mas sempre observando o andamento do processo de carbonização, pois um lado pode carbonizar antes que o outro (entrada diferente de ar, devido ao posicionamento do forno no campo, direção do vento), então é muito importante o controle da entrada de ar.
- c) Jamais fechar a válvula borboleta por completo e abrir os tatus, pois pode aumentar a pressão dentro do forno e causar danos estruturais e até mesmo explosões.
- d) A utilização do termômetro laser digital infravermelho é importante não somente para o acompanhamento do processo de carbonização mas também durante o período que o carvão fica estocado no pátio, para verificar a temperatura do carvão.
- e) Todos os dias pela manhã verificar a temperatura dos fornos, se estes permanecem dentro da curva de carbonização (cartilha), utilizar a sonda metálica (vergalhão) para verificar se o forno está todo carbonizado. Fechar o tatu quando a sonda for introduzida pelo menos um metro no forno, conferir se os dutos estão bem vedados, para que não tenha entrada de ar e isto impacte na produção de carbonização; nunca abrir a fornalha com o operador na frente dela, para evitar acidentes.

3. Relação custo-benefício, considerando aspectos de durabilidade do sistema, adequação e disponibilidade dos materiais utilizados, vedação, eficiência da fornalha/chaminé do sistema forno-fornalha adaptado às condições da mesorregião onde foi instalado.

3.1. Introdução

O Brasil é o maior produtor mundial de carvão vegetal, chegando à marca de mais de 5,2 milhões de toneladas produzidas e consumidas no ano de 2017, esta produção teve um aumento 18,9% de 2017 para 2018, segundo a Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (Pevs). O estado de Minas Gerais dono da maior demanda no país, teve aumento de 45,7% no valor de produção. O carvão vegetal representa 8% de toda a matriz energética do país. A indústria siderúrgica destaca-se consumindo mais de 90% de toda a produção nacional de carvão vegetal. E é neste ponto que identificasse os desafios e oportunidades do setor. (INFLOR 2019).

A produção do carvão vegetal é realizada em carvoarias, onde são executadas as atividades produtivas desde o recebimento da madeira até o despacho do carvão. Todavia, no Brasil a maior parte de sua produção ainda se restringe aos fornos tradicionais de séculos atrás, (PINHEIRO et al., 2006), apresentando problemas ambientais (SANTOS; HATAKEYAMA, 2012; BAILIS et al., 2013) e sociais (KATO et al., 2005; MEIRA et al., 2005; PIMENTA et al., 2006).

Tratando – se de tipos de fornos, onde há grande dificuldade no controle das emissões de gases poluentes, afetando toda a unidade de produção e áreas vizinhas. Ressaltando que o controle da carbonização baseia-se em fatores subjetivos, tais como coloração da fumaça e temperatura externa do forno sentida pelo tato das mãos (ARRUDA et al., 2011).

No aspecto ambiental, é necessário que haja a preocupação com a preservação do meio ambiente e, no aspecto social, que as condições de trabalho inadequadas sejam eliminadas do processo, contribuindo para a melhoria do desempenho técnico e ambiental do empreendimento. (Silva et al. 2013).

Na busca por processos sustentáveis e crescimento tecnológico na produção e uso de carvão vegetal na indústria, afim de colaborar para a preservação ambiental e garantir condições de trabalho salubres, estudos estão sendo realizados visando tecnologias de baixo custo de aquisição e que aumentem o rendimento da produção, além de recuperarem ou queimarem os gases da carbonização através de fornalhas acopladas aos fornos de alvenaria, reduzindo a poluição, para pequenos produtores de carvão vegetal e empresas de menor porte.

Porem para que esses pequenos e médios produtores aceitem e disseminem a implantação dessa nova tecnologia em seu processo de produção, além dos benefícios técnicos e ambientais já prescritos, é necessário que a inovação seja economicamente viável.

A análise econômica de um investimento envolve é uma avaliação da rentabilidade e lucratividade do desempenho da empresa comparando os custos e as receitas provindas do projeto, visando decidir se ele deve ou não ser implementado.

O objetivo é analisar a viabilidade econômica da produção de carvão vegetal a partir de custos de construção, operação e manutenção em fornos do tipo “rabo quente” os quais não possuem sistema de queima de gases, e em fornos de superfície acoplados à fornalha para queima de gases (sistema fornos-fornalha).

3.2. Análise Financeira

A avaliação financeira de projetos é baseada no fluxo de caixa, ou seja, nos custos e nas receitas distribuídas ao longo da vida útil do empreendimento.

A confecção do fluxo foi realizada com os custos do projeto e a receita definida pelo preço do carvão vegetal. Com o fluxo de caixa obtido, os dados foram processados utilizando-se planilhas do Microsoft Excel[®], versão 2016. O horizonte de planejamento utilizado foi de 12 anos.

Para essa avaliação, foram calculados os Benefícios Periódicos Equivalentes (BPE), que são as parcelas periódicas e constantes necessárias ao pagamento de uma quantia igual ao Valor Presente Líquido (VPL) da opção de investimento em análise, ao longo de sua vida útil. Dito de outra forma, o BPE transforma o valor atual do projeto ou o seu VPL em fluxo de receitas ou custos periódicos em contínuos, equivalentes ao valor atual, durante a vida útil do projeto. Será considerado economicamente viável se o projeto apresentar BPE positivo, indicando que os benefícios são maiores que os custos periódicos.

O cálculo do BPE foi feito por meio da fórmula (REZENDE; OLIVEIRA, 2013):

$$BPE = \frac{VPL[(1+i)^t - 1] \cdot (1+i)^{nt}}{(1+i)^{nt} - 1}$$

Em que:

VPL = Valor Presente Líquido

i = taxa de desconto (mensal);

n = duração do projeto (em meses);

t = número de períodos de capitalização.

O VPL é definido como o somatório dos valores presentes dos fluxos estimados de uma aplicação, calculados a partir de uma taxa dada e de seu período de duração.

