

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

ANDRÉ DELLA COLLETA VIANNA

Estudo da viabilidade de construção de um forno cerâmico no Departamento de
Engenharia de Materiais da EESC/USP

São Carlos

2020

ANDRÉ DELLA COLLETA VIANNA

Estudo da viabilidade de construção de um forno cerâmico no
Departamento de Engenharia de Materiais da EESC/USP

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheiro
de Materiais e Manufatura

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Bellini Ferreira

São Carlos
2020

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

Della Colleta Vianna, André

M819a Estudo da viabilidade de construção de um forno cerâmico Departamento de Engenharia de Materiais da EESC/USP. André Della Colleta Vianna; orientador Eduardo Bellini Ferreira.
São Carlos, 2020.

Monografia (Graduação em Engenharia de Materiais e Manufatura) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2020.

1. forno cerâmico. 2. Sasukenei Smokeless Kiln.
3. Masakazu Kusakabe. 4. grupo extracurricular.
5. cerâmica artesanal. 6. forno elétrico. 7. estudo de viabilidade I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

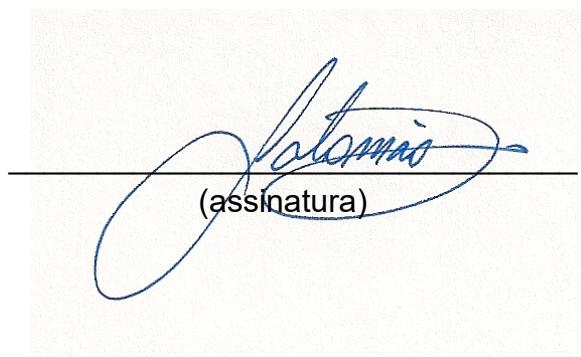
ERRATA

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: André Della Colleta Vianna
Título do TCC: Estudo da viabilidade de construção de um forno cerâmico no Departamento de Engenharia de Materiais da EESC/USP
Data de defesa: 26/11/2020

Comissão Julgadora	Resultado
Professor Doutor Eduardo Bellini Ferreira (orientador)	APROVADO
Instituição: EESC - SMM	
Professor Associado Haroldo Cavalcanti Pinto	APROVADO
Instituição: EESC - SMM	
Pesquisador Guilherme da Silva Macena	APROVADO
Instituição: EESC - SMM	

Presidente da Banca: **Professor Associado Rafael Salomão**



A blue ink signature of 'Rafael Salomão' is written over a horizontal line. Below the signature, the word '(assinatura)' is printed in a smaller, black, sans-serif font.

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho singularmente
aos meus pais, Cláudia e Eduardo,
ao meu irmão Caio e a minha
namorada Giulia por todo amor,
companheirismo e suporte.*

RESUMO

VIANNA, A. **Estudo da viabilidade de construção de um forno cerâmico no Departamento de Engenharia de Materiais da EESC/USP.** 2020. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

O presente trabalho busca dar suporte e incentivar a criação de um grupo extracurricular para alunos da Universidade de São Paulo, o Grupo de Engenharia, Ciência e Arte – GECA, através de um estudo de viabilidade da construção de um forno cerâmico no Departamento de Engenharia de Materiais (SMM). Para isso, tem-se como objetivo desenvolver e estudar o projeto de construção de um forno que produz pouca fumaça, chamado *Smokeless*, destinado à queima de cerâmica artesanal. O forno *Smokeless* foi desenvolvido pelo ceramista japonês Masakazu Kusakabe que, desde sua invenção, tem passado por diversos países construindo o Sasukenei *Smokeless Kiln*, inclusive em Cunha, SP. A característica principal do forno estudado é a baixa produção de fumaça, que se deve, especialmente, a dois fatores: a altura da chaminé e o *design* da fornalha. Importante ressaltar que o GECA tem como pilar fundamental ser, também, um projeto de extensão e, assim, promover ações para a comunidade através de *workshops* e cursos abertos. Nesse contexto, foi realizado o desenho do projeto de um forno *Smokeless* através do AUTODESK® Inventor 2020, com o intuito de facilitar sua visualização e posterior construção. Adicionalmente, os custos de construção do mesmo foram estimados e comparados com os de aquisição de um forno elétrico de porte similar, mantendo a temperatura e o preço como requisitos para a análise. Por fim, as listas de materiais e equipamentos necessários foram produzidas com a finalidade de compreender melhor o custo total e as especificações do forno *Smokeless Sasukenei*.

Palavras-chave: Forno cerâmico, Sasukenei *Smokeless Kiln*, Masakazu Kusakabe, grupo extracurricular, cerâmica artesanal, forno elétrico, estudo de viabilidade.

ABSTRACT

VIANNA, A. Feasibility study of building a ceramic kiln at Materials Engineering Department, EESC/USP. 2020. Final Manuscript – (Graduate at Materials and Manufacturing Engineering) – São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, São Carlos, 2020.

The present work seeks to support and encourage the creation of an extracurricular group for students at the University of São Paulo, the Engineering, Science, and Art Group - GECA, through a feasibility study on the construction of a ceramic kiln at the Engineering Department of Materials (SMM). Hence, the objective is to develop and study the project to build a kiln that produces little smoke, called Smokeless, intended to make pottery. The Smokeless kiln was developed by the Japanese ceramist Masakazu Kusakabe who, since its invention, has passed through several countries building the Sasukenei Smokeless Kiln, including one in Cunha, state of São Paulo. The main characteristic of this kiln is the low smoke production, which is mainly due to two factors: the height of the chimney and the design of the furnace. It is essential to highlight that GECA has as its fundamental pillar, also, to be an extension project and, thus, to promote actions for the community through workshops and open courses. In this context, to facilitate the visualization and subsequent construction of the kiln, its design was carried out through AUTODESK® Inventor 2020. Also, its construction costs were estimated and compared with those of purchasing an electric kiln of similar size, maintaining temperature and price as requirements for the analysis. Finally, a list of all materials and types of equipment needed for the construction of the kiln was made for a better understanding of the total cost and specifications of the Smokeless Sasukenei Kiln.

Key words: Ceramic Kiln, Sasukenei Smokeless Kiln, Masakazu Kusakabe, extracurricular group, pottery, electric kiln, feasibility study.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - CICLO DE PROPÓSITO DO GECA.....	27
FIGURA 2 - VENUS OF DOLNÍ VĚSTONICE.	30
FIGURA 3 - RECIPIENTE CERÂMICO, KUBODERA-MINAMI, NIIGATA PREFECTURE, JAPÃO.....	32
FIGURA 4 - REPRESENTAÇÃO DO ARTESANATO FEITO POR MODELAGEM UTILIZANDO RODA, STATUE OF A POTTER, 2445-2421 A.C.	32
FIGURA 5 - VASO CERÂMICO DE FIGURAS NEGRAS, HYDRIE À FIGURES NOIRES 575-550 AC. .	34
FIGURA 6 - VASO GLOBULAR MARAJOARA, 400-1400 D.C ..	35
FIGURA 7 - SAWDUST FIRE KILN	36
FIGURA 8 - FORNO DOWNDRAFT	37
FIGURA 9 - FORNO CROSSDRAFT	37
FIGURA 10 - CERÂMICA PRODUZIDA COM SAL NA QUEIMA (SALT-FIRED POTTERY)	39
FIGURA 11 - COPO AMARELO PRODUZIDO POR SODA FIRING.....	40
FIGURA 12 - “TOP LOADING” – FORNO ELÉTRICO	41
FIGURA 13 - FORNO ELÉTRICO JUNG®	41
FIGURA 14 - SASUKENEI SMOKELESS KILN EM MARGARET RIVER, AUSTRÁLIA	42
FIGURA 15 - QUEIMA DO FORNO SASUKENEI NA ALEMANHA.....	43
FIGURA 16 - SASUKENEI SMOKELESS KILN EM CERDEIRA, PORTUGAL;	43
FIGURA 17 - ABERTURA PÓS QUEIMA DO SASUKENEI SMOKELESS KILN EM CUNHA – SP.....	44
FIGURA 18 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO	45
FIGURA 19 - LIVRO JAPANESE WOOD-FIRED CERAMICS.....	46
FIGURA 20 – VISTA SUPERIOR DIREITA DO SASUKENEI SMOKELESS KILN.....	52
FIGURA 21 - ORIENTAÇÃO DA CAMADA TIJOLOS DO PISO DO FORNO.	54
FIGURA 22 – PAREDE PRINCIPAL DA FORNALHA	55
FIGURA 23 – ABERTURA DA PARTE TRASEIRA DA CHAMINÉ.....	56
FIGURA 24 – GRELHA DA FORNALHA.	57
FIGURA 25 – PASSIVE/SHELF DAMPER LOCALIZADOS NA BASE DA CHAMINÉ.....	58
FIGURA 26 - VISTA FRONTAL DA FORNALHA BOURRY BOX	59
FIGURA 27 – FORNALHA COM A SALIEÊNCIA EM EVIDENCIA	60
FIGURA 28 – FORNALHA COMPLETA.	60
FIGURA 29 – ALTURA DA CHAMINÉ.....	61
FIGURA 30 – PAREDE DIANTEIRA DO FORNO.	62

FIGURA 31 – VISTA PAREDE POSTERIOR DO FORNO.....	63
FIGURA 32 – VISTA FRONTAL DO FORNO.	64
FIGURA 33 – VISTA DA PARTE TRASEIRA DO FORNO E FORNALHA.	65
FIGURA 34 - VISTA FRONTAL COM COTAS REPRESENTADA NO LIVRO APOIO.	66
FIGURA 35 – DIMENSÕES DOS TIJOLOS.	67
FIGURA 36 – TABELA DE PREÇOS DE FORNOS ELÉTRICOS DA JUNG ®.	74
FIGURA 37 – FORNO COM ABERTURA FRONTAL JUNG JC2312.....	74
FIGURA 38 – FORNO COM ABERTURA SUPERIOR DA STECNO.	75

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – LISTA DE MATERIAIS NECESSÁRIOS PARA A CONSTRUÇÃO DO SASUKENEI SMOKELESS KILN.	50
TABELA 2 – LISTA DE EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS PARA A CONSTRUÇÃO DO SASUKENEI SMOKELESS KILN	51
TABELA 3 – ESPECIFICAÇÕES E QUANTIDADES DOS MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO DO SASUKENEI SMOKELESS KILN.	67
TABELA 4 – VOLUME NECESSÁRIO DE MASSA ISOLANTE.....	68
TABELA 5 – COMPARAÇÃO ENTRE EMPRESAS DE DISPONIBILIDADE E PREÇO DOS MATERIAIS....	69
TABELA 6 – ESPECIFICAÇÕES PRODUTOS DA EMPRESA A.....	69
TABELA 7 - ESPECIFICAÇÕES PRODUTOS DA EMPRESA B.....	70
TABELA 8 - ESPECIFICAÇÕES PRODUTOS DA EMPRESA C.....	70
TABELA 9 - ESPECIFICAÇÕES PRODUTOS DA EMPRESA D.....	70
TABELA 10 – CÁLCULO DO CUSTO DE CADA EQUIPAMENTO.	71
TABELA 11 – CÁLCULO DO CUSTO DOS MATERIAIS.....	72
TABELA 12 – DIMENSÕES DOS FORNOS DA STECNO FORNOS E EQUIPAMENTOS	75
TABELA 13 – COMPARAÇÃO DOS FORNOS ENTRE OS PRINCIPAIS INDICADORES.....	76
TABELA 14 – DIMENSÕES E VOLUMES DAS CÂMARAS DO SASUKENEI SMOKELESS KILN	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SMM - *Departamento de Engenharia de Materiais*
EESC - *Escola de Engenharia de São Carlos*
USP - *Universidade de São Paulo*
PCE - *Pyrometric Cone Equivalent*

LISTA DE SÍMBOLOS

°C - Graus Celsius

m - Metros

mm - Milímetros

m^3 - Metro Cúbico

mm^3 - Milímetro Cúbico

kg Quilograma

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	26
1.1	O TEMA E SUA IMPORTÂNCIA	26
1.2	OS OBJETIVOS DO TRABALHO	28
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	30
2.1	BREVE HISTÓRIA DO ARTESANATO CERÂMICO	30
2.1.1	CERÂMICA NO JAPÃO.....	31
2.1.2	INVENÇÃO DA RODA E ARTESANATO GREGO	32
2.1.3	CERÂMICA BRASILEIRA	34
2.2	MODELOS DE FORNO.....	35
2.2.1	FORNOS COM QUEIMA DE COMBUSTÍVEL (<i>FUEL BURNING KILNS</i>).....	35
2.2.2	FORNO ELÉTRICO	40
2.2.3	SASUKENEI SMOKELESS KILN	42
3	METODOLOGIA.....	44
3.1	PROJETO DO FORNO	45
3.2	REFRATÁRIOS	47
3.3	FORNECEDORES E CUSTO	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1	EQUIPAMENTOS E MATERIAIS	48
4.2	PRINCIPAIS COTAS E DIMENSÕES.....	52
4.3	PROCEDIMENTO DE CONSTRUÇÃO DO FORNO.....	53
4.3.1	INÍCIO DAS OBRAS.....	53
4.3.2	FORNALHA E ALICERCE DA CHAMINÉ.....	54
4.3.3	FINALIZANDO O ALICERCE DA FORNALHA E CHAMINÉ	56
4.3.4	ARCO DE MADEIRA, CHAMBER WARE E BOURRY BOX.....	58
4.3.5	ALTURA DA CHAMINÉ.....	61
4.3.6	PAREDE DIANTEIRA E TRASEIRA	62
4.3.7	AJUSTES FINAIS E ACABAMENTOS.....	63
4.3.8	VISTAS DIANTEIRA E TRASEIRA	64
4.4	CUSTO DE CONSTRUÇÃO	65
4.4.1	QUANTIDADE DE MATERIAL E ESPECIFICAÇÕES	65

4.4.2	FORNECEDORES	69
4.4.3	CUSTO TOTAL.....	71
4.5	CUSTO DE UM FORNO ELÉTRICO PARA CERÂMICA ARTESANAL.....	73
4.6	FORNO ELÉTRICO <i>VERSUS</i> SASUKENEI SMOKELESS KILN.....	76
5	CONCLUSÃO E PRÓXIMOS PASSOS	79
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80

1 INTRODUÇÃO

1.1 O tema e sua importância

A extensão à prática do conteúdo curricular aprendido em sala de aula é estimulada a todos os alunos da Universidade de São Paulo (USP). A USP conta com diversos grupos extracurriculares, proporcionando aos alunos a oportunidade de vivenciarem um aprendizado mais intenso, alinhando a prática com a teoria. Motivado por isso, como aluno de Engenharia de Materiais e Manufatura da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), resolvi direcionar este trabalho a um estudo sobre a viabilidade de construção de um forno cerâmico, a fim de estimular a formação de um novo grupo de extensão para alunos da Universidade de São Paulo: o Grupo de Engenharia, Ciência e Arte (GECA). Este grupo foi idealizado pelo Professor Eduardo Bellini Ferreira que, por sua vez, compartilhou suas ideias e esforços para que este projeto fosse possível.

O GECA se apoia na intersecção entre o conhecimento adquirido em sala de aula com a experiência prática, aplicada a um propósito maior, qual seja, transcender o conhecimento individual ajudando comunidades carentes a se desenvolverem. O artesanato produzido seria proveniente da reciclagem de materiais cerâmicos descartados, resultando em produtos finais prontos para serem re-comercializados. A arte milenar de confeccionar artesanato cerâmico, então, seria passada adiante a pessoas de comunidades mais vulneráveis, proporcionando-lhes a oportunidade de gerarem renda.

O novo grupo de extensão teria como principais objetivos:

- proporcionar a oportunidade aos alunos de um contato mais próximo com a realidade da engenharia através de práticas artísticas, inicialmente a produção de artesanato cerâmico;
- utilizar a engenharia e a arte como ferramenta transformadora, gerando uma fonte de renda para comunidades carentes;
- ser uma plataforma criadora de vínculos entre alunos da EESC;
- fomentar o senso de consciência social; e
- promover experiências que poderão ser carregadas para sempre tanto no âmbito pessoal quanto no profissional.

Figura 1 - Ciclo de propósito do GECA



Fonte: Autor e Freepick.