Para calcular o VPL utiliza-se a seguinte fórmula (REZENDE; OLIVEIRA, 2011):

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{R_j}{(1+i)^j} - \sum_{j=1}^n \frac{C_j}{(1+i)^j}$$

em que:

R_j = Receitas no período j;

C_j = Custos no período j;

j = período de ocorrência de R_j e C_j;

i = taxa de desconto;

n = duração do projeto (em anos);

3.3. Resultados e discussão

Na tabela 5 e 6 estão os custos relativos aos custos de construção, manutenção e operação do Sistema Forno-Fornalha (UFV) e custos de construção, manutenção e operação do Sistema “Rabo-Quente” respectivamente, segundo as condições prescritas.

Tabela 5: Custos de construção, manutenção e operação do Sistema Forno-Fornalha (UFV)

FORNO - FORNALHA

Tipo	Descrição	Frequência de substituição	Qtde.	Valor un.	Total
Construção	Tijolos Forno	6 y	13580	R\$ 0.16	R\$ 2,172.80
Construção	Tijolos Fornalha	6 y	1000	R\$ 0.16	R\$ 160.00
Construção	Tijolos Chamine	6 y	1380	R\$ 0.16	R\$ 220.80
Construção	Tijolos Conexão	6 y	700	R\$ 0.16	R\$ 112.00
Construção	Manta Cerâmica	6 y	5	R\$ 40.00	R\$ 200.00
Construção	Cinta metalica para os fornos	6 y	4	R\$ 17.95	R\$ 71.80
Construção	Roscas e porcas	6 y	4	R\$ 2.80	R\$ 11.20
Construção	Cinta metalica para os fornalha	6 y	1	R\$ 4.50	R\$ 4.50
Construção	Roscas e porcas	6 y	1	R\$ 2.80	R\$ 2.80
Construção	Barra de ferro rosqueada	6 y	5	R\$ 4.00	R\$ 20.00
Construção	Cantoneira	6 y	4	R\$ 10.00	R\$ 40.00
Construção	Chapas metalicas das conexoes	6 y	4	R\$ 60.00	R\$ 240.00
Construção	Medidor de temperatura inf. Ver.	2 y	1	R\$ 210.00	R\$ 210.00
Construção	Poços metalicos	6 y	32	R\$ 10.00	R\$ 320.00
Construção	Mão de obra dia (pedreiro e ajudante)	6 y	4	R\$ 150.00	R\$ 600.00
Construção	Tubos e cilindros metalicos, valvulas borboleta	2 y	1	R\$ 200.00	R\$ 200.00
Construção	Chapeu Chines	2 y	1	R\$ 250.00	R\$ 250.00
Construção e Manutenção	Colher de pedreiro	2 y	1	R\$ 5.90	R\$ 5.90
Construção e Manutenção	Enxada	2 y	1	R\$ 25.00	R\$ 25.00
Construção e Manutenção	Rastelo	2 y	1	R\$ 20.00	R\$ 20.00
Construção e Manutenção	Machado	2 y	1	R\$ 101.00	R\$ 101.00
Construção e Manutenção	Carrinho de mão	2 y	1	R\$ 86.00	R\$ 86.00
Construção e Manutenção	Pá	2 y	1	R\$ 18.90	R\$ 18.90
Construção e Manutenção	Lona (400 metros)	1 y	1	R\$ 300.00	R\$ 300.00
Construção e Manutenção	Trena	1 y	1	R\$ 19.91	R\$ 19.91
Construção e Manutenção	Serrote aço	1 y	1	R\$ 27.85	R\$ 27.85
Construção e Manutenção	Extensão elétrica 5m	1 y	1	R\$ 19.90	R\$ 19.90
Construção e Manutenção	Facão	1 y	1	R\$ 21.00	R\$ 21.00
Construção e Manutenção	Carrinho de mão para transporte	1 y	1	R\$ 160.20	R\$ 160.20
Construção e Manutenção	Garrafa 1L silicato	1 y	6	R\$ 24.00	R\$ 144.00
Construção e Manutenção	Motoserra	2 y	1	R\$ 396.99	R\$ 396.99
EPI	Luvas de borracha	1 y	6	R\$ 6.90	R\$ 41.40
EPI	Capacete	1 y	6	R\$ 9.00	R\$ 54.00
EPI	Máscara de segurança	1 y	6	R\$ 4.30	R\$ 25.80
EPI	Protetor auditivo silicone	1 y	6	R\$ 0.65	R\$ 3.90
EPI	Botina bico de aço	1 y	6	R\$ 48.50	R\$ 291.00
EPI	Capa de chuva	1 y	3	R\$ 22.90	R\$ 68.70
EPI	Luva de resistência térmica	1 y	3	R\$ 21.90	R\$ 65.70
EPI	Luva de vaqueiro	1 y	6	R\$ 12.20	R\$ 73.20
EPI	Óculos de proteção	1 y	6	R\$ 3.62	R\$ 21.72
Escritório	Mesa	6 y	1	R\$ 189.00	R\$ 189.00
Escritório	Cadeiras	6 y	3	R\$ 80.00	R\$ 240.00
Escritório	Computador	6 y	1	R\$ 1,200.00	R\$ 1,200.00
Escritório	Armário	6 y	1	R\$ 367.00	R\$ 367.00
Escritório	Lixeira 50 L	6 y	2	R\$ 198.00	R\$ 396.00

Escritório	Lixeira 20 L	6 y	1	R\$	59.12	R\$	59.12
Operação	Fornista (1)	mensal				R\$	2,500.00
Operação	Auxiliar (2)	mensal				R\$	3,015.81
Operação	Carregador (2)	mensal				R\$	3,015.81

y = anos.Referência: Instalação do sistema na UFSJ/Sete Lagoas (Projeto Siderurgia Sustentável (ONU/PNUD/UFV/UFSJ)).