O Grupo de Engenharia Ciência e Arte teria como sede na Área 2 da USP-São Carlos, localizada no bairro Santa Angelina e próximo a comunidades carentes que podem se tornar o público-alvo do projeto. Dessa forma, os integrantes do GECA poderão, por meio de *workshops* e minicursos gratuitos, capacitar moradores dessas comunidades a gerar renda através da produção artesanal de artigos cerâmicos e outros. Todas essas ações têm como objetivo estimular o empreendedorismo dos alunos da USP e membros das comunidades locais, além de propagar o conhecimento sobre técnicas e efeitos relacionados aos processos de fabricação de materiais.

Com o intuito de concretizar a ideia, no caso de materiais cerâmicos é necessário construir um forno para a produção do artesanato. Dessa forma, este estudo consiste em discutir e propor a viabilidade da construção de um forno cerâmico no Departamento de Engenharia de Materiais (SMM) da EESC/USP. O projeto tem como necessidades principais buscar um modelo e um sistema de construção adequados às necessidades do GECA, isto é, um forno compacto que opere à aproximadamente 1300 °C, que não gere resíduos e que tenha um preço de construção acessível.

Diante das especificidades que o projeto apresenta e do panorama que o GECA está inserido, o forno Sasukenei Smokeless Kiln satisfaz os requisitos. Além de operar a

temperaturas superiores a 1300 °C, esse forno japonês produz pouca fumaça, e dessa forma possibilita a realização de queimas menos poluentes ao meio ambiente. O fato de não produzir fumaça durante a queima do artesanato cerâmico também acarreta a maior facilidade de encontrar um local para sua construção, uma vez que não gera desconforto à vizinhança.

O Sasukenei Smokeless Kiln (o nome em inglês) é um forno amplamente difundido pelo mundo. Seu design pode ser encontrado reproduzido na Alemanha, Austrália, Brasil, Estados Unidos, Japão, Portugal, entre outros países. No Brasil, um forno com essa tecnologia foi construído em 2017 na cidade de Cunha, SP, cuja construção contou com o artista cerâmico japonês e autor do livro *Japanese Wood-Fired Ceramics*, Masakazu Kusakabe.

O artesanato cerâmico existe há muitos milênios e foi essencial para o desenvolvimento das civilizações (The American Ceramic Society, 2020). Neste projeto, escolheu-se dar foco ao projeto no artesanato cerâmico, pois de acordo com o Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), "*o setor de artesanato brasileiro gera aproximadamente 28 bilhões de reais por ano*", representando 3% do PIB nacional, além de que "*o setor emprega 8 milhões de pessoas no país*" (SEBRAE, 2014). Com isso, pretende-se unir um setor importante do comércio nacional ao aprendizado e desenvolvimento de alunos e comunidades vulneráveis na cidade de São Carlos.

1.2 Os objetivos do trabalho

O objetivo geral deste trabalho é realizar um estudo comparando a viabilidade de construção de um forno Sasukenei Smokeless Kiln na Área 2 do Campus da USP em São Carlos, próximo ao Departamento de Engenharia de Materiais, com o custo de aquisição de um forno elétrico equivalente, a fim de se verificar qual opção é mais adequada às necessidades do GECA. Dessa forma, pretende-se incluir no presente trabalho os seguintes objetivos específicos:

- Gerar um modelo do forno especificando suas dimensões.
- Determinar e quantificar os materiais e equipamentos necessários.
- Realizar um estudo sobre os custos de produção, incluindo um levantamento sobre potenciais fornecedores.

- Obter informações técnicas, preços e fornecedores de fornos elétricos para a produção de cerâmica artesanal.
- Detalhar passo-a-passo o procedimento de construção de um forno Sasukenei Smokeless Kiln.
- Comparar os resultados obtidos e discutir sobre a viabilidade de se construir o forno japonês alternativamente à aquisição de um forno elétrico, considerando o cenário em que o GECA está inserido.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Breve história do artesanato cerâmico

A atividade cerâmica é uma das mais antigas do mundo, tendo seus primeiros vestígios datados do início no fim do período Paleolítico, aproximadamente 28.000 anos antes de Cristo (A.C.). A principal descoberta que confirma esta teoria é uma estatueta de uma mulher, chamada de *Venus of Dolni Věstonice* (*Dolni Věstonice* é um pequeno vilarejo localizado na República Checa), representada a seguir (The American Ceramic Society, 2020). Com o passar dos anos a cultura cerâmica foi se espalhando pelo Oriente, chegando à China entre 18.000-17.000 A.C.. No território chinês foram encontrados fragmentos de potes e vasos, artefatos diferentes dos encontrados na República Checa, simbolizando uma diferente abordagem do artesanato cerâmico. Dessa forma, a arte de modelagem cerâmica (em inglês, *Pottery*) se popularizou e disseminou a outros países do Oriente, como Japão e Rússia (The American Ceramic Society, 2020).

Figura 2 - Venus of Dolní Věstonice.



Fonte: Petr Novák (2007)

O período Neolítico começou por volta de 10.000 A.C. e foi marcado pela transição de comunidades nômades para caçadoras-coletores. Desse modo, com a nova estrutura de sociedade, seus moradores passaram a se dedicar a agricultura e a caça. Essa mudança acarretou avanços significativos na forma que a comunidade se comportava, passando a domesticar tanto animais como plantas (HISTORY, 2018). A revolução organizacional na sociedade neolítica levou a intensificação do uso de peças cerâmicas, passando a utilizá-las como recipientes para cozinhar, armazenar água e comida, além de se transformar em objetos de arte e tijolos. Até esse momento, o processo de queima da cerâmica era pouco refinado, utilizando-se um pequeno forno cavado na terra, atingindo temperaturas inferiores a 1000 °C após deixá-las secar sob o calor do sol.

2.1.1 Cerâmica no Japão

O artesanato cerâmico Neolítico no Japão é chamado de Período *Jōmon* (10.500 - 300 A.C.), no português Marcações de Cordão, caracterizando as cerâmicas produzidas neste período. Durante esta época, todo o artesanato era produzido manualmente, sem o auxílio de tornos e rodas, e as queimas eram efetuadas ao ar livre com temperaturas inferiores a 900 °C através de uma fogueira (The Metropolitan Museum of Art, 2002).

Os artesanatos mais populares desse período japonês são vasos e tigelas. Em geral, eram artefatos decorados com o auxílio de um cordão, utilizado para fazer desenhos e marcações na argila, ainda molhada, para então ser levada ao processo de queima (Cartwright, 2017). Durante o início do período Jōmon, a população era em sua maioria composta por pequenas tribos independentes espalhadas pelo território japonês, cujas atividades principais eram a pesca e a caça. Dessa forma, os primeiros artesanatos produzidos consistiam em utensílios a fim de auxiliar as principais atividades das comunidades, como recipientes profundos para cozimento de alimentos (Figura 3).

Figura 3 - Recipiente Cerâmico, Kubodera-minami, Niigata Prefecture, Japão



Fonte: Tokamchi City Museum

2.1.2 Invenção da roda e artesanato grego

Foi então que em aproximadamente 3.500 A. C. a fabricação de produtos cerâmicos sofreu um grande impacto devido à invenção da roda. A roda proporcionou a criação de uma técnica de modelagem que garantia simetria radial ao artefato cerâmico (The American Ceramic Society, 2020).

Figura 4 - Representação do Artesanato feito por modelagem utilizando roda, *Statue of a Potter*, 2445-2421 A.C..



Fonte: The Oriental Institute of the University of Chicago

A arte cerâmica modelada por roda (mecanismo similar a de um torno, contendo um pedal com uma corda acoplada a uma roda, que produzia o giro necessário para conformar o artesanato) continuou a evoluir e passou a ter queimas cada vez mais complexas e aperfeiçoadas. Estima-se que essa técnica chegou à Grécia em aproximadamente 2.500 A. C. (GRINGAS, SNEED, 2018), onde foi desenvolvida e aperfeiçoadas com adições de pinturas decorativas, tornando os artefatos cerâmicos peças de arte.

O processo grego de produção de vaso cerâmico, que teve início aproximadamente durante o século VII A.C., utilizava a queima em três estágios (The Art Institute of Chicago, 2013):

- Preparação: modelagem do vaso de argila utilizando uma roda (torno); após a argila secar (aproximadamente 1 dia após a moldagem), uma camada de argila líquida (em inglês *Slip*), era aplicada nas áreas que o artesão esperava que o vaso tivesse coloração preta; depois da argila líquida secar, o artesão iniciava a pintura que seria estampada no vaso (The Art Institute of Chicago, 2013).
- Pintura: o processo de pintura possuía grande complexidade, uma vez que durante a queima a coloração poderia sofrer alterações. O artesão usualmente começava o processo desenhando um esboço da arte em carvão, que desaparecia após a queima. Para produzir a cor branca, era utilizada uma argila com baixos teores de óxido de ferro. Existiam também diversas outras técnicas para se obter a cor desejada (The Art Institute of Chicago, 2013).
- Tempo de queima: 6-8 horas. (The Art Institute of Chicago, 2013).
- 1º Estágio: aproximadamente a 815 °C. A entrada de ar era permitida através da câmara superior do forno, produzindo um ambiente rico em oxigênio. Esse ambiente produz a oxidação do ferro a Fe^{3+} , também conhecido como óxido de ferro vermelho, fazendo com que a argila e a argila líquida se tornassem vermelhas (The Art Institute of Chicago, 2013).
- 2º Estágio: a temperatura era elevada a 930 °C. A entrada de ar era fechada e, então, adicionava-se madeira e folhas úmidas como fonte de combustível, a fim de gerar um ambiente com baixo teor de oxigênio, porém rico em carbono. Dessa forma, os óxidos de ferro II e III eram formados, fazendo com que a argila e argila líquida mudassem de vermelho para preto. A partir dessa etapa, a camada de argila líquida adquiria uma "casca" resistente a futuras mudanças (The Art Institute of Chicago, 2013).

- 3º Estágio: A câmara de ar superior do forno era aberta novamente, permitindo a entrada de ar, e produzindo um ambiente rico em oxigênio. A parte do vaso que não foi coberta pela argila líquida volta a ser vermelha (The Art Institute of Chicago, 2013).
- Os vasos eram retirados aproximadamente 12 h após o término do processo de queima (tempo necessário para esfriar o forno) (GRINGAS, SNEED, 2018).

Um exemplo de Vaso Cerâmico produzido através de técnicas gregas pode ser encontrado na Figura 5.

Figura 5 - Vaso Cerâmico de Figuras Negras, *Hydrie à figures noires* 575-550 AC.



Fonte: Musée du Louvre

2.1.3 Cerâmica brasileira

A cerâmica brasileira originou-se em comunidades indígenas antes da colonização do país. Os primeiros registros de artesanato cerâmico nacional foram encontrados na Ilha de Marajó, no Pará, na forma de artefatos produzidos durante o período pré-cabraliano, isto é, antes da chegada dos portugueses. Também existe uma hipótese de que essa cerâmica pode ter sido

criada na região amazônica há cinco mil anos atrás. As cerâmicas encontradas na Ilha de Marajó são peças bem elaboradas, com acabamento sofisticado e em sua maioria com formatos de bancos, estatuetas, vasos, colheres, dentre outros. Um exemplo de vaso marajoara é representado na figura a seguir (Ford, 1989).

Figura 6 - Vaso Globular Marajoara, 400-1400 D.C



Fonte: Museu Nacional UFRJ

Com a chegada dos Portugueses, a arte cerâmica sofreu alterações especialmente devido ao estabelecimento de olarias (de acordo com o dicionário online *Michaelis*, lugar onde se fabricam objetos ou artigos de louça de barro ou cerâmica (MICHAELIS,2020)). Os portugueses também introduziram o torno para conformação, resultando em uma estética mais simétrica e com melhor acabamento (ANFACER, 2020).

2.2 Modelos de forno

2.2.1 Fornos com queima de combustível (*Fuel burning kilns*)

Os fornos que utilizam o processo de queima através de combustíveis são os mais utilizados durante a história do mundo. Isto se deve ao fato de que os combustíveis utilizados para realizar a queima são encontrados de forma abundante em diversos lugares do planeta. Os combustíveis são orgânicos e/ou a base de carbono, podendo ser de forma líquida, gasosa ou sólida, os principais sendo Madeira, Óleo e Gás, Sal, e *Soda Firing*. As estruturas desses fornos podem ser bem simples (figura 7), mas também podem possuir uma maior tecnologia e sofisticação, passando a ser classificados de acordo com a orientação do fluxo de calor produzido dentro do mesmo.

Figura 7 - Sawdust fire kiln

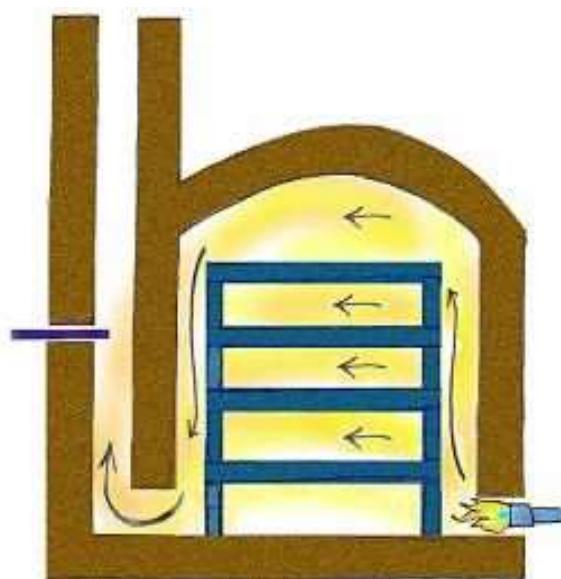


Fonte: Martin Stewart (2012)

Os mais sofisticados são separados em updraft, crossdraft e downdraft. Fornos crossdraft e downdraft são tecnologias mais eficientes e complexas, apresentando uma melhor retenção de calor, produzindo uma atmosfera interna com temperaturas superiores ao apresentado no updraft. Os fornos updraft possuem um mecanismo de fluxo de calor que se inicia pela parte inferior do forno, direcionando-se a saída localizada na parte superior. Fornos downdraft são construídos para que a sua fonte de calor esteja localizada em uma de suas extremidades (dianteira, traseira ou laterais), dessa maneira, o calor se movimenta de forma vertical até alcançar a parte mais alta da câmara onde, então, o fluxo sofre uma queda vertical

orientada para a chaminé que está localizada na extremidade oposta à fonte de calor. Já os Fornos crossdraft se assemelham com os downdraft, porém sua fonte de calor está localizada em suas laterais, e é conduzida por duas direções ao redor da câmara, se direcionando a saída localizada no lado oposto a fonte de calor. (Peterson, Peterson, 1992).

Figura 8 - Forno Downdraft.



Fonte: Beth E Peterson

Figura 9 - Forno Updraft



Fonte: Beth E Peterson

A madeira é muito utilizada como combustível não só devido a sua “abundância” pelos cinco continentes, mas especialmente graças a contribuição que suas cinzas fornecem às cerâmicas. Durante a queima de um forno alimentado por madeira, a cinza produzida é depositada lentamente sobre o artesanato, e então, devido as altas temperaturas encontradas no interior da câmara, essas cinzas são volatilizadas e se tornam um esmalte, produzindo uma superfície com efeitos que outros combustíveis não são capazes de produzir. Um dos empecilhos encontrados quando se é utilizado a madeira como forma de alimentação é a grande quantidade de combustível requerida, dessa forma, é aconselhável que o forno utilizado seja *downdraft* ou *crossdraft*, a fim de alcançar e manter temperaturas mais elevadas de maneira mais eficiente (Ceramics Arts Network, 2013).

Fornos que utilizam Óleos e Gases como fonte de energia são normalmente *downdraft's*, apresentando sua fornalha em uma das duas laterais da câmara de queima. As maiores diferenças entre a fisionomia de um forno *downdraft* que utiliza a queima de combustíveis sólidos para o de óleos e gases são: devido a não produção de resíduos (cinzas) os fornos para óleos e gases não necessitam de porta de entrada para que a retirada dessas cinzas seja efetuada; e a fornalha pode ser menor pois não precisa de grande volume de combustível. A queima utilizando óleo tem benefícios como a disponibilidade e baixo preço do combustível, em contrapartida para manter temperaturas superiores a 540°C é necessário ter um sistema de queimadores a fim de compensar, além de produzirem maior quantidade de fumaça quando comparado ao Gás. Para Fornos que utilizam Gás Natural como fonte de alimentação apresentam vantagens como moderada poluição e combustão eficiente, porém, sua disponibilidade é limitada a regiões populosas. O propano também pode ser utilizado, possuindo alta disponibilidade, mas apresenta um preço mais elevado ao comparado com os outros combustíveis (Ceramics Arts Network, 2013).