* Inclui-se encargos: 13º, Férias e Alimentação

Tabela 6: Custos de construção, manutenção e operação do Sistema “Rabo-Quente”

RABO-QUENTE							
Tipo	Descrição	Frequência de substituição	Qtde.	Valor un.	Total		
Construção	Tijolo barro queimado (4 fornos)	2 y	10000	R\$	0.16	R\$	1,600.00
Construção	Areia (m)	2 y	2.5	R\$	540.00	R\$	1,350.00
Construção	Mão de obra (pedreiro + ajudante)	2 y	4	R\$	150.00	R\$	600.00
Construção e Manutenção	Carrinho de mão	2 y	1	R\$	86.00	R\$	86.00
Construção e Manutenção	Balde 20 L	2 y	2	R\$	21.00	R\$	42.00
Construção e Manutenção	Colher de pedreiro	2 y	1	R\$	5.90	R\$	5.90
Construção e Manutenção	Pá	2 y	1	R\$	18.90	R\$	18.90
Construção e Manutenção	Enxada	2 y	1	R\$	25.00	R\$	25.00
Construção e Manutenção	Rastelo	2 y	1	R\$	20.00	R\$	20.00
Construção e Manutenção	Pincel	2 y	1	R\$	5.40	R\$	5.40
Construção e Manutenção	Martelo	2 y	1	R\$	16.00	R\$	16.00
Construção e Manutenção	Mangueira de nível	2 y	1	R\$	18.91	R\$	18.91
Construção e Manutenção	Nível de pedreiro	2 y	1	R\$	20.98	R\$	20.98
Construção e Manutenção	Trena	1 y	1	R\$	19.90	R\$	19.90
Construção e Manutenção	Escada 2 m	2 y	1	R\$	117.00	R\$	117.00
Construção e Manutenção	Lona (50 m)	1 y	1	R\$	42.17	R\$	42.17
Construção e Manutenção	Fio de nylon	1 y	2	R\$	7.20	R\$	14.40
Construção e Manutenção	Picareta	2 y	1	R\$	45.00	R\$	45.00
Construção e Manutenção	Serrote de aço	2 y	1	R\$	27.85	R\$	27.85
Construção e Manutenção	Extensão elétrica 5m	1 y	1	R\$	19.90	R\$	19.90
Construção e Manutenção	Facão	1 y	1	R\$	21.00	R\$	21.00
Construção e Manutenção	Carrinho de mão para transporte	1 y	1	R\$	160.20	R\$	160.20
Construção e Manutenção	Garrafa 1L silicato	1 y	4	R\$	24.00	R\$	96.00
Construção e Manutenção	Motoserra	2 y	1	R\$	396.99	R\$	396.99
EPI	Luvas de borracha	1 y	12	R\$	6.90	R\$	82.80
EPI	Capacete	1 y	6	R\$	9.00	R\$	54.00
EPI	Máscara de segurança	1 y	6	R\$	4.30	R\$	25.80
EPI	Protetor auditivo silicone	1 y	12	R\$	0.65	R\$	7.80
EPI	Botina bico de aço	1 y	6	R\$	48.50	R\$	291.00
EPI	Capa de chuva	1 y	3	R\$	22.90	R\$	68.70
EPI	Luva de resistência térmica	1 y	3	R\$	21.90	R\$	65.70
EPI	Luva de vaqueiro	1 y	6	R\$	12.20	R\$	73.20
EPI	Óculos de proteção	1 y	12	R\$	3.62	R\$	43.44
Escritório	Mesa	6 y	1	R\$	189.00	R\$	189.00
Escritório	Cadeiras	6 y	3	R\$	80.00	R\$	240.00
Escritório	Computador	6 y	1	R\$	1,200.00	R\$	1,200.00
Escritório	Armário	6 y	1	R\$	367.00	R\$	367.00
Escritório	Lixeira 50 L	6 y	2	R\$	198.00	R\$	396.00
Escritório	Lixeira 20 L	6 y	1	R\$	59.12	R\$	59.12

Operação	Fornista (1)	mensal	R\$ 2,500.00
Operação	Auxiliar (1)	mensal	R\$ 1,507.91
Operação	Carregador (2)	mensal	R\$ 3,015.81

y = anos. Referência: Manual de Construção e operação do Forno Rabo – Quente (CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais)

Variáveis de referência:

Parâmetros	Forno-Fornalha	Rabo Quente
Mão de obra suficiente para n fornos (média)	16	
Vida útil (anos)	6	2
Dias para a carbonização (queima + resfriamento)	8	6
RGCV (%)	32	25
Taxa de juros (%)	9.00% a.a. ou 0.7207% a.m.	
Preço da Lenha (m ³) posta na UPC – incluído transporte	R\$ 50.00	
Preço do Carvão Vegetal (mdc)	R\$ 175.00	

Referência	Consumo madeira (st)	
	Forno-Fornalha	Rabo Quente
Por forno	14.0	12.0
Por carbonização (4x)	56	48
Por mês (rendimento 80%)	168	192
Abastecimento da fornalha (por forno)	0.3175	0
Fator de conversão st para mdc	2.20	2.75

* Tempo de carregamento, manutenção e problemas técnicos ou ambientais – chuva). Faz perder 20% do tempo produtivo

Considerou-se um fator de conversão de estéreo de lenha (st) para m³ igual a 0.7, densidade média da madeira a ser carbonizada igual a 450 kg/m³ e densidade média do carvão produzido igual a 220 kg/m³.

Para abastecimento da fornalha, foi considerado o consumo de 100 kg de madeira por carbonização em cada forno. Logo, a fornalha consome 400 kg de madeira para cada ciclo de carbonização nos quatro fornos, o equivalente a 0.3175 st por forno (0.22225 m³).

3.4. Benefícios Periódicos Equivalentes (BPE)

- **Forno fornalha:**

BPE (R\$/planta/mês) – 16 fornos (4 sistemas)

R\$ 11,478.61

FORNO - FORNALHA

Mês	Custos Anuais		Custos Mensais		Custo Total	Receitas		R-C
1	R\$	13,059.40	R\$	42,915.10	R\$ 55,974.50	R\$	55,138.59	-R\$ 835.90
2	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
3	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
4	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
5	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
6	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
7	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
8	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
9	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
10	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
11	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
12	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
13	R\$	5,353.12	R\$	42,915.10	R\$ 48,268.22	R\$	55,138.59	R\$ 6,870.38
14	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
15	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
16	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
17	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
18	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
19	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
20	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
21	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
22	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
23	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
24	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
25	R\$	10,608.28	R\$	42,915.10	R\$ 53,523.38	R\$	55,138.59	R\$ 1,615.22
26	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
27	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
28	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
29	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
30	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
31	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
32	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
33	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
34	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
35	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
36	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
37	R\$	5,353.12	R\$	42,915.10	R\$ 48,268.22	R\$	55,138.59	R\$ 6,870.38
38	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
39	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
40	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
41	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50
42	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$ 42,915.10	R\$	55,138.59	R\$ 12,223.50

43	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
44	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
45	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
46	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
47	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
48	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
49	R\$	10,608.28	R\$	42,915.10	R\$	53,523.38	R\$	55,138.59	R\$	1,615.22
50	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
51	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
52	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
53	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
54	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
55	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
56	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
57	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
58	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
59	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
60	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
61	R\$	5,353.12	R\$	42,915.10	R\$	48,268.22	R\$	55,138.59	R\$	6,870.38
62	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
63	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
64	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
65	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
66	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
67	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
68	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
69	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
70	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
71	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
72	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
73	R\$	13,059.40	R\$	42,915.10	R\$	55,974.50	R\$	55,138.59	-R\$	835.90
74	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
75	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
76	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
77	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
78	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
79	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
80	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
81	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
82	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
83	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
84	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
85	R\$	5,353.12	R\$	42,915.10	R\$	48,268.22	R\$	55,138.59	R\$	6,870.38
86	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
87	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50

133	R\$	5,353.12	R\$	42,915.10	R\$	48,268.22	R\$	55,138.59	R\$	6,870.38
134	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
135	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
136	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
137	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
138	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
139	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
140	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
141	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
142	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
143	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50
144	R\$	-	R\$	42,915.10	R\$	42,915.10	R\$	55,138.59	R\$	12,223.50

- **Rabo quente:**

BPE (R\$/planta/mês) – 16 fornos (4 sistemas)

R\$ 2,355.20

RABO-QUENTE										
Mês	Custos Anuais		Custos Mensais		Custo Total	Receitas	R-C			
1	R\$	7,933.06	R\$	45,447.72	R\$	53,380.78	R\$	48,139.16	-R\$	5,241.62
2	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
3	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
4	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
5	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
6	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
7	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
8	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
9	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
10	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
11	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
12	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
13	R\$	1,086.01	R\$	45,447.72	R\$	46,533.73	R\$	48,139.16	R\$	1,605.43
14	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
15	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
16	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
17	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
18	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
19	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
20	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
21	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
22	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
23	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
24	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
25	R\$	5,481.94	R\$	45,447.72	R\$	50,929.66	R\$	48,139.16	-R\$	2,790.50

26	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
27	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
28	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
29	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
30	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
31	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
32	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
33	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
34	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
35	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
36	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
37	R\$	1,086.01	R\$	45,447.72	R\$	46,533.73	R\$	48,139.16	R\$	1,605.43
38	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
39	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
40	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
41	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
42	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
43	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
44	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
45	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
46	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
47	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
48	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
49	R\$	5,481.94	R\$	45,447.72	R\$	50,929.66	R\$	48,139.16	-R\$	2,790.50
50	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
51	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
52	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
53	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
54	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
55	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
56	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
57	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
58	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
59	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
60	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
61	R\$	1,086.01	R\$	45,447.72	R\$	46,533.73	R\$	48,139.16	R\$	1,605.43
62	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
63	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
64	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
65	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
66	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
67	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
68	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
69	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
70	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44

71	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
72	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
73	R\$	7,933.06	R\$	45,447.72	R\$	53,380.78	R\$	48,139.16	-R\$	5,241.62
74	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
75	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
76	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
77	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
78	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
79	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
80	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
81	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
82	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
83	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
84	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
85	R\$	1,086.01	R\$	45,447.72	R\$	46,533.73	R\$	48,139.16	R\$	1,605.43
86	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
87	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
88	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
89	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
90	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
91	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
92	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
93	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
94	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
95	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
96	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
97	R\$	5,481.94	R\$	45,447.72	R\$	50,929.66	R\$	48,139.16	-R\$	2,790.50
98	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
99	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
100	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
101	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
102	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
103	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
104	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
105	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
106	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
107	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
108	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
109	R\$	1,086.01	R\$	45,447.72	R\$	46,533.73	R\$	48,139.16	R\$	1,605.43
110	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
111	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
112	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
113	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
114	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
115	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44

116	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
117	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
118	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
119	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
120	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
121	R\$	5,481.94	R\$	45,447.72	R\$	50,929.66	R\$	48,139.16	-R\$	2,790.50
122	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
123	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
124	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
125	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
126	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
127	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
128	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
129	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
130	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
131	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
132	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
133	R\$	1,086.01	R\$	45,447.72	R\$	46,533.73	R\$	48,139.16	R\$	1,605.43
134	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
135	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
136	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
137	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
138	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
139	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
140	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
141	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
142	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
143	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44
144	R\$	-	R\$	45,447.72	R\$	45,447.72	R\$	48,139.16	R\$	2,691.44

Para que seja considerado viável, o BPE deve ser maior que zero. Tendo em vista quanto maior for seu valor, mais rentável será o investimento, observa-se em análise aos fluxos apresentado, BPE (R\$/planta/mês) R\$ 11.478,61 para o Sistema Forno-fornalha e BPE (R\$/planta/mês) R\$ 2.355,20 para o tipo Rabo – quente.

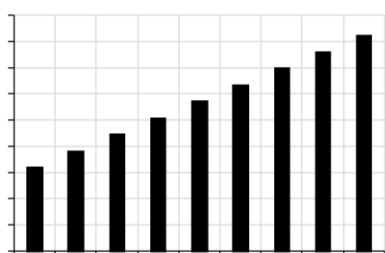
3.5. Análise de sensibilidade

Estando ciente da existência da volatilidade do retorno do investimento, como forma de minimizar as falhas dos métodos determinísticos de análise de investimentos, são realizadas análises de sensibilidade, as quais fornecem um intervalo de confiança aos resultados encontrados. (COPELAND; ANTIKAROV, 2002).