Os fornos que utilizam sal em sua queima necessitam de estruturas construídas com materiais refratários com alta alumina. O forno necessita ter uma porta em sua lateral para que, quando a temperatura interna do forno estiver próxima a seu máximo o Sal seja despejado dentro da câmara de queima. O sal é quebrado em Sódio e Cloro, e então o primeiro é depositado na superfície das cerâmicas fazendo com que Sílica e Alumina na peça cerâmica reajam com o Sódio formando um esmalte. Já o Cloro se transforma em gás e é expelido através da chaminé. Devido a sua alta toxicidade, fornos que usam Sal em seu processo devem ser construídos em lugares arejados e distantes de centros populacionais (Ceramics Arts Network, 2013).

Figura 10 - Cerâmica produzida com sal na queima (Salt-Fired Pottery)



Fonte: Vincent Massey Pottery

Soda Firing é um processo que foi criado com o intuito de reproduzir os efeitos da queima com Sal e torná-lo menos tóxico. Sua não toxicidade é derivada da ausência de Cloro em sua composição, e o processo também produz menos resíduo. O carbonato de sódio (Na_2CO_3) é introduzido na queima no ápice da temperatura do forno (aproximadamente a 1290°C) dessa forma, reagindo com a Alumina e Sílica presente na argila formando um acabamento superficial “limpo”. Os resultados encontrados nas cerâmicas produzidas com sódio apresentam algumas similaridades e diferenças em aspectos estéticos. A peças produzidas por essas duas técnicas de queima se diferem da seguinte maneira: Queima com Sal traz resultados com cores com um padrão geral claro e escuro; O Sódio presente na Soda Firing reage com o esmalte da cerâmica produzindo peças com cores com tons mais intensos, como exibido nas figura a seguir (Ceramics Arts Network, 2013).

Figura 11 - Copo amarelo produzido por Soda Firing



Fonte: Steve Davis

2.2.2 Forno elétrico

Fornos elétricos são amplamente produzidos e utilizados por ceramistas nos dias de hoje. Os preços da marca SKUTT, produtora norte americana de fornos desde 1953 (SKUTT, 2020) variam no Brasil entre R\$ 8.000 - R\$ 67.770 (IMPEDA, 2020). Estes fornos são divididos através das suas aberturas para a introdução das peças cerâmicas, o Forno “*Top Loading*” (abertura localizada na extremidade superior, representado na figura 12) e o Forno “*Front Loading*” (abertura na parte dianteira, como na figura 13). A popularidade dos fornos elétricos se deve especialmente a grande quantidade de modelos disponíveis no mercado, a simplicidade e também devido a sua baixa taxa de poluição. Em contrapartida, muitos ceramistas não utilizam a eletricidade para produzirem suas cerâmicas devido ao fato de que a atmosfera dentro da câmara não proporciona os efeitos que outros tipos de combustível produzem como as reações de redução e aumento do brilho em sua superfície (Ceramics Arts Network, 2013).

As estruturas dos fornos elétricos são relativamente simples, são compostos de uma câmara fechada construída de tijolos porosos e altamente isolantes. Em seu interior, existem

bobinas feitas de uma liga especial percorrendo canais entalhados em suas paredes. O calor é produzido através de uma grande quantidade de corrente elétrica impulsionada pelas bobinas enroladas. Esse processo faz com que haja um atrito, e desse atrito, a geração de energia elétrica. O calor gerado é distribuído uniformemente podendo ser controlado de maneira fácil, tornando os fornos elétricos uma fonte de produção de artesanato bem confiável, uma vez que todos os parâmetros são bem conhecidos e fáceis de ajustar (Ceramics Arts Network, 2013).

Figura 12 - “Top Loading” – Forno elétrico.



Fonte: How to make Pottery

Figura 13 - Forno elétrico Jung®



Fonte: Jung Artística

2.2.3 Sasukenei Smokeless Kiln

Os fornos Sasukenei Smokeless possuem fluxo *downdraft* e são construídos, em sua grande maioria, a partir de tijolos refratários, devido a sua alta temperatura de operação. Para seu funcionamento, emprega-se madeira como fonte de combustível, uma vez que as cinzas geradas do processo de combustão, resultam em efeitos especiais no acabamento da cerâmica produzida, como mencionado no tópico 2.2.1. É possível encontrar exemplos de fornos Sasukenei Smokeless que foram construídos ao redor do mundo. As figuras a seguir, mostram alguns desses exemplos construídos na Alemanha, Austrália, Brasil, Estados Unidos e Portugal.

Figura 14 - Sasukenei Smokeless Kiln em Margaret River, Austrália



Fonte: Shackleton Gallery

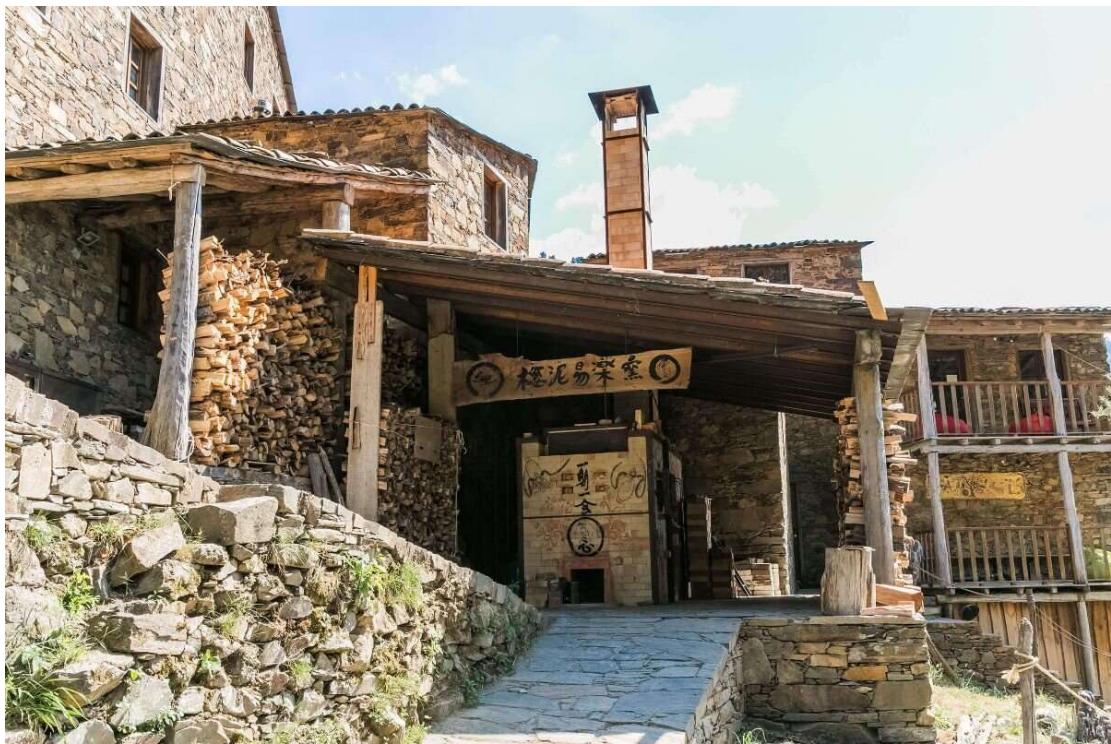
Nota-se pela figura 14, que uma camada de massa isolante é aplicada no exterior do forno, promovendo um acréscimo das propriedades isolantes. Outra característica importante do forno japonês é o posicionamento das aberturas multi-propósito. Como o nome diz, essas aberturas podem ser utilizadas para diversas aplicações como para medição de temperatura (termopar), prover visibilidade da chama, entre outros. (KUSAKABE; LANCET, 2005)

Figura 15 - Queima do forno Sasukenei na Alemanha.



Fonte: Erik Haugsby (2017)

Figura 16 - Sasukenei Smokeless Kiln em Cerdeira, Portugal;



Fonte: Cerdeira Home for Creativity (2019)

Figura 17 - Abertura pós queima do Sasukenei Smokeless Kiln em Cunha – SP.



Fonte: Instituto Cultural de Cerâmica de Cunha (ICCC)

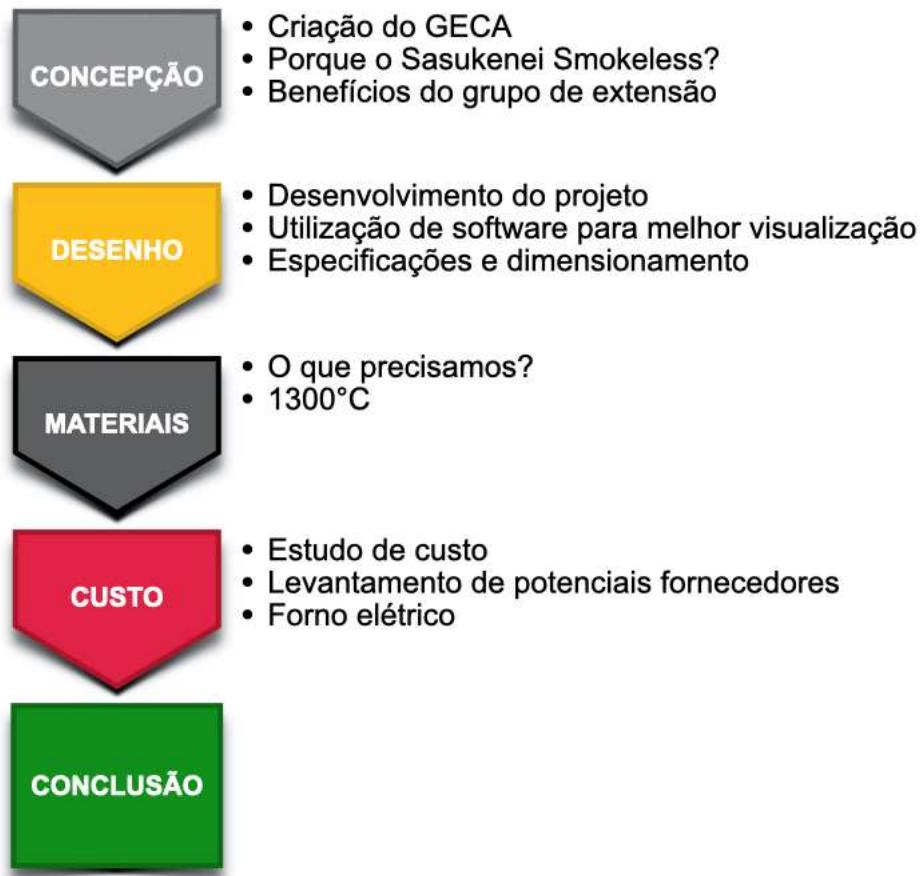
3 METODOLOGIA

Neste capítulo são descritos os procedimentos metodológicos utilizados para a elaboração de um projeto de construção de um forno para a produção de cerâmicas artesanais localizado na EESC.

Este trabalho foi divido em 5 etapas, Concepção, Desenho, Materiais, Custos e Conclusão. A primeira etapa consiste na elaboração do conceito e ideia, incluindo o porquê e as motivações para realização do trabalho. Em seguida, inicia-se etapa do desenho do projeto, focando em dimensões e especificações do forno. A terceira etapa funda-se na proposta de fazer um levantamento descritivo com todos os materiais e equipamentos que serão utilizados no projeto. Posteriormente, é realizado um estudo de custo do forno, incluindo fornecedores,

unidades e custo total. Por fim, quando todas as etapas estiverem concluídas, uma análise será realizada, com a finalidade de levantar prós e contras sobre a construção do forno no SMM *versus* a compra de um forno elétrico.

Figura 18 - Fluxograma Metodológico



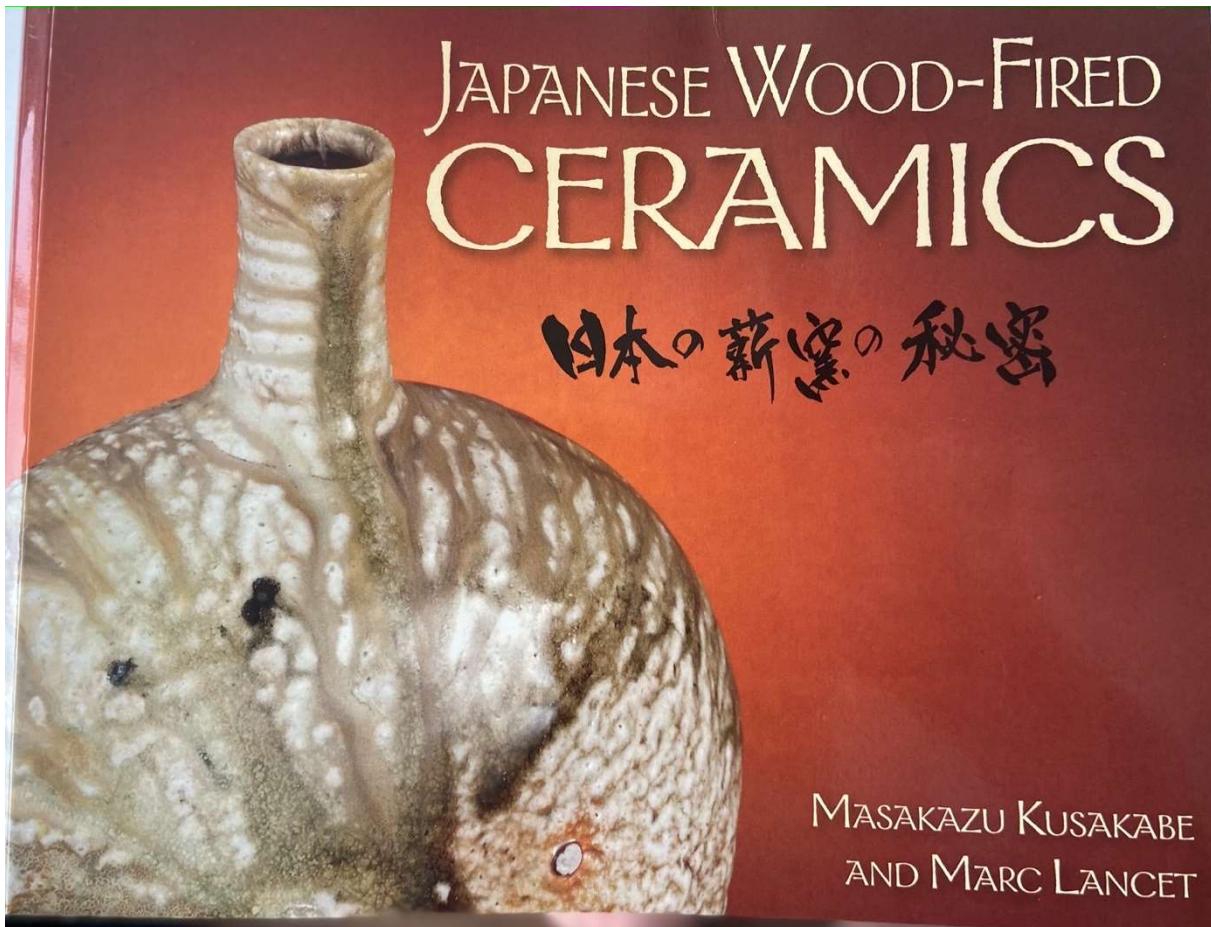
Fonte: Autor

3.1 Projeto do forno

Neste trabalho o detalhamento do projeto do forno Sasukenei Smokeless Kiln, de tecnologia japonesa, foi realizado através do suporte do livro "*Japanese Wood-Fired Ceramics*" escrito por Masakazu Kusakabe e Marc Lancet. Os autores separam o livro em três grandes partes: a primeira refere-se aos efeitos nas peças cerâmicas que a queima com madeira produz, incluindo alguns conceitos sobre a arte e estética da cerâmica japonesa; a segunda é destinada

a construção de dois modelos de fornos cerâmicos Japoneses (*Dancing Fire Wood Kiln* e *Sasukenei Smokeless Kiln*); por fim, o livro mostra aspectos operacionais do forno cerâmico.

Figura 19 - Livro *Japanese Wood-Fired Ceramics*.



Fonte: Autor

Foi definido que o projeto será desenhado com o auxílio do software AUTODESK® Inventor 2020, a fim de proporcionar maior detalhamento das especificações para a construção do forno Sasukenei Smokeless Kiln. As medidas e dimensões do desenho foram feitas por meio de adaptações realizadas com base no livro *Japanese Wood-Fired Ceramics* (referenciado acima). Dessa forma, o desenho do forno foi inteiro construído utilizando tijolos de dimensões 230 mm x 115 mm x 87 mm a fim de proporcionar maior precisão e concordância de medidas.

3.2 Refratários

Os materiais refratários utilizados na elaboração deste trabalho foram selecionados com base no projeto do livro de forma que se encaixem na realidade do GECA e também proporcionem a operação segura do forno á aproximadamente 1300°C. O projeto ilustrado no *Japanese Wood-Fired Ceramics* foi construído nos Estados Unidos da América, e, portanto, alguns dos materiais e utensílios utilizados foram adaptados a realidade em que nos encontramos.

Vale ressaltar que a literatura base classifica os refratários de acordo com sua temperatura máxima de aplicação, e não entra em detalhes sobre a composição dos tijolos. Dessa forma, no presente trabalho, os materiais foram selecionados a fim de proporcionar uma adaptação a realidade brasileira, mas que não deixasse de atender as funcionalidades únicas e requisitos mínimos do forno.

3.3 Fornecedores e custo

Com o propósito de se obter um custo final de construção do projeto, foi realizado um levantamento exploratório de potenciais fornecedores para equipamentos e materiais. Os fornecedores foram encontrados a partir de pesquisas *online* e com o enfoque, em especial, em empresas localizadas no estado de São Paulo.

Do mesmo modo para forno elétrico, foi feita uma análise de produtores nacionais. No entanto, como é um produto mais exclusivo e de menor procura que os equipamentos e materiais, a pesquisa foi expandida para todo o território nacional e não apenas para empresas no Estado de São Paulo.

Todos os valores foram cotados no período entre agosto e novembro de 2020.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são descritos os resultados obtidos através dos procedimentos metodológicos mencionados anteriormente.

O capítulo foi dividido em seis partes. A primeira evidencia as especificações de equipamentos e materiais necessários para a construção do forno. A segunda, por sua vez, destaca uma vista frontal com cotas do projeto desenhado com o auxílio do AUTODESK® Inventor 2020. Em seguida, inicia-se a parte em que detalha as etapas do processo de construção do Sasukenei Smokeless Kiln. A quarta parte detalha todos os custos relacionados ao projeto do forno japonês. Por sua vez, a quinta parte, mostra especificidades e custos de compra de um forno elétrico. Por fim, a sexta parte, apresenta uma discussão dos resultados obtidos e os relaciona em uma matriz comparativa.

4.1 Equipamentos e materiais

Os equipamentos e materiais utilizados para a construção do forno em questão foram adaptados a realidade do GECA, utilizando o livro descrito acima como referência e apoio.

No que tange aos materiais necessários, a grande maioria são tijolos. Dentro deste segmento, existem algumas ramificações e modelos diferentes que são utilizados no projeto, e em sua maioria são os chamados *Hard Firebrick* ou Tijolos Refratários. São recomendados para a construção de fornos pois são densos e necessitam de mais tempo e combustível para esquentar, e consequentemente, resfriam lentamente. Apesar de exigir mais matéria prima para aquecer, o resfriamento lento é um fator fundamental na produção de efeitos e cores desejados nas superfícies das cerâmicas artesanais. Além disso, apresentam outras vantagens em relação a outros modelos de tijolos como elevada resistência a impactos, erosão, resultando em uma maior durabilidade. (KUSAKABE; LANCET, 2005)

Outra categoria de tijolos que são utilizados são os Tijolos Isolantes que apresentam menor densidade que os Refratários e podem ser cortados e modelados com maior facilidade. No projeto do Sasukenei Smokeless Kiln são utilizados para a construção das portas, e Plugs para as aberturas de multi-propósito e alimentação do forno. Os tijolos são classificados de acordo com a temperatura de operação (em Fahrenheit), sendo, por exemplo, o número 16 capaz de aguentar temperatura até 1.600F (871C), podendo então ser 16, 20, 23, 24, 25, 26, 28, 30 e 32. Tijolos isolantes com numeração maiores ou iguais 26 trabalham bem em contato direto com o calor e são recomendados para a construção do forno a queima de madeira. (KUSAKABE; LANCET, 2005)

A argamassa é utilizada para assentar os tijolos na posição desejada e, eventualmente, cobrir pequeno buracos que ocorrem entre os tijolos durante a construção do forno. Devido a alta temperatura de operação do forno, faz-se necessário que a Argamassa resista temperaturas elevadas, dessa forma, deve-se utilizar uma Argamassa Refratária. Ela pode ser feita manualmente através das matérias primas ou comprada pronta. (KUSAKABE; LANCET, 2005).

- Argila Refratária (1 parte*);
- Areia (1 parte*);
- Água (adicionar até que a mistura fique com uma consistência pastosa para utilizar a Colher de Pedreiro);

* partes em volume.

É desejável ter uma alternativa para preencher buracos e irregularidades deixadas pela alocação de tijolos durante a construção do forno. O concreto refratário é uma opção que permite produzir formas complexas, além do mais oferecem resistência a altas temperaturas e podem ser produzidas em casa. (KUSAKABE; LANCET, 2005)

As prateleiras localizadas no interior do forno, com o intuito de apoiar as peças cerâmicas durante a queima, podem ser produzidas a partir de Argila/Mulita. Isto se deve ao fato de apresentam elevada resistência ao choque térmico, dessa forma, sendo menos propensa a rachaduras devido a variação e irregularidade de calor. (KUSAKABE; LANCET, 2005)

Uma camada de Massa Isolante deve ser aplicada no exterior do forno a fim de promover um aumento nas características isolantes. Com o intuito de intensificar as propriedades isolantes da massa, deve-se adicionar a mistura vermiculita, um silicato hidratado de magnésio, alumínio e ferro. A vermiculita é utilizada devido a sua baixa condutividade térmica, e também ao fato de possuir em sua estrutura moléculas de água intercaladas com as camadas de alumínio e silício, dessa forma, quando expostas a altas temperaturas as partículas se expandem e formam pequenos bolsões de ar na mistura (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2008). A seguir, encontra-se a receita para produzir a Massa isolante: (KUSAKABE; LANCET, 2005)

- Cimento Portland (1 parte*);
- Argila Refratária (2 partes*);
- Vermiculita Expandida (6 partes*);
- Água (adicionar água até ter a consistência de um "queijo minas frescal");

* partes em volume.

Com a finalidade de alterar o tom cinzento resultante da utilização da Massa Isolante no exterior do forno, aplica-se uma camada de Coating. As seguintes receitas são recomendadas para produzir uma estética mais atraente:

Receita 1 (coloração Terra Cotta):

- Cimento Portland (1 parte*);
- Argila Refratária (8 partes*);
- Água (adicionar para dar consistência a mistura)

Receita 2:

- Cimento Portland (1 parte*);
- Argila Refratária (8 partes*),
- Óxido de Ferro III (usar até atingir a cor desejada);
- Água (dar consistência a mistura).

* partes em volume.

Madeira Compensada e Hastes Metálicas de Aço também são necessárias para a construção do forno. A primeira é utilizada para a confecção de um molde de madeira no formato de um arco. Enquanto a segunda é responsável pelo suporte extra de sustentação da chaminé e a estrutura do forno. (KUSAKABE; LANCET, 2005)

A seguir, é mostrado uma tabela que contém uma descrição dos materiais necessários para a construção do forno. (KUSAKABE; LANCET, 2005)

Tabela 1 – Lista de materiais necessários para a construção do Sasukenei Smokeless Kiln.

Item	Descrição
<i>Tijolo refratário I</i>	229x114x76
<i>Tijolo refratário II</i>	229x64x172
<i>Tijolo isolante</i>	229x114x76
<i>Placa refratária I</i>	457x114x76
<i>Argamassa</i>	Refratária
<i>Concreto</i>	Refratário
<i>Vermiculita</i>	Expandida Super Fina
<i>Cimento</i>	Portland 50kg
<i>Argila</i>	Refratária
<i>Água</i>	-

<i>Madeira</i>	Compensado
<i>Cantoneira</i>	2.1/2 x ¼ ASTM A36

Fonte: Autor

A seguir, é mostrado uma descrição dos equipamentos necessários para a construção do forno.

Tabela 2 – Lista de Equipamentos necessários para a construção do Sasukenei Smokeless Kiln

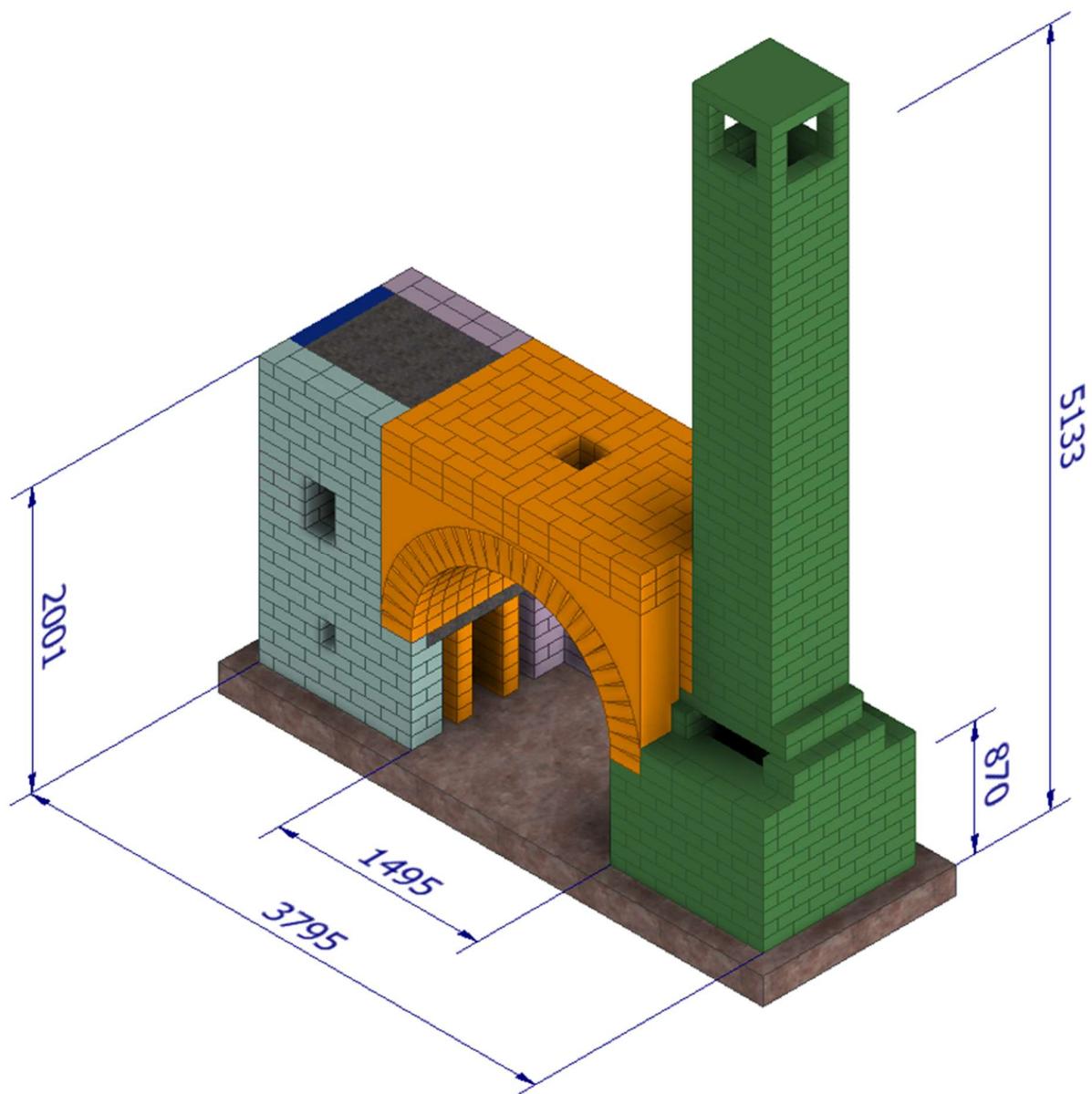
<i>Item</i>	<i>Descrição</i>
<i>Par de luvas</i>	Látex
<i>Pá</i>	Bico 71cm
<i>Enxada</i>	Estreita de cabo 145cm
<i>Picareta</i>	Estreita com cabo de madeira 90cm
<i>Carrinho de mão</i>	Com caçamba de 50 litros
<i>Martelo unha</i>	20mm com cabo de madeira
<i>Marreta</i>	1kg
<i>Marreta de borracha</i>	Com cabo de madeira 26cm
<i>Equipamentos de níveis</i>	Nível manual de metal (400mm)
<i>Fita métrica</i>	Trena embrorrhachada 2mx16mm
<i>Régua quadrada</i>	Régua para pedreiro (2,3x4,7x300cm)
<i>Madeira</i>	Estacas de madeira
<i>Corda trançada</i>	Poliéster 6mmx10m
<i>Lápis de carpinteiro</i>	Par de lápis (0,8cm)
<i>Talhadeira</i>	Aço redonda 3/4x12”
<i>Colher de pedreiro</i>	Com cabo de madeira de tamanho 8
<i>Espátula</i>	Em aço com cabo de plástico
<i>Prumo</i>	400g
<i>Peneira</i>	De madeira diâmetro 55cm

Fonte: Autor

4.2 Principais cotas e dimensões

A seguir, encontra-se uma vista diagonal superior direita do forno desenhado com o auxílio do AUTODESK® Inventor 2020. Dessa forma, é possível obter uma perspectiva completa das dimensões do forno. As cotas da figura 20 estão em milímetros.

Figura 20 – Vista superior direita do Sasukenei Smokeless Kiln.



Fonte: Autor

4.3 Procedimento de construção do forno

Todas as etapas de construção mostradas a seguir, foram adaptadas a realidade do GECA e descritas com base no projeto apresentado no livro "*Japanese Wood-Fired Ceramics*" escrito por Masakazu Kusakabe e Marc Lancet.

Antes de iniciar a construção, deve-se atentar a escolha de um local adequado. Para isso, alguns fatores precisam ser levados consideração como a direção e quantidade de vento. É recomendado que a boca de alimentação principal do forno esteja alinhada com a direção do vento a fim de ajudar no fluxo no interior. Caso o vento seja muito forte, pode ser necessário construir uma barreira ou impedimento para de reduzir o impacto no interior do forno. Também é aconselhável direcionar a fumaça produzida (mesmo que mínima) pela chaminé para longe de vizinhos. (KUSAKABE; LANCET, 2005)

A área deve conter espaço suficiente para armazenamento de madeira (combustível para a queima) e outros equipamentos. Deve-se também levar em consideração as condições do local em tempos chuvosos, para que a estrutura do forno não seja danificada em casos de enchentes. Uma alternativa para prevenir problemas causados por excesso de água é assentar o solo com uma camada de pedregulhos antes da construção do forno proporcionando uma melhor drenagem. (KUSAKABE; LANCET, 2005)

4.3.1 Início das obras

O processo inicia-se determinando um local (seguindo as recomendações feitas acima) para construção do forno. O Sasukenei Smokeless Kiln é construído em uma superfície plana, dessa forma, é essencial compactar o solo com o auxílio de uma Placa Vibratória. A análise do tipo de solo deve ser realizada para determinar a necessidade de adicionar componentes a compactação, por exemplo, para casos em que o solo apresenta problema de drenagem, é recomendado a utilização de pedregulhos com a finalidade de evitar que chuvas e inundações danifiquem a estrutura do forno. Após a compactação inicial, resultante da condição do solo, uma camada de aproximadamente 2,5cm de areia deve ser despejada sobre a região no qual o forno será construído e posteriormente nivelada com o objetivo de assentar a primeira camada de tijolos. (KUSAKABE; LANCET, 2005)

O Piso do forno possui duas camadas de tijolos de dimensão convencional (exibidas na figura a seguir) dispostos de forma que a camada superior seja perpendicular (90 graus) à linha de junta de sobreposição da camada inferior (mostrado na figura 21) a fim de proporcionar máxima resistência a tensão e deformação. Uma fina camada (0,32cm a 0,5cm) de argamassa refratária deve ser aplicada, com o auxílio de uma Colher de Pedreiro, para assentar os tijolos. Deve-se, então, fazer uso de equipamentos de Nível para garantir que a paredes que estão sendo construídas estão perpendiculares ao solo. Utilizar pedaços de tijolos quebrados ou concreto refratário em caso de espaçamentos/sobras nas camadas assentadas do forno. (KUSAKABE; LANCET, 2005)

Figura 21 - Orientação da camada tijolos do piso do forno.