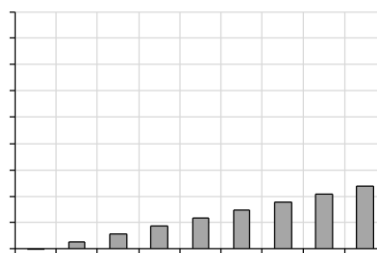
Variáveis de referência:

Parâmetros	Forno-Fornalha	Rabo Quente
Mão de obra suficiente para n fornos	Variável de 12 a 20	
Vida útil (anos)	6	2

Dias para a carbonização (queima + resfriamento)	8	6
RGCV (%)	32	25
Taxa de juros (%)	9.00% a.a. ou 0,7207% a.m.	
Preço da Lenha	R\$ 50,00	
Preço do Carvão Vegetal	R\$ 175,00	



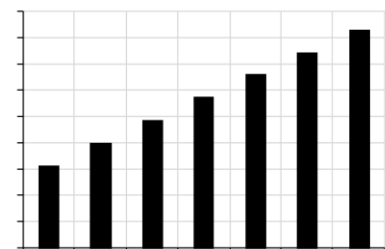
(a) Forno Fornalha



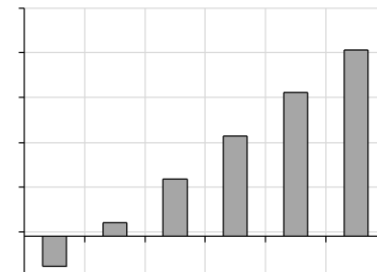
(b) Rabo quente

Variáveis de referência:

Parâmetros	Forno-Fornalha	Rabo Quente
Mão de obra suficiente para n fornos	16	
Vida útil (anos)	6	2
Dias para a carbonização (queima + resfriamento)	8	6
RGCV (%)	Variável de 29 a 35	Variável de 23 a 28
Taxa de juros (%)	9.00% a.a. ou 0,7207% a.m.	
Preço da Lenha	R\$ 50,00	
Preço do Carvão Vegetal	R\$ 175,00	



(a) Forno Fornalha

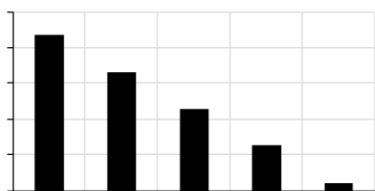


(b) Rabo quente

Variáveis de referência:

Parâmetros	Forno-Fornalha	Rabo Quente
------------	----------------	-------------

Mão de obra suficiente para n fornos	16	
Vida útil (anos)	6	2
Dias para a carbonização (queima + resfriamento)	8	6
RGCV (%)	32	25
Taxa de juros (%)	9.00% a.a. ou 0,7207% a.m.	
Preço da Lenha	Variável de R\$ 30,00 a R\$ 50,00	
Preço do Carvão Vegetal	R\$ 175,00	



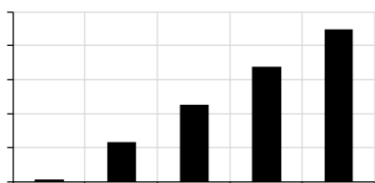
(a) Forno Fornalha



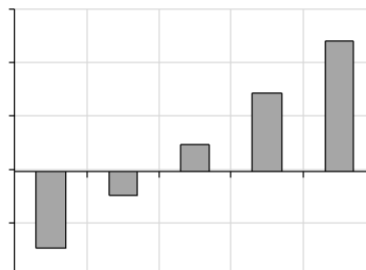
(b) Rabo quente

Variáveis de referência:

Parâmetros	Forno-Fornalha	Rabo Quente
Mão de obra suficiente para n fornos	16	
Vida útil (anos)	6	2
Dias para a carbonização (queima + resfriamento)	8	6
RGCV (%)	32	25
Taxa de juros (%)	9.00% a.a. ou 0,7207% a.m.	
Preço da Lenha	R\$ 50,00	
Preço do Carvão Vegetal	Variável de R\$ 140,00 a R\$ 210,00	



(a) Forno Fornalha



(b) Rabo quente

3.6. Análise de risco

A análise de risco inclui os riscos provocados por riscos ligados a retornos abaixo do esperado nas transações financeiras e nos investimentos.

Combinando todas as variações apresentadas:

Parâmetros	Forno-Fornalha	Rabo Quente
Mão de obra suficiente para n fornos	Variável de 12 a 20	
Vida útil (anos) - FIXO	6	2
Dias para a carbonização (queima + resfriamento)	8	6
RGCV (%)	Variável de 29 a 35	Variável de 24 a 30
Taxa de juros (%) - FIXO	9.00% a.a. ou 0,7207% a.m.	
Preço da Lenha	Variável de R\$ 30,00 a R\$ 50,00	
Preço do Carvão Vegetal	Variável de R\$ 140,00 a R\$ 210,00	

Simulações: n = 10.000

3.7. Conclusões

Existe uma probabilidade de 88% para o sistema Fornos-Fornalha e 66% para o sistema rabo quente de serem economicamente viáveis, dadas as oscilações das variáveis apresentadas.

A maior probabilidade de retorno no sistema fornos-fornalha está em entre 5 e 15 mil reais por mês e para o sistema rabo quente entre 0 e 5 mil por mês, para uma planta com média de 16 fornos e demais variáveis médias, apresentadas anteriormente

Destaca-se, além da viabilidade financeira do sistema forno-fornalha, a busca em tornar a produção do insumo mais sustentável, incentivar o aproveitamento de coprodutos, com consequente baixa emissão de poluentes, unindo esforços para a redução da emissão de gases de efeito estufa. Além das melhores condições salubres de trabalho e qualidade para a saúde humana. Aspectos aos quais não foram contabilizados neste trabalho.

3.8. Referências

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. Análise econômica e social de projetos florestais. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2011.

REZENDE, J. L.; FIEDLER, N. C.; MELLO, J. M.; SOUZA, A. P. Análise técnica e de custos de métodos de colheita e transporte florestal. Lavras: UFLA, 50p. (Boletim Agropecuário, 22) 1997.

COPELAND, T. E.; ANTIKAROV, V. Opções Reais: Um Novo Paradigma para Reinventar a Avaliação de Investimentos. Editora Campus, Rio de Janeiro, RJ, 2002.