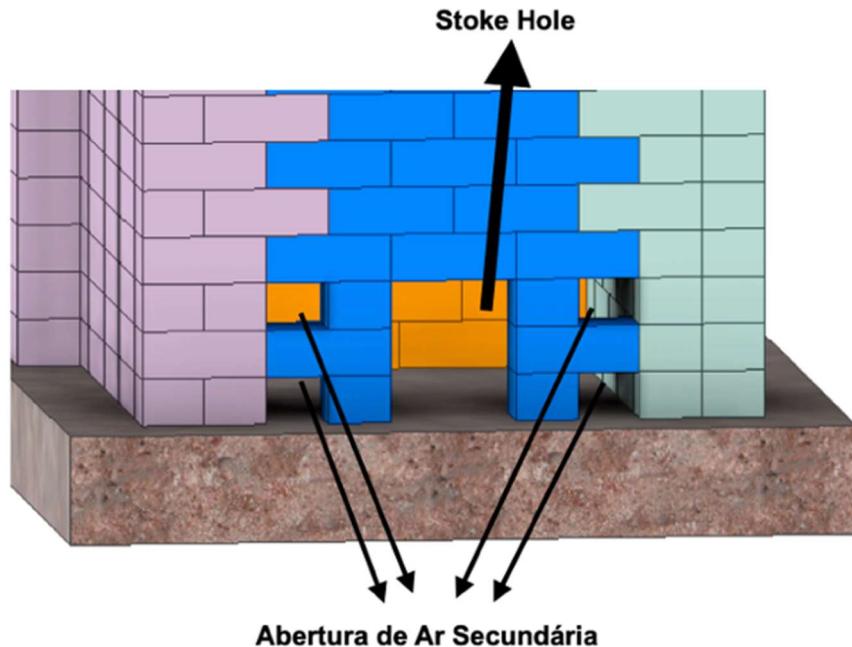


Fonte: Autor

4.3.2 Fornalha e alicerce da chaminé

A fornalha utilizada no forno Sasukenei Smokeless Kiln, possui cinco aberturas localizadas na base da parede lateral (figura 22). As quatro menores, alocadas em pares nas laterais da central, são as chamadas Aberturas de Ar Secundária, e são distribuídas de forma que as inferiores possuam o dobro da profundidade das superiores. Esse design permite que as aberturas secundárias de ar sejam rapidamente cobertas com brasas durante a queima, garantindo que a entrada de ar no forno através dessas aberturas (ou ar secundário) seja aquecido, evitando a perda de temperatura interna. (KUSAKABE; LANCET, 2005)

Figura 22 – PAREDE PRINCIPAL DA FORNALHA

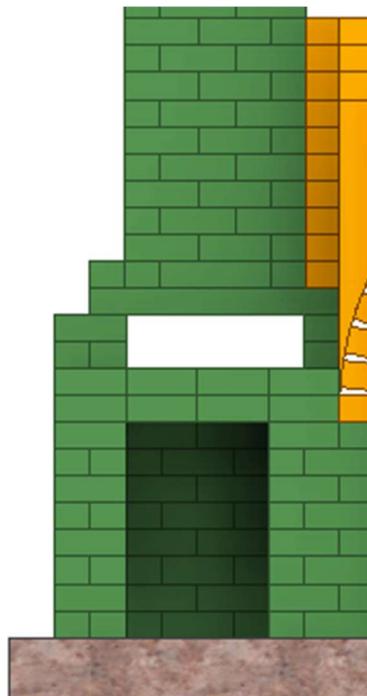


Fonte: Autor

A abertura maior, e localizada no centro é o *Stoke Hole* e é utilizado para realizar o *Priming* e o preaquecimento. *Priming* é uma etapa cuja finalidade é aquecer o ar estagnado dentro da chaminé antes do pré-aquecimento do forno. Esse procedimento garante que o ar represado esteja suficientemente quente para fluir através dos dutos condutores e ser expelido para o exterior do forno. (KUSAKABE; LANCET, 2005)

Importante ressaltar que, a parte traseira do alicerce da chaminé, possui uma abertura, com o propósito de formar uma câmara de queima que resultará em efeitos únicos na superfície da cerâmica produzida. Essa particularidade é mostrada na figura a seguir: (KUSAKABE; LANCET, 2005)

Figura 23 – Abertura da parte traseira da chaminé.

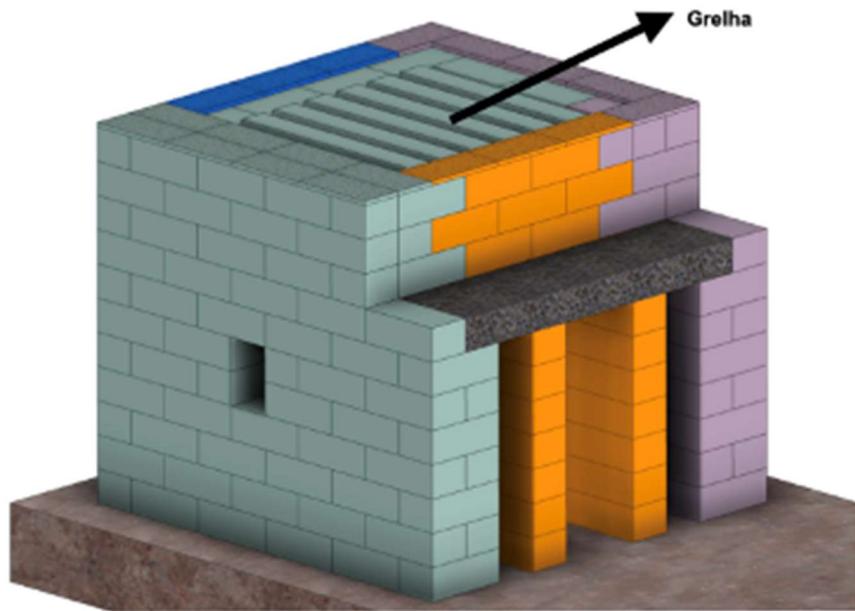


Fonte: Autor

4.3.3 Finalizando o alicerce da fornalha e chaminé

A Grelha é construída em cima do alicerce da fornalha com tijolos grandes (457mm x 114mm x 76mm) dispostos de maneira lateral. Eles são apoiados em uma borda gerada por uma camada de tijolos assentados, evidenciado na figura a seguir. A abertura na frente da fornalha é chamada de Abertura de Observação da Brasa, que tem como objetivo dar visibilidade a condição da brasa, podendo, então, fazer ajustes na quantidade de combustível. (KUSAKABE; LANCET, 2005)

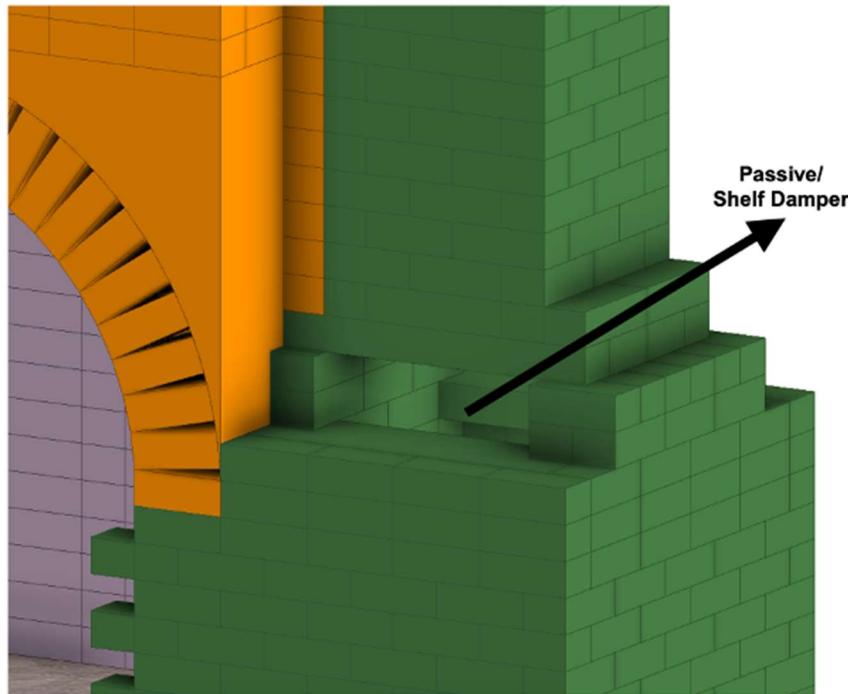
Figura 24 – Grelha da fornalha.



Fonte: Autor

No topo do alicerce para a chaminé, começa-se então a construção da base que dará sustentação ao corpo da mesma. A abertura maior encontrada na base da chaminé tem um design que permite um ser tanto um *Shelf Damper* quanto um *Passive Damper* na mesma localização. A função do *Damper* é a mesma de uma válvula de controle, dessa forma, é possível ajustar o fluxo que está passando na chaminé. O fluxo é controlado pela adição ou remoção de tijolos na abertura proposta para o *Damper*, podendo então, cobrir o espaço e reduzir a quantidade de ar secundário entrando/saindo resultando no aumento do fluxo dentro da chaminé. No Sasakenei Smokeless Kiln, existem dois pontos onde é encontrado o *Shelf Damper* e *Passive Damper*, ambos localizados de maneira espelhada na base da chaminé. (KUSAKABE; LANCET, 2005)

Figura 25 – Passive/Shelf Damper localizados na base da chaminé.



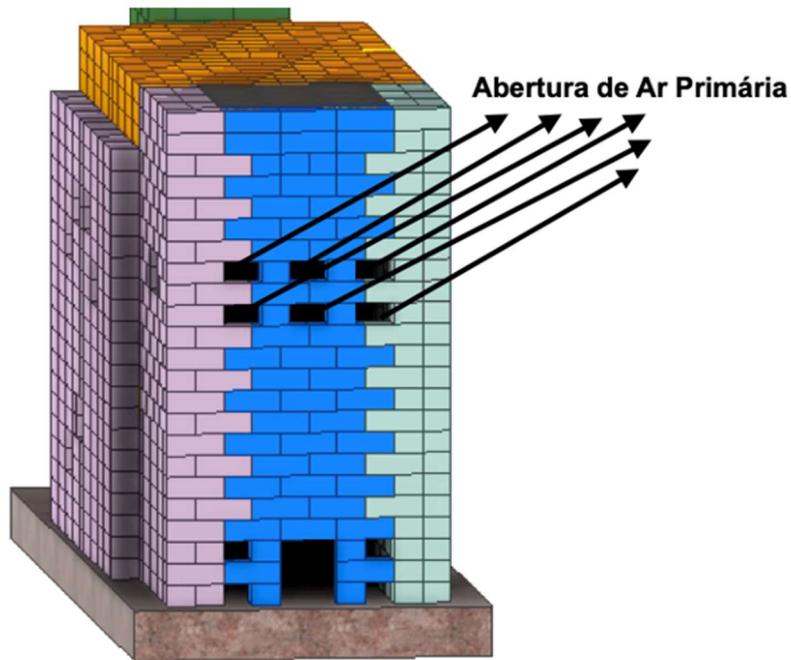
Fonte: Autor

4.3.4 Arco de madeira, Chamber Ware e Bourry box

O arco de madeira utilizado no processo de construção do forno cerâmico tem como finalidade dar suporte e forma à câmara na qual as cerâmicas serão alocadas (*Ware Chamber*). O arco deve ser alocado de forma que seu interior fique nivelado com a face interna dos condutores de fluxo. Existem duas opções para a obtenção do arco, sendo a primeira uma construção caseira e a segunda é o envio do projeto à uma pessoa especializada em carpintaria. Caso o arco seja feito manualmente, deve-se, então, comprar placas de compensado de madeira e utilizar uma serra tico-tico para realizar cortes com maior facilidade. (KUSAKABE; LANCET, 2005)

Bourry box, é um estilo de forno no qual as entradas principais de ar estão localizadas acima da fornalha. Essa característica faz com que ar primário (grande responsável pela combustão) atravesse essas entradas e desça em direção a madeira/lenha, direcionado o calor e as chamas para dentro da câmara principal do forno (*Ware Chamber*). (KUSAKABE; LANCET, 2005)

Figura 26 - Vista frontal da fornalha Bourry Box



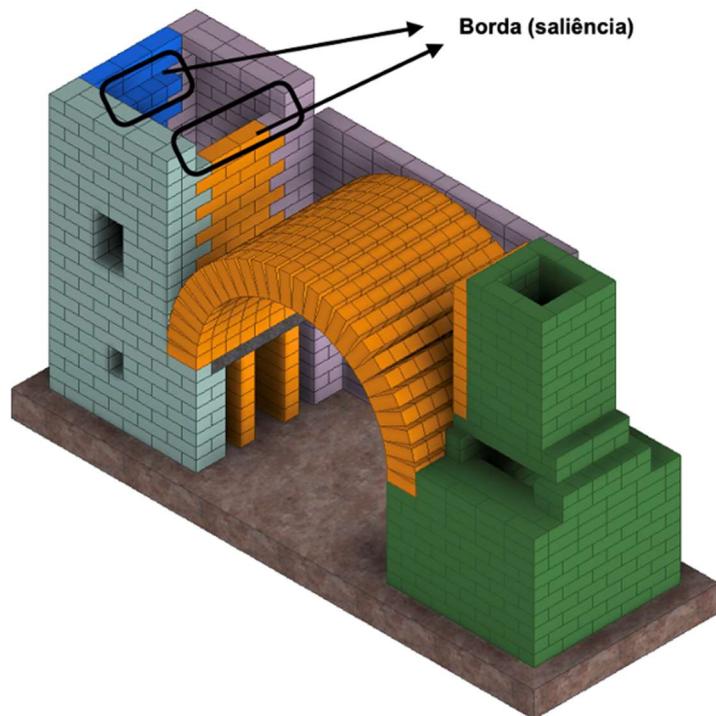
Fonte: Autor

Após a construção do alicerce da fornalha e da grelha (explicada no tópico anterior), deve-se, então, prosseguir a elevar as paredes conforme mostra a figura 27. Duas bordas (saliências) devem ser deixadas para que posteriormente deem suporte aos tijolos grandes que irão cobrir o telhado da fornalha. (KUSAKABE; LANCET, 2005)

Uma vez que o arco e a fornalha estejam prontos, inicia o processo de construção das paredes que darão suporte a estrutura ao arco da Ware Chamber. Essas paredes estão localizadas entre o arco e a fornalha e entre a chaminé e o arco como mostrado na figura abaixo. Os topo das paredes devem estar nivelados com o telhado construído para a fornalha e também, é recomendado deixar um espaço suficiente para poder inserir um termopar. (KUSAKABE; LANCET, 2005)

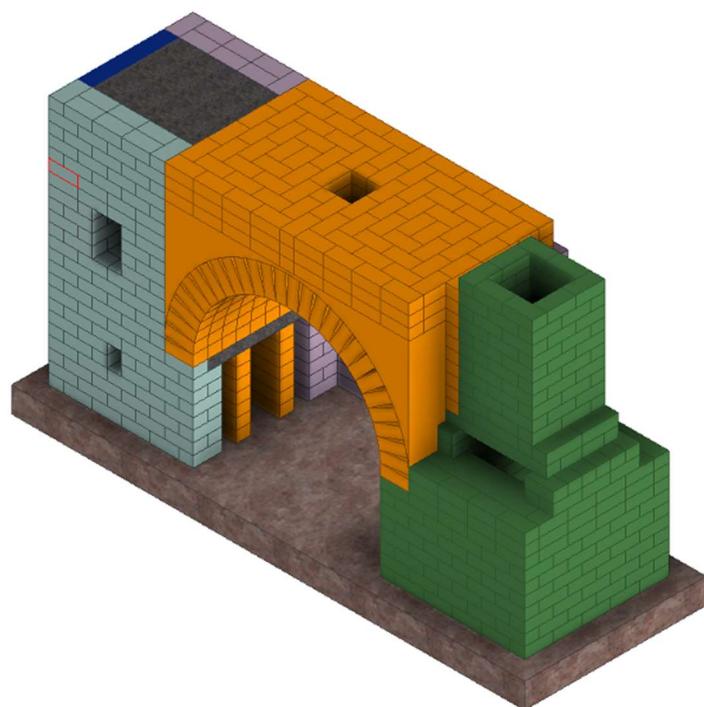
Por fim, complete a fornalha adicionando os tijolos grandes na borda (saliência) formada como mencionado anteriormente.

Figura 27 – Fornalha com a saliência em evidencia



Fonte: Autor

Figura 28 – Fornalha completa.

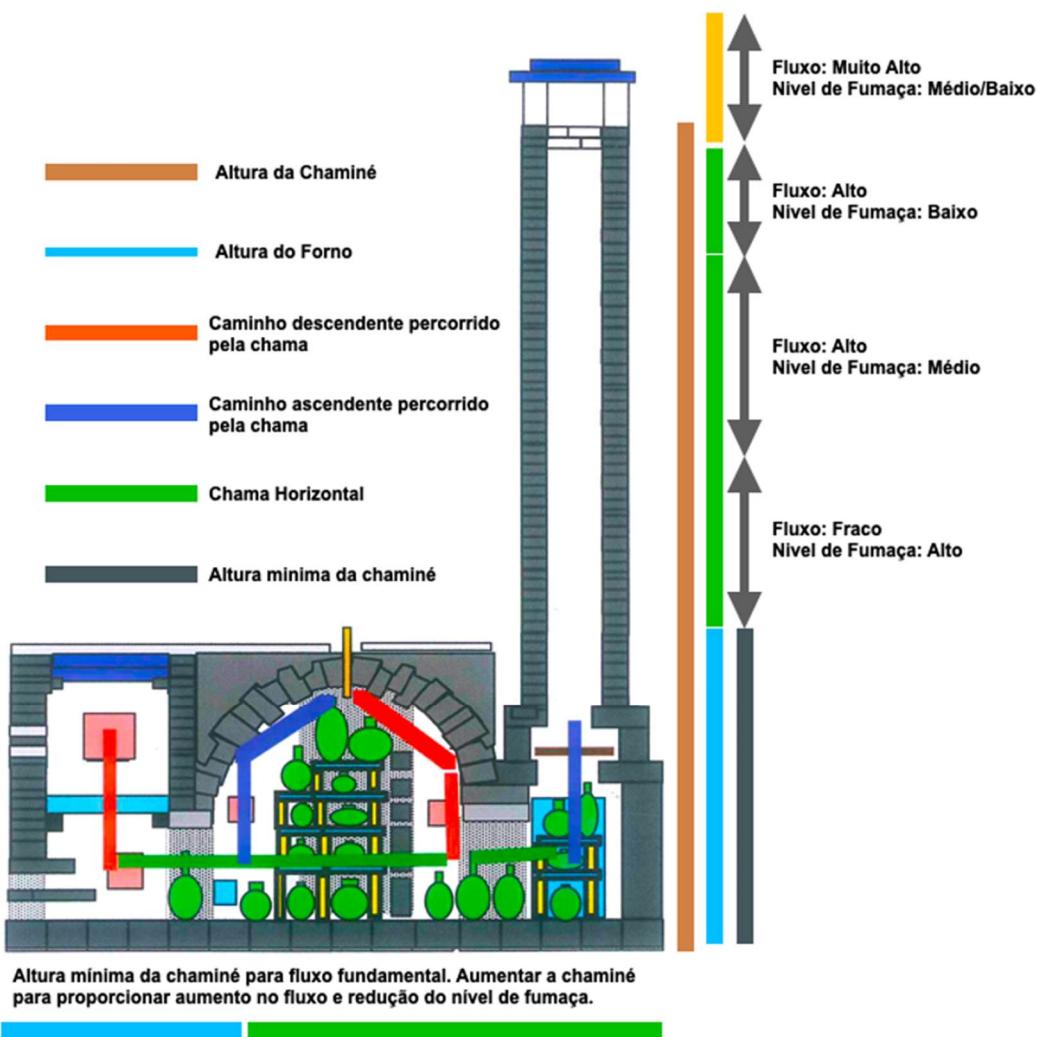


Fonte: Autor

4.3.5 Altura da chaminé

A altura da chaminé está diretamente relacionada ao fluxo interno e também a quantidade de fumaça que o forno produzirá, como ilustrado na figura 29. Com a finalidade de construir um forno que não produza fumaça (Smokeless), é recomendado realizar uma queima experimental para ajustar a altura da chaminé. Durante esta queima, caso o nível de fumaça esteja elevado, deve-se adicionar novas camadas de tijolos com o intuito de aumentar a altura da chaminé e atingir o ponto em que a exaustão de fumaça cesse. (KUSAKABE; LANCET, 2005)

Figura 29 – Altura da chaminé

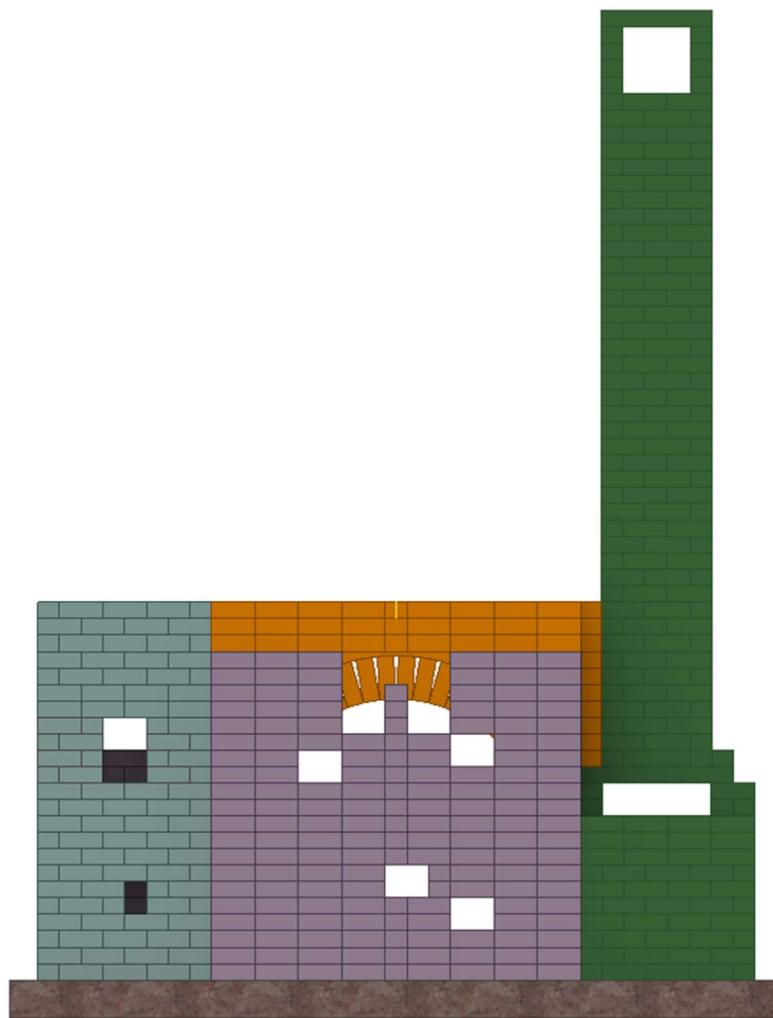


Fonte: Japanese Wood-Fired Ceramics. Tradução: Autor.

4.3.6 Parede dianteira e traseira

A parede dianteira e traseira do Sasukenei Smokeless Kiln apresentam similaridades entre si. A primeira deve ter uma espessura dupla no contorno do arco e apresentar 6 aberturas com múltiplas finalidades. A maioria dessas aberturas devem ser direcionadas para a avaliação da temperatura dentro do forno ou para realizar testes de PCE, e apenas uma, localizada mais próxima da fornalha, para avaliar a chama entrando na *Ware Chamber*. (KUSAKABE; LANCET, 2005)

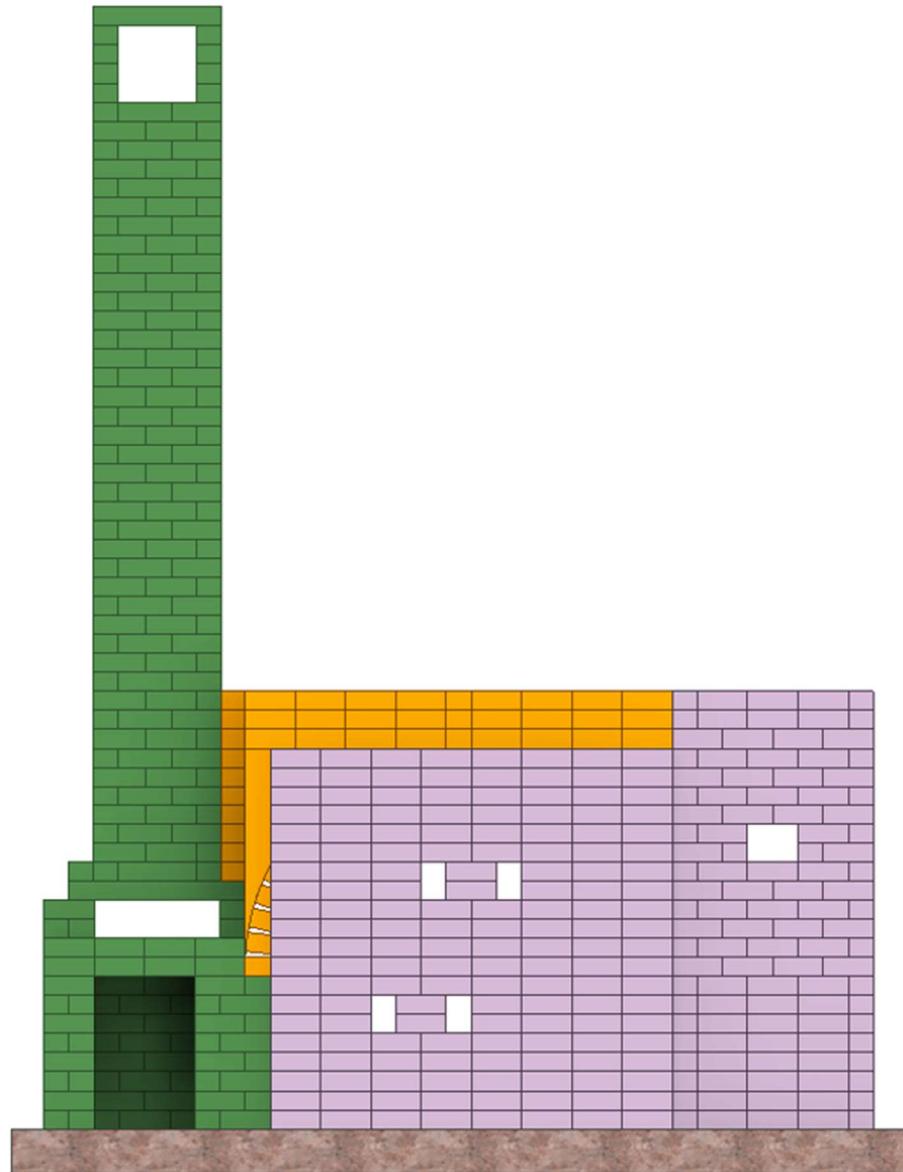
Figura 30 – Parede dianteira do forno.



Fonte: Autor

Por fim, a parede traseira possui quatro aberturas com multi-propósito (Teste PCE, Inserção de Termopar ou Observação da chama). Sua espessura deve ser de 1 tijolo comum (11,4cm) e possui 20 tijolos de altura, equivalente a 128cm.

Figura 31 – Vista parede posterior do forno.



Fonte: Autor

4.3.7 Ajustes finais e acabamentos

A última etapa de construção Sasukenei Smokeless Kiln consiste na alocação de chapas de aço em algumas superfícies externas do forno, para proporcionar uma melhor sustentação. As chapas devem possuir, no mínimo, 0.6cm de espessura e são alocadas nas quatro arestas da chaminé e nos vértices superiores da Bourry Box e câmara da queima. Para melhor fixação e proteção do forno, as chapas de aço devem ser ligadas por uma corrente. (KUSAKABE; LANCET, 2005)

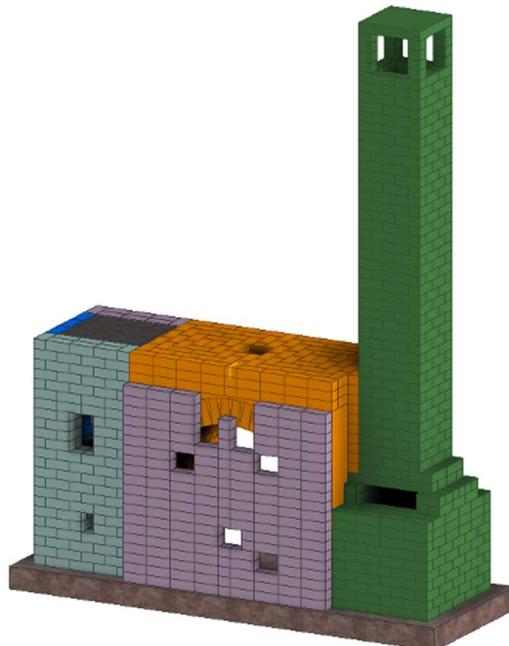
A Seguir, deve-se aplicar por todo o forno uma camada de aproximadamente 10cm de Massa Isolante. Apenas a parte superior da chaminé não deve ser revestida, limitando-se apenas ao alicerce e primeira câmara da chaminé.

Por fim, com o intuito de dar um acabamento e uma estética mais agradável, uma camada de Coating com a coloração desejada deve ser aplicado. No tópico 3.2, encontra-se duas receitas para produzir o Coating. (KUSAKABE; LANCET, 2005)

4.3.8 Vistas dianteira e traseira

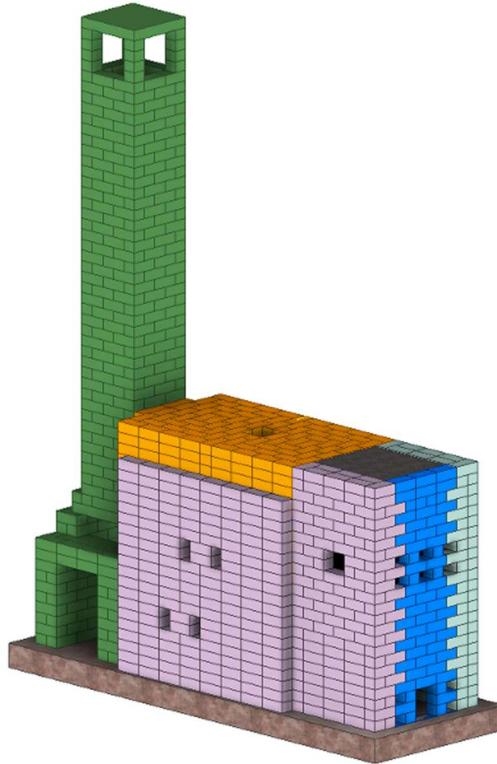
A seguir, encontra-se o uma vista frontal e uma posterior do forno com suas respectivas paredes construídas.

Figura 32 – Vista frontal do forno.



Fonte: Autor

Figura 33 – Vista da parte traseira do forno e Fornalha.