SANTOS, S. F. O. M.; HATAKEYAMA, K. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. Produção, v.22, n.2, p.309-321, 2012.

PINHEIRO, P. C. C. A produção de carvão vegetal: teoria e prática. Belo Horizonte: Edição do

Autor, 2006

PIMENTA, A. S. et al. Avaliação do perfil dos trabalhadores e de condições ergonômicas na atividade de produção de carvão vegetal em bateria de fornos de superfície do tipo “rabo-quente”. Revista *Árvore*, v.30, n.5, p.779-785, 2006

ARRUDA, T. P. M.; PIMENTA, A. S.; VITAL, B. R.; LUCIA, R. M. D.; ACOSTA, F. C. Avaliação de duas rotinas de carbonização em fornos retangulares. Revista *Árvore*, Viçosa, MG, v. 35, n. 4, p. 949 - 955, 2011

CARDOSO, M. T.; DAMÁSIO, R. A. P.; CARNEIRO, A. C. O.; JACOVINE, L. A. G.; VITAL, B. R.; BARCELLOS, D. C. Construção de um sistema de queima de gases da carbonização para redução da emissão de poluentes. *Cerne*, Lavras, v. 16, Suplemento, p. 115 - 124, 2010.

OLIVEIRA, A.C; SALLES, T.T; PEREIRA, B.L.C; CARNEIRO, A.C.O; BRAGA, C.S; SANTOS, R.C. Viabilidade econômica da produção de Carvão Vegetal em dois sistemas produtivos. Revista *FLORESTA*, Curitiba, PR, v. 44, n. 1, p. 143 - 152, jan. / mar. 2014.

OLIVEIRA, J.B; GOMES, P.A. Manual de Construção e operação do Forno Rabo – Quente. CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1988. 64p.

4. Resultados da pesquisa sobre a adequação da estrutura do sistema fornos-fornalha à mesorregião onde foi instalada, considerando aspectos de durabilidade do sistema, adequação e disponibilidade dos materiais utilizados, vedação e eficiência da fornalha/chaminé do sistema.

O sistema fornos-fornalha instalado no Campus Sete Lagoas da UFSJ encontra-se na mesorregião Metropolitana de Minas Gerais, conforme definido no Edital JOF-1069/2019. Segundo Ibá (2019), o principal polo de consumo de carvão vegetal no Brasil está nesta mesorregião, especialmente no município de Sete Lagoas, onde concentra-se a maior quantidade de indústrias siderúrgicas no País.

Neste contexto, para que o carvão vegetal continue a ser mais competitivo que o carvão mineral dentro do contexto da siderurgia na mesorregião, é necessário que haja mudanças no processo de produção do carvão vegetal, adequando-se novas tecnologias à realidade local.

Após a construção do sistema fornos-fornalha na UFSJ Campus Sete Lagoas, foi realizada a análise dos indicadores de funcionamento e adequação do sistema, sendo utilizados os dados referentes ao período de dezembro/2019 a fevereiro de 2020. Neste período foram realizadas três carbonizações no sistema. Os principais indicadores de adequação do sistema serão descritos a seguir.

4. 1 Durabilidade do sistema:

No sistema implantado na UFSJ, a parte externa dos fornos, dos ductos e da fornalha foi revestida, com o objetivo de reduzir a tecnologia do sistema fornos-fornalha desenvolvida pela UFV e utilizada neste projeto tem como base tecnológica a queima dos gases da carbonização no sistema, reduzindo a poluição e a emissão de gases poluentes durante o processo. No entanto, para a aplicabilidade desta tecnologia para pequenos e médios produtores de carvão vegetal e empresas de menor porte, o sistema deve ter baixo custo de aquisição e manutenção, rendimento satisfatório em produção e boa durabilidade.

Os quatro fornos do sistema foram revestidos com diferentes composições de materiais, visando a avaliação do processo de carbonização e da durabilidade das estruturas. Destes, dois fornos foram revestidos com a argamassa desenvolvida pela UFV e disponibilizada na cartilha de construção do sistema, um forno com revestimento em barrela, ou seja, o revestimento mais usual pelos produtores de carvão vegetal e um forno com uma argamassa refratária doada pela empresa Refragan.

Após as primeiras carbonizações, observou-se que o revestimento desenvolvido pela UFV foi o que apresentou melhor estabilidade, com menor incidência de manutenções ao longo do período analisado. O revestimento foi eficiente no controle da temperatura no interior dos fornos, não afetando a eficiência no processo de carbonização, que durou em média cinco dias.

O forno com o revestimento desenvolvido pela empresa Refragan, apesar de estar lonado demorou mais tempo para ocorrer o processo de carbonização, devido ao período chuvoso na região do projeto; fazendo com que o forno demorasse mais tempo na Fase I do processo e resultando em um tempo total de carbonização de seis a sete dias. Além disso, foram necessárias mais manutenções quando comparado ao revestimento desenvolvido pela UFV. Observou-se também que este revestimento apresentou maior quantidade de orifícios (“trincas”) nos fornos, exigindo maior atenção quando os fornos ficam desativados. Ressalta-se que este foi o resultado da primeira carbonização e que é normal algumas pequenas trincas pois com o início dos processos de carbonizações, o alcatrão gerado durante o processo faz uma vedação natural nos fornos, o que será observado nas próximas operações.

O revestimento em barrela, tradicionalmente utilizado em pequenos fornos, foi o de menor durabilidade até o momento, haja vista que necessitou de maior número de manutenções frente aos demais. Por ser um material altamente higroscópico, a terra absorve a umidade externa, sendo dissolvida pela água das chuvas e necessitando de manutenções periódicas.

Considerando-se o fato das carbonizações terem ocorrido em período de intensas chuvas, a manutenção dos revestimentos nos fornos foi primordial para o êxito dos processos de carbonização, de forma que quanto mais durável for o revestimento, menores os custos com manutenção do sistema.

Em relação à durabilidade da fornalha, a qual foi revestida externamente com o

revestimento desenvolvido pela UFV e internamente por uma manta cerâmica, até o momento não foram observadas trincas ou rachaduras na estrutura. Deste modo, novas avaliações ao longo do tempo são necessárias, de forma a acompanhar a durabilidade da fornalha, assim como dos fornos.