Fonte: Autor

4.4 Custo de construção

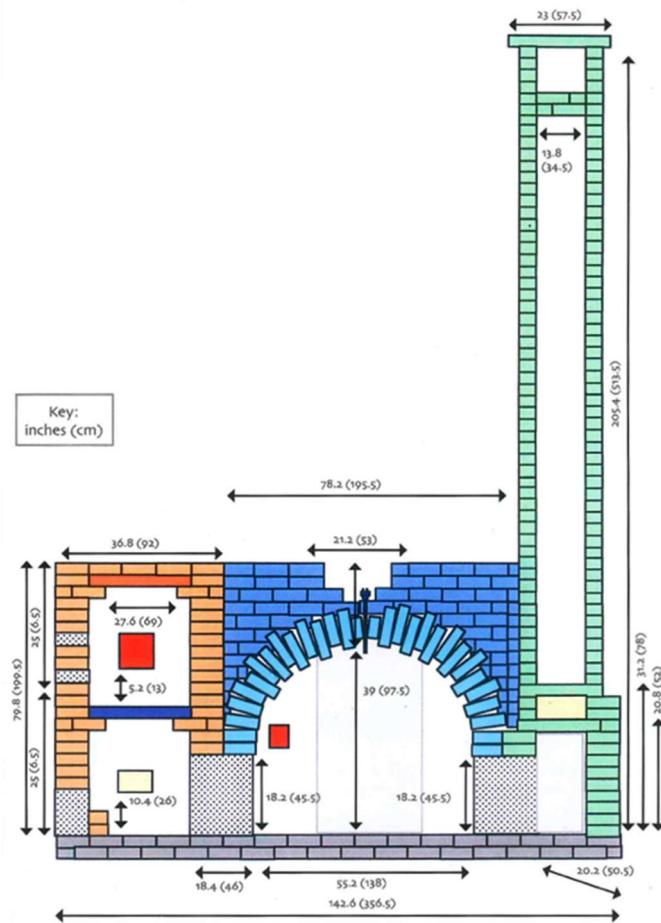
Esta secção é destinada ao estudo de custo realizado para que a construção do forno se torne possível. Vale ressaltar que alguns dos Equipamentos listados a seguir são itens comuns e podem ser encontrados no SMM ou até mesmo nas casas das pessoas que construirão o forno. Entretanto, para este trabalho, os itens mencionados e seus respectivos valores serão incluídos na listagem de custo total do projeto.

4.4.1 Quantidade de material e especificações

A quantidade de material foi determinada com apoio no projeto representado no *Japanese Wood-Fired Ceramics*. O livro esquematiza o projeto do forno através de uma vista frontal (apresentada na figura 34), porém, não especifica quantidade de materiais utilizada, apenas indica que os tijolos retratados na figura representam a realidade. Outras fotos são

mostradas no livro com o intuito de mostrar a profundidade lateral e as especificidades do forno (buracos de observação).

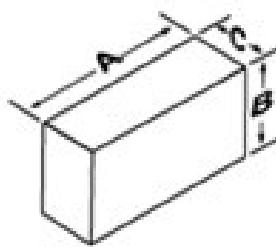
Figura 34 - Vista frontal com cotas representada no livro apoio.



Fonte: Japanese Wood-Fired Ceramics

Devido a ausência de especificações referentes a quantidade de material utilizada para a construção do Sasukenei Smokeless Kiln, a elaboração do desenho neste projeto foi realizada através da contagem de tijolo a tijolo seguindo as dimensões totais do forno (figura acima). Houve certa divergência, especialmente na espessura dos tijolos, uma vez que os tijolos refratários comercializados no Brasil possuem, usualmente, dimensões 229x114xC onde C varia entre 16-76mm e a divisão da altura pela quantidade de tijolos resulta em 86mm. A hipótese principal para a ocorrência dessa diferença, foi a desconsideração da camada de Argamassa Refratária utilizada para assentar os tijolos. Com o intuito de padronizar e respeitar as medidas originais, foi adotado no desenho um tijolo com espessura (C) de 86mm.

Figura 35 – Dimensões dos tijolos.



Fonte: Refratil

Dessa forma, foi calculado um total de 3.018 unidades de tijolos distribuídos conforme a Tabela 3. Nota-se que grande parte dos materiais necessários para a construção são tijolos refratários e isolantes, dessa forma, foi aplicado uma margem de 10% na quantidade com total com o objetivo de proporcionar uma parcela extra de tijolos caso aconteça algum imprevisto.

Tabela 3 – Especificações e quantidades dos materiais para construção do Sasukenei Smokeless Kiln.

Material	Dimensão (mm)	Quantidade
Tijolo refratário I	229x114x86	2.300
Tijolo refratário II	229x64x172	12
Tijolo Isolante	229x114x86	700
Placa refratária	457x114x76	6

Fonte: Autor

Uma vez determinada o montante de tijolos necessários para a construção do forno, calculou-se a quantidade, em quilogramas, de argamassa refratária para assenta-los. É recomendado que uma camada de aproximadamente 0,32cm-0,50cm seja depositada para realizar esta etapa. De acordo com fornecedores e profissionais do ramo, 32kg de Argamassa refratária úmida assentam aproximadamente 170 tijolos, portanto, para 3018 tijolos, será necessário 568,1kg, conforme ilustrado a seguir.

$$3018 \times \left(\frac{32}{170} \right) = X$$

$$X = 568,1 \text{ kg}$$

Logo após, calculou-se a quantidade dos componentes da Massa isolante de traço 1:2:6 (Cimento: Terra Refratária: Vermiculita) que devem ser comprados. Deve-se aplicar uma camada de 5cm-15cm da Massa no exterior do forno. O cálculo da quantidade de Cimento Portland que deverá ser composta foi realizado adotando espessura de 5cm.

Tabela 4 – volume necessário de Massa Isolante

Parede	Largura	Comprimento ou Altura	M^2	Espessura	M^3
<i>Frontal</i>	2,87	2,0	5,71	5×10^{-2}	0,0571
<i>Posterior</i>	2,87	2,0	5,71	5×10^{-2}	0,0571
<i>Lateral I</i>	1,1	2,0	2,28	5×10^{-2}	0,0228
<i>Lateral II</i>	1,1	2,0	2,28	5×10^{-2}	0,0228
<i>Teto</i>	2,87	1,1	3,29	5×10^{-2}	0,0329
<i>Total</i>			19,27		0,1927

Fonte: Autor

De acordo com especialistas, tem-se que 1 saco de Cimento Portland (50kg) equivale a 16 litros. Sabe-se também que:

$$1l = 0,001\text{m}^3$$

$$200l = 0,2\text{m}^3$$

Se dividirmos 200 litros por 9 (quantidade de traços total), obtemos que cada traço equivale a 22,22 litros. Dessa forma, serão necessários 22,22 litros de cimento Portland, para 44,44 litros de terra refratária e 133,32 litros de Vermiculita expandida.

4.4.2 Fornecedores

A pesquisa exploratória de fornecedores para os materiais foi conduzida durante o mês de outubro de 2020, dessa forma, os preços e custos obtidos são recentes. Para este trabalho, utilizou-se três empresas principais para a cotação total de custo do forno, as empresas A, B, C e D. N.D representa produtos não disponíveis.

Tabela 5 – Comparaçao entre empresas de disponibilidade e preço dos materiais

<i>Produto</i>	<i>Medida</i>	<i>Empresa A</i>	<i>Empresa B</i>	<i>Empresa C</i>	<i>Empresa D</i>
Tijolo refratário	Uni.	15,0	7,6	3,4	6,8
Tijolo isolante	Uni.	16,0	N.D	10,5	7,8
Argamassa	R\$/kg	3,3	2,6	3,8	3,0
Vermiculita	R\$/L	0,5	0,5	N.D	0,5
Concreto refratário	R\$/kg	2,7	N.D	4,0	3,8

Fonte: Autor

As tabelas 6, 7, 8 e 9 expandem as especificações dos produtos disponíveis em cada empresa.

Tabela 6 – Especificações produtos da Empresa A.

Empresa A	Tamanho/Medida	Preço (R\$)
Tijolo refratário	1 unidade	15
Tijolo Isolante	1 unidade	16
Argamassa refratária	Saco de 30kg	100
Vermiculita expandida	Saco de 100 Litros	45
Concreto refratário	Saco de 25kg	120

Fonte: Autor

Tabela 7 - Especificações produtos da Empresa B.

Empresa B	Tamanho/Medida	Preço (R\$)
Tijolo refratário	1 unidade	7,55
Tijolo Isolante	N.D	-
Argamassa refratária	Saco de 7kg	18
Vermiculita expandida	Saco de 100 Litros	45
Concreto refratário	N.D	-

Fonte: Autor

Tabela 8 - Especificações produtos da Empresa C.

Empresa C	Tamanho/Medida	Preço (R\$)
Tijolo refratário	1 unidade	3,35
Tijolo Isolante	1 unidade	10,25
Argamassa refratária	Saco de 32kg	120
Vermiculita expandida	N.D	-
Concreto refratário	Saco de 25kg	99

Fonte: Autor

Tabela 9 - Especificações produtos da Empresa D.

Empresa D	Tamanho/Medida	Preço (R\$)
Tijolo refratário	1 unidade	6,5
Tijolo Isolante	1 unidade	7,8
Argamassa refratária	Saco de 35kg	103
Vermiculita expandida	Saco de 100 Litros	52,5
Concreto refratário	Saco de 25kg	95

Fonte: Autor

4.4.3 Custo total

A seguir, encontra-se a tabela 10 com o custo e quantidade de todos os equipamentos. Para isso, foi realizada uma análise, e escolheu-se os produtos de menores custos, independente das empresas, para a composição do custo total mostrado na próxima secção. Já para os equipamentos, fez-se uma cotação através do site da Leroy Merlin em outubro de 2020.

Tabela 10 – Cálculo do custo de cada equipamento.

Ítem	Medida	Quantidade	Preço por Medida (R\$)	Preço total (R\$)	%
Par de luvas	un.	4	7,8	31,2	3,9%
Pá	un.	2	26,9	53,8	6,7%
Enxada	un.	1	41,9	41,9	5,2%
Picareta	un.	1	73,9	73,9	9,2%
Carrinho de Mão	un.	1	154,9	154,9	19,4%
Martelo unha	un.	1	24,9	24,9	3,1%
Marreta	un.	1	54,9	54,9	6,9%
Marreta de borracha	un.	1	28,9	28,9	3,6%
Equipamento de níveis	un.	1	46,9	46,9	5,9%
Fita métrica	un.	1	6,2	6,2	0,8%
Régua quadrada	un.	1	52,9	52,9	6,6%
Graveto de madeira	un.	20	0,0	0,0	0,0%
Corda trançada	un.	1	41,9	41,9	5,2%
Lápis de carpinteiro	un.	3	0,7	2,1	0,3%
Talhadeira	un.	1	34,9	34,9	4,4%
Colher de pedreiro	un.	2	36,9	73,8	9,2%
Espátula	un.	2	15,9	31,8	4,0%
Prumo	un.	1	16,6	16,6	2,1%
Peneira	un.	1	28,9	28,9	3,6%
Total	un.	46	36,63	800,4	100%

Fonte: Autor

A próxima tabela da secção, a tabela 2, evidencia a quantidade de materiais necessários para que o projeto do forno Sasukenei Smokeless seja completado. Nota-se que o Tijolo Refratário II e a Placa refratária não entraram no custo do forno, pois como possuem dimensões

especiais, devem ser produzidos de maneira personalizada. Nenhuma das empresas cotadas responderam à essa solicitação especial.

Tabela 11 – Cálculo do custo dos materiais.

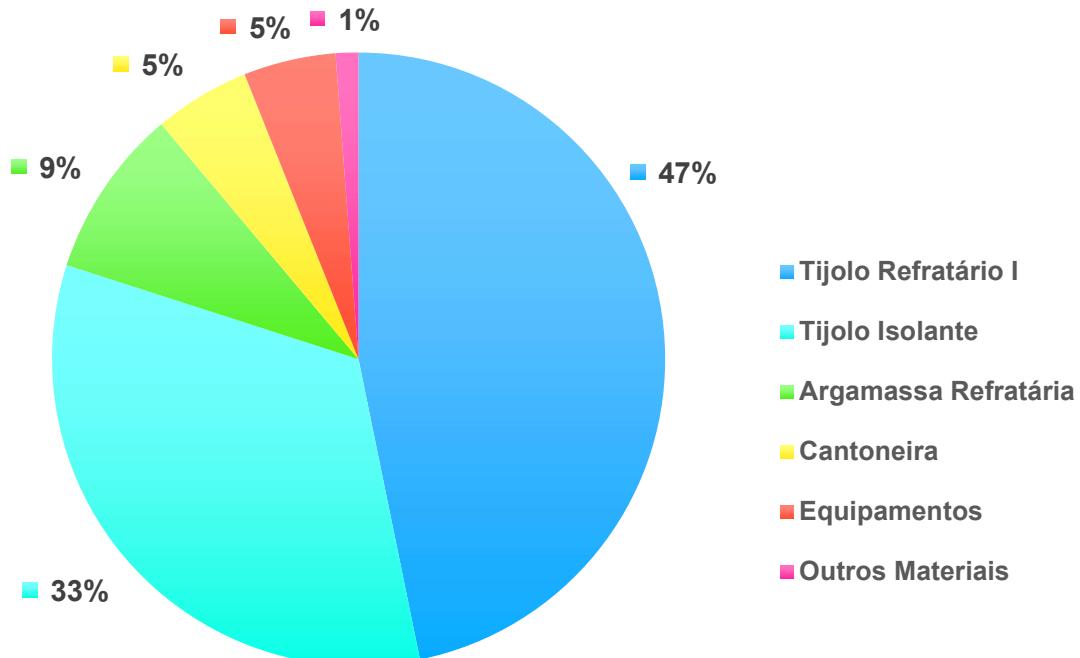
Descrição	Medida	Quantidade	Preço por Medida (R\$)	Preço Total (R\$)	%
Tijolo Refratário I	un.	2300	3,4	7.705	48,9%
Tijolo Isolante	un.	700	7,8	5.460	34,7%
Argamassa Refratária	kg	565	2,6	1.469	9,3%
Concreto Refratário	kg	25	2,7	68	0,4%
Vermiculita Expandida	l	200	0,4	80	0,5%
Cimento Portland	kg	100	0,5	50	0,3%
Terra Refratária	kg	60	1,5	90	0,6%
Água	l	0	0,0	0	0,0%
Madeira	un.	0	0,0	0	0,0%
Cantoneira	m	18	46,3	834	5,3%
Total				15.756	

Fonte: Autor

A partir das duas tabelas de custo, tem-se que, a partir das cotações realizadas, o menor valor total é de R\$ 16.556,40. Vale ressaltar que esse valor ainda não está completo, uma vez que ainda existe o valor do frete de entrega desses componentes e o acréscimo do custo para construir o arco suporte de madeira com o auxílio de um profissional do ramo.

Por fim, é mostrado os valores dos materiais e equipamentos necessários para a construção do forno em formato de gráfico de pizza. Nota-se que 80% do custo total é destinado à tijolos refratários e isolantes. Além disso, é possível analisar que apesar 5% dos gastos totais são referentes aos equipamentos utilizados na construção do forno.

Gráfico 1 – Percentagem no custo total dos principais componentes.



Fonte: Autor

4.5 Custo de um forno elétrico para cerâmica artesanal

Em primeiro lugar, alguns parâmetros foram pré-estabelecidos na escolha do forno elétrico a fim de proporcionar uma base comparativa mais sólida. São eles: Temperatura e Preço. Dessa forma, instituiu-se que a temperatura de operação alvo seria de aproximadamente 1300°C e que o preço fosse similar ao de construção do Sasukenei Smokeless Kiln.

A seguir, foi feito um levantamento das empresas nacionais que atuam na confecção de fornos elétricos destinados a produção artística de cerâmica. Com base nessa pesquisa, as seguintes empresas se destacaram: Fornos Jung LTDA; Stecno Fornos e Equipamentos; Sanchis Fornos Industriais; Regulus Equipamentos. A primeira é localizada em Blumenau - SC, a segunda em São Paulo - SP, enquanto a terceira reside em Porto Alegre - RS e, por fim, a quarta é estabelecida em Salvador - BA.

Para este projeto, decidimos seguir em frente com a Fornos Jung LTDA e Stecno Fornos e Equipamentos devido a disponibilidade de informação e receptividade quando entramos em

contato via e-mail. A seguir, encontra-se uma tabela de preço e especificações dos fornos destinados a produção de cerâmica artesanal produzidos pela Jung.

Figura 36 – Tabela de preços de fornos elétricos da Jung ®.