Oliveira et al. (2017), ao compararem os sistemas tradicional (“rabo quente”) e fornos fornalha, trabalharam com períodos de 02 e 06 anos, respectivamente, seguindo propostas de Carneiro et al. (2013) e Oliveira et al. (2013). Na unidade demonstrativa da UFSJ, para as análises de viabilidade econômica foi considerado o tempo de seis anos. No entanto, sabe-se que se o processo de carbonização ocorrer dentro das premissas disponibilizadas nas cartilhas de construção e operação do sistema fornos-fornalha, e se as manutenções preventivas e corretivas ocorrerem sempre que necessário, muito provavelmente a vida útil do sistema será superior ao estimado na análise realizada no item 3 deste relatório.

4.2 Adequação e disponibilidade dos materiais utilizados:

Em relação aos materiais utilizados para a construção do sistema fornos-fornalha, foram seguidas as especificações contidas na cartilha “Produção sustentável de carvão vegetal: manual de construção dos sistemas fornos-fornalha / Ministério do Meio Ambiente ... [et al.]. – Brasília, DF: MMA, 2019”. Nesta há a lista com todos os materiais necessários para a construção do sistema, além de informações sobre a adequação da área e segurança dos operários durante o processo de construção.

Os materiais necessários para a construção do sistema fornos-fornalha são de fácil aquisição, podendo ser adquiridos no mercado local da mesorregião. As ferragens utilizadas também são de fácil compreensão e aquisição, principalmente pelo fato de na cartilha já virem descritas as especificações de cada uma. O item que deve-se ter uma atenção especial é a manta de revestimento da fornalha, a qual possui um custo relativamente alto, mas que pode vir a ser reduzido com a maior utilização da mesma por vários produtores de carvão vegetal da região. Também deve ser considerado que, com a utilização da manta de revestimento a vida útil da fornalha será aumentada, fazendo com que o sistema trabalhe por um período de tempo superior, conferindo uma maior durabilidade ao sistema como um todo.

Após as primeiras carbonizações no sistema fornos-fornalha da UFSJ observou-se que os materiais utilizados foram adequados ao objetivo proposto. Mesmo tendo-se trabalhado com revestimentos diferentes nos fornos, foi possível completar todas as carbonizações, funcionando-se perfeitamente e obtendo eficiência no processo de conversão da madeira em carvão vegetal em todos os fornos.

Para a fornalha, os materiais utilizados também foram adequados e satisfatórios. A manta cerâmica funcionou devidamente, ao interromper o fluxo intenso de calor frente aos operadores dos fornos. Quando a fornalha encontra-se em pleno aquecimento e funcionamento, os materiais de revestimento interno e externo contribuem para a manutenção das paredes externas “frias”, enquanto os quentes liberados durante a carbonização a mantém “seca”.

4.3 Vedação e eficiência da fornalha/chaminé do sistema:

Segundo Oliveira et al. (2013), o principal objetivo do acoplamento de uma fornalha a um sistema de produção de carvão vegetal é realizar a queima dos gases gerados no interior do forno durante a carbonização da madeira, reduzindo, assim, as emissões de gases para a atmosfera e transformando a poluição em calor. Desta forma, a análise da vedação e eficiência da fornalha durante os processos de carbonização é imprescindível para êxito da produção de carvão vegetal e indicação do sistema para pequenos e médios produtores.

A análise da vedação da fornalha/chaminé do sistema fornos-fornalha da UFSJ permitiu observar a inexistência de vazamentos na mesma, assim como a manutenção da temperatura no interior da fornalha, conforme descrito no item anterior.

Para iniciar o processo de carbonização, foi necessário o acendimento da fornalha previamente à ignição dos fornos, haja vista a alta umidade da madeira enforada. Desta forma, a fornalha fez a sucção dos gases do interior dos fornos, facilitando a ignição dos mesmos. Foram utilizados madeira não enforada e casca para ignição e manutenção da chama na fornalha durante as fases de ignição e secagem da madeira dentro dos fornos de carbonização. Em estudos realizados por Cardoso et al. (2010), Oliveira et al (2013) e Donato (2017) foi observado que o objetivo seria aquecer a fornalha e criar um gradiente de temperatura entre ela e o forno, fazendo que ocorresse tiragem mais eficiente dos gases do forno para a fornalha.

Antes do início das carbonizações foi determinada a umidade da madeira enforada, de forma a acompanhar as faixas de temperatura durante o processo. Assim, seguindo-se as informações da cartilha “Produção sustentável de carvão vegetal: manual de operação de sistema fornos-fornalha / Ministério do Meio Ambiente ... [et al.]. – Brasília, DF: MMA, 2019”, especialmente da Tabela constante na página 37, a qual trata das temperaturas e tempos de carbonização apropriados às madeiras com diferentes umidades, foi possível verificar o tempo de permanência em cada fase do processo de carbonização.

Nas duas primeiras fases do processo de carbonização (fases endotérmicas) foram necessárias a queima de considerável quantidade de material lignocelulósicos na fornalha para que ocorresse a degradação térmica do vapor de água e gases gerados durante essas fases iniciais, evitando que estes fossem lançados no ambiente. Na fase III (fase exotérmica) são gerados gases como CO e CH₄ em concentrações maiores e mínima de vapor de água, conforme Taccini (2011). Desta forma o abastecimento da fornalha pode ser reduzido, pois estes gases gerados são inflamáveis, ou seja, dentro da fornalha fazem o papel do material lignocelulósico, o que também foi observado por Oliveira et. al (2013). Ressalta-se que toda vez que observado a necessidade de alimentação da fornalha, esta ocorria para sempre ocorrer a queima dos gases gerados durante o processo de carbonização e conseqüentemente sua degradação térmica.

Observou-se também que a fornalha conseguiu se manter aquecida depois de ligada, porém os fornos têm que estar em sincronia. Com apenas um forno trabalhando, ou com todos na mesma fase de carbonização, tem-se um gasto maior de materiais para manutenção do aquecimento da fornalha. Tal observação também foi pontuada por Oliveira et al. (2013) e Donato (2017), de forma que há a necessidade de sincronia entre os fornos para possibilitar a diminuição da necessidade de biomassa auxiliar nas câmaras de combustão para manutenção da chama na fornalha.

Durante o período das carbonizações no sistema fornos-fornalha da UFSJ, onde ocorreram chuvas intensas à noite, tornou-se necessário realizar nova ignição da fornalha

logo pela manhã, de forma a mantê-la aquecida. Após a ignição, é necessário o abastecimento constante da fornalha com resíduos de madeira, até o momento em que esta se mantém aquecida o suficiente para realizar a queima dos gases sem necessidade de reposição com resíduos.

Com a observação do processo de carbonização de forma adequada garantiu-se a boa condução da carbonização da madeira, e conseqüentemente que não ocorresse o aumento excessivo da temperatura no interior dos fornos. Neste contexto, a utilização da fornalha contribui para evitar este aumento de temperatura nos fornos, o qual pode contribuir para o enfraquecimento da estrutura física do sistema como um todo.

Após todas as etapas de produção obedecendo a cartilha de operação do sistema fornos e fornalha foi realizada uma vistoria detalhada e criteriosa para verificar a estrutura e as condições dos fornos e da fornalha depois das marchas de operação conforme observado nas Figuras de 27 a 30.



Figura 27. Estrutura do forno após o processo de carbonização.

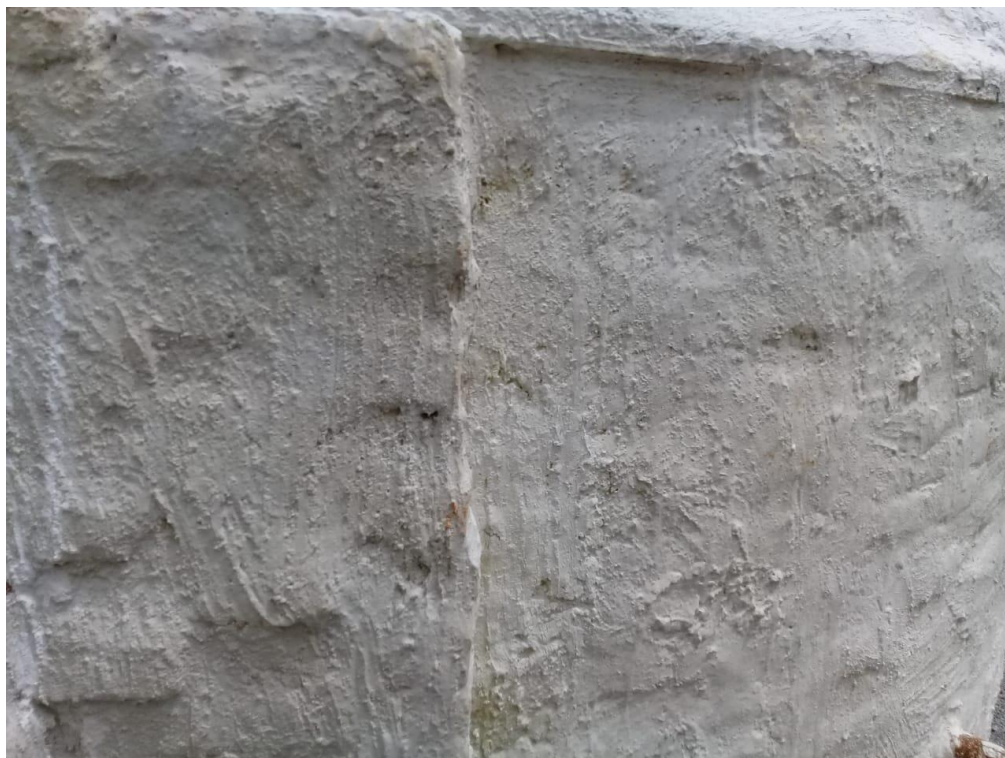


Figura 28. Estrutura do forno após o processo de carbonização.



Figura 29. Estrutura do forno após o processo de carbonização.



Figura 30. Estrutura do forno após o processo de carbonização.

Nesta vistoria não foi identificada nenhuma avaria ou detalhe comprometendo a estrutura do sistema, apenas pequenas intervenções que podem existir a cada marcha de carbonização. Desta forma, na análise desta vistoria conclui-se que o sistema tem sua validação assegurada com ressalvas de excelente qualidade de desempenho no sistema instalado nesta mesorregião.

4.4 Referências

CARDOSO, M. T.; DAMÁSIO, R. A. P.; CARNERO, A. C. O.; JACOVINE, L. A. G.; VITAL, B. V.; BARCELOS, D. C. Construção de um sistema de queima de gases da carbonização para redução da emissão de poluentes. *Cerne*, Lavras, v. 16, p. 115-124, 2010.

Carneiro ACO, Vital BR, Oliveira AC, Pereira BLC. Pirólise lenta da madeira para produção de carvão vegetal. In: Santos F, Colodette J, Queiroz JH, organizadores. *Bioenergia & biorrefinaria: cana-de-açúcar & espécies florestais*. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora; 2013.

Donato, Danilo Barros. *Desenvolvimento e avaliação de fornalha para combustão dos gases da carbonização da madeira*. Viçosa, MG, 2017.

OLIVEIRA, L. H.; BARBOSA, P. V. G.; LIMA, P. A. F.; YAMAJI, F. M.; SETTE JÚNIOR, C. R. Aproveitamento de resíduos madeiros de *Pinus sp.* com diferentes granulometrias para a produção de briquetes. *Revista de Ciências Agrárias*, Lisboa, v. 40, n. 3, p. 683-691, set.

2017.

OLIVEIRA, Aylson Costa et al. Otimização da produção do carvão vegetal por meio do controle de temperaturas de carbonização. Rev. Árvore [online]. 2013, vol.37, n.3, pp.557-566. ISSN 0100-6762.

TACCINI, M. M. Estudo das metodologias da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, referentes à avaliação de emissões de gases de efeito estufa na produção de carvão vegetal. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Produtos Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.