Modelo	Vol. (l)	Dimensões úteis (cm)		Dimensões externas*(cm)		Peso (kg)	Pot. (kW)	Rede Elétrica (V)	Ligaçāo	Preço (R\$)**		
		A	x L	x P	A	x L	x P					
JC2313	23	25	x 30	x 30	74,2	x 88,6	x 83,7	117	4	220	Monofásica/bifásica	9.980,00
JC4213	42	35	x 30	x 40	85,2	x 88,6	x 96,7	158	5,3	220	Monofásica/bifásica	11.760,00
JC7013	72	40	x 40	x 45	94,2	x 108,6	x 102,7	226	7,3	220	Mono/bifásica/trifásica	13.980,00
JC10013	99	55	x 40	x 45	117,7	x 108,6	x 99,5	282	7,4	220/380	Mono/bifásica/trifásica	16.640,00
JC16513	163	65	x 50	x 50	132,7	x 137,2	x 118,8	403	9	220/380	Trifásica	21.380,00
JC27513	275	65	x 65	x 65	133	x 152,2	x 131,7	483	15	220/380	Trifásica	27.650,00
JC45013	448	80	x 70	x 80	200,9	x 156,4	x 150,8	906	25	220/380	Trifásica	38.890,00
JC64813	648	90	x 80	x 90	207	x 154	x 157	1050	28	220/380	Trifásica	45.540,00
JC90013	900	100	x 90	x 100	210	x 200	x 160	1250	36	220/380	Trifásica	consulte
JC100013	1000	100	x 100	x 100	210	x 210	x 160	1330	40	220/380	Trifásica	65.500,00

* As dimensões externas são aproximadas. Caso exista algum limite de espaço onde o forno será instalado, o vendedor deverá ser informado.

** Verificar NCM e tributos (item 3.8) para diferenças entre estados.

Fonte: Jung Artístico

Devido aos critérios definidos previamente, apenas os fornos JC2312, JC4213, JC7013 e JC10013 são elegíveis para este projeto devido ao seu preço. Todos os fornos apresentam abertura frontal (*Front Loading*), como mostrado na figura a seguir, e uma temperatura operacional de 1300°C.

Figura 37 – Forno com abertura frontal Jung JC2312.



Fonte: Jung Artístico

A Stecno Fornos e Equipamentos, localizada na cidade e São Paulo - SP, por sua vez, oferece uma variedade de fornos com abertura na parte superior (*Top Loading*), com temperaturas máximas de operação de 1260°C, como ilustrados na figura a seguir.

Figura 38 – Forno com abertura superior da Stecno.



Fonte: Stecno Fornos e Equipamentos

Os três fornos (SS 90, SS 195 e SS 280) produzidos pela Stecno se enquadram com as premissas pré-estabelecidas. As especificações podem ser encontradas na tabela 12.

Tabela 12 – Dimensões dos fornos da Stecno Fornos e Equipamentos

Volume (Litros)	Modelo	Dimensões Internas (Diâmetro x Altura) (cm)	Dimensões Externas (Diâmetro x Altura) (cm)	Potência (kw)	Valor (R\$)
90	SS 90	44 x 56	56 x 83	8	10.800,00
195	SS 195	61 x 68	73 x 95	12	13.800,00
280	SS 280	71 x 68	83 x 95	14	17.500,00

Fonte: Stecno Fornos e Equipamentos

Com tudo, ainda existe o custo do frete da entrega do produto que soma ao preço final. A empresa paulistana cobra um valor de R\$ 850,00 enquanto a catarinense não pré-estipula um preço e oferece duas possibilidades, dessa forma, deixa a critério do cliente a opção de realizar uma cotação com uma empresa terceira ou utilizar os serviços e fretes da Jung.

4.6 Forno elétrico *versus* Sasukenei Smokeless Kiln

Nesta secção verifica-se as principais diferenças, prós e contras apresentados pelo forno Sasukenei Smokeless Kiln quando comparado aos fornos elétricos elegíveis de acordo com os pré-requisitos desse trabalho. Para isso, realizou-se uma análise comparativa, através de tabelas e cálculos, elencando os principais argumentos para cada modelo de forno levando em consideração o contexto em que o GECA está inserido.

Tabela 13 – Comparaçāo dos fornos entre os Principais indicadores.

Indicador	Smokeless Kiln	Forno Elétrico
Temperatura de Operação	Até 1300°C	Até 1300°C
Preço total (R\$)	15.000 – 20.000	9.980 – 21.380
Combustível	Madeira	Eleticidade
Custo combustível por queima	Alto	Baixo
Duração da Queima	72 horas	24 horas
Espaço útil para cerâmica	Aprox. 2,43m ³	Entre 0,02 – 0,16m ³

Fonte: Autor

Quando se avalia os fornos, é possível identificar que ambos possuem a mesma temperatura limite de operação, porém, os esforços para atingi-la e resultados obtidos nas cerâmicas artesanais são bem distintos. A primeira diferença que se pode notar, é o combustível utilizado, sendo que o forno elétrico utiliza a energia elétrica enquanto o Smokeless utiliza madeira. Isso acarreta diretamente no custo necessário para realizar uma queima completa da cerâmica artesanal. A energia elétrica, é um combustível barato quando comparado com a madeira, além disso, a quantidade necessária de madeira para atingir 1300°C é muito alta.

Utilizando o forno JC7013 que possui uma potência de 7,3kw realizando uma queima de 24 horas temos que: R\$ 0,85

$$kWh = \text{aprox. R\$} 0,85$$

$$\text{Consumo} = \text{Potencia (kW)} \times \text{Tempo(horas)}$$

$$\text{Consumo} = 7,3 \times 24$$

$$\text{Consumo} = 175,2 \text{ kWh}$$

$$\text{Custo} = 175,2 \times 0,85 = \text{R\$} 148,92$$

Se também considerarmos que o forno elétrico possui um volume útil de aproximadamente $0,072\text{m}^3$ ($40 \times 40 \times 45\text{cm}$), o Sasukenei Smokeless Kiln possui um volume útil 34 vezes maior, com $2,43\text{m}^3$, como evidenciado na tabela a seguir (Largura, Altura e Profundidade estão em milímetros e Volume em metro cúbico). Dessa forma, necessita-se de 34 queimas no forno elétrico para se equivaler, em volume útil, a uma queima do forno cerâmico.

$$\text{Custo} = \text{R\$} 148,92 \text{ por queima}$$

$$\text{Custo equivalente} = 148,92 \times 34 = \text{R\$} 5.063,28$$

Tabela 14 – Dimensões e volumes das câmaras do Sasukenei Smokeless Kiln.

Câmara Principal	Largura	Altura	Profundidade	Volume
Retângulo Inferior	138mm	45,5mm	114,5mm	$0,72\text{m}^3$
$\frac{1}{2}$ Cilindro	138mm	52mm	114,5mm	$1,71 \text{ m}^3$
<i>Total</i>				$2,43 \text{ m}^3$

Fonte: Autor

Vale ressaltar que, para obtermos uma comparação equivalente sobre o quesito custo de queima, faz-se necessário, calcular a quantidade de Madeira utilizada no Sasukenei Smokeless

Kiln. Porém, não foi encontrado na literatura a quantidade de lenha necessária para atingir 1300°C, uma vez que o montante de combustível varia conforme o tamanho e o design do forno.

Ao analisar o processo de queima, nota-se grandes diferenças tanto na duração e quantidade de vezes por ano, quanto nos resultados obtidos. A primeira, está diretamente relacionada a distinção de tamanho dos fornos e ao procedimento de aquecimento. Para o forno Smokeless, é necessário realizar um pré-aquecimento, de 12 a 14 horas com o intuito de remover toda a humidade dentro do forno e iniciar o fluxo interno dos gases. Além desta etapa, o forno também deve ser alimentado pausadamente até atingir a temperatura máxima de 1300°C, todo esse procedimento pode levar em torno de 36 horas. O forno de tecnologia japonês pode ser utilizado de 10 até 20 vezes ao ano, enquanto o forno elétrico não possui restrições aparentes. A segunda diferença apontada, é o resultado final na peça cerâmica, e se dá devido a inúmeros fatores, porém, os principais são: presença e deposição de cinzas no artesanato cerâmico; fluxo de gases interno; gradiente de temperatura; contato com a chama; ambiente redutor.

Outro ponto analisado, foi a complexidade de se construir o Sasukenei Smokeless Kiln. Apesar de ser considerado pequeno para fornos que atingem 1300°C, o forno possui um grau de dificuldade de construção que deve ser levado em consideração. Com 3,5m de comprimento e contendo uma chaminé de mais de 5m de altura, faz-se necessário recorrer á ceramistas mais experientes que já passaram por alguma construção de forno cerâmico ou até mesmo a profissionais do ramo de construção civil. Além disso, o custo de construção não é baixo, entre R\$ 15.000 e R\$ 20.000 apenas para equipamentos e materiais. Também, deve-se levar em consideração que o forno cerâmico ocupa um espaço que necessita ser bem escolhido e espaçoso, para não ter problemas estruturais, ou encontrar obstáculos para o armazenamento da madeira que será utilizada como combustível. Em contrapartida, grande parte dos equipamentos listados para sua construção podem ser facilmente obtidos de maneira gratuita, pois são objetos comuns e podem ser encontrados no SMM e também nas casas das pessoas que irão construí-lo.

Por fim, as dimensões apresentadas pelo forno japonês são de extrema importância para a realização de um dos propósitos do GECA, ser um grupo de extensão. Oferecer workshops e cursos abertos as comunidades requer espaço e interatividade, dessa forma, o forno Smokeless atende muito bem esses requisitos, ao contrário do forno elétrico. Nessa perspectiva, é possível realizar uma jornada de imersão do artesanato cerâmico a cada queima realizada, devido a sua longa duração e alta interatividade e capacidade de se produzir cerâmicas personalizadas.

5 CONCLUSÃO E PRÓXIMOS PASSOS

Com este trabalho foi possível realizar um aprofundamento da análise de viabilidade de se construir um forno Sasukenei Smokeless Kiln no SMM em comparação a aquisição de um forno elétrico. Viu-se no tópico 4.4.3, que em média, o custo das matérias primas e equipamentos necessários para a construção do projeto custará ao GECA ao menos R\$15.000, mas podendo chegar até R\$20.000 dependendo do preço especialmente do tijolo refratário, que por sua vez, representa 47% do custo total.

É importante observar que de acordo com o contexto em que GECA está inserido, atualmente, o grupo não possui as ferramentas ou o conhecimento necessário para a construção de um projeto elaborado como o do forno japonês. Por outro lado, a aquisição de um forno elétrico não seria justificada levando em consideração as aspirações em ser um grupo de extensão, uma vez que o mesmo não trás a interatividade nem a ambientação necessária para realizar queimas com diversos participantes.

Visto que a construção do Sasukenei Smokeless Kiln pode ainda estar um pouco distante da realidade do GECA, como sugestões para trabalhos futuros referentes ao conteúdo abordado nesta monografia, sugere-se realizar um aprofundamento do *know-how* da construção do forno. Uma possível opção seria entrar em contato com Masakazu Kusakabe com o intuito de investigar sua disponibilidade para se deslocar até o Brasil e ajudar na construção deste forno. Ter a sua presença durante a construção e primeira queima, será de extrema importância para a curva de aprendizado dos integrantes do GECA.

Outra possibilidade é buscar e construir outros modelos de fornos cerâmicos de menor porte, mas que atinjam temperaturas entre 1000°C e 1200°C com o objetivo de iniciar as atividades do GECA. Nesse contexto, o grupo começaria a ter contato e criar experiência com queimas a fim de compreender melhor parâmetros como quantidade de madeira necessário para atingir altas temperaturas de operação, composição da cerâmica artesanal, efeitos obtidos á queima de madeira, entre outros. Além disso, a construção de um forno mais simples levaria a oportunidade de se produzir tijolos refratários durante suas queimas, fazendo com que o custo total de produção do Sasukenei Smokeless Kiln seja reduzido.

Por fim, é sugerido realizar um levantamento na cidade de São Carlos para identificar potenciais fornecedores de madeira. Um dos parâmetros mais essenciais de uma queima, a madeira, é requerida em grandes quantidades, dessa forma, deve-se fazer uma pesquisa a fim de ver se é possível realizar parcerias com a arboristas ou produtores de arvores locais para obtenção do combustível necessário.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SEBRAE, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Quer investir no Artesanato? Saiba mais sobre esse mercado.** [S. l.], 2014?. Disponível em: <<https://m.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/ms/artigos/boletim-comercio-e-servicos-artesanato,afb621600576a410VgnVCM1000003b74010aRCRD>>. Acesso em: 25 Maio 2020.

The American Ceramic Society. **A Brief History of Ceramics and Glass.** [S. l.], 2020?. Disponível em: <<https://ceramics.org/about/what-are-engineered-ceramics-and-glass/brief-history-of-ceramics-and-glass>>. Acesso em: 25 maio 2020.

HISTORY. **Neolithic revolution,** [S. l.] 2018. Disponível em: <<https://www.history.com/topics/pre-history/neolithic-revolution>>. Acesso em: 27 maio 2020.

THE University of Chicago. **Highlights the Oriental Institute.** Disponível em: <<https://oi.uchicago.edu/sites/oi.uchicago.edu/files/uploads/shared/docs/mis Highlights.pdf>>. Acesso em: 27 maio 2020

Gringas, J; Sneed D, University of Colorado Boulder. **Potter's Wheel**, 2018. Disponível em <<https://www.colorado.edu/classics/2018/06/15/potters-wheel>>. Acesso 28 Maio 2020.

The Art Institute of Chicago. **LaunchPad: Ancient Greek Vase Production and the Black-Figure Technique**, 2013. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=FpLPx_Ak17Y&feature=youtu.be>. Acesso em: 29 Maio 2020.

The Metropolitan Museum of Art | Heilbrunn Timeline of Art History. **Jōmon Culture (ca. 10,500–ca. 300 B.C.),** 2002. Disponível em: <https://www.metmuseum.org/toah/hd/jomo/hd_jomo.htm>. Acesso em: 29 Maio 2020.

Cartwright, M, Ancient History Encyclopedia. **Jomon Pottery**, 2017. Disponível em: <https://www.ancient.eu/Jomon_Pottery/>. Acesso em: 02 Jun. 2020.

Ford, B. Barbara, *The Metropolitan Museum of Art, New York. Japanese Art from the Gerry collection in The Metropolitan Museum of Art, 1989.*.. Disponível em: <https://www.metmuseum.org/art/metpublications/Japanese_Art_from_the_Gerry_Collection_in_The_Metropolitan_Museum_of_Art>. Acesso em: 02 Jun. 2020.

ANFACER, Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres. **HISTÓRIA DA CERÂMICA**, [S. l.], 2020?. Disponível em: <<https://www.anfacer.org.br/historia-ceramica>>. Acesso em: 02 Jun. 2020.

MICHAELIS, Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa. **Olaria**, 2020. Disponível em:<<http://michaelis.uol.com.br/busca?r=0&f=0&t=0&palavra=olaria>>. Acesso em: 03 Jun. 2020.

Ceramics Arts Network. **A guide to ceramic kilns, choosing the right kiln firing method and design for your art**, 2013. Acesso em: <<https://ceramicartsnetwork.org/freebies/free-guides/guide-ceramic-kilns/>>. Acesso em: 05 Jun 2020.

Peterson, S. & Peterson J. **The Craft and Art of Clay: A Complete Potter's Handbook**, 1992. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=PAZR-A9Ra6EC&printsec=frontcover&source=gb_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 05 Jun 2020

SKUTT. **About Skutt Ceramic Products**, [S. l.], 2020?.. Disponível em: <<https://skutt.com/about-us/about-skutt>>. Acesso em 06 Jun 2020.

IMPEDA. **FORNOS ELÉTRICOS PARA CERÂMICA – SKUTT | PREÇOS**, [S. l.], 2020?. Disponível em: <http://impeda.com.br/fornos-e-tornos/fornos-eletricos-para-ceramica-skutt-precos/>. Acesso em 06. Jun 2020.

Gringas, J & Sneed D, University of Colorado Boulder. **Ancient Greek Ceramic Kilns**, 2018. Disponível em <<https://www.colorado.edu/classics/2018/06/14/ancient-greek-ceramic-kilns>>. Acesso 07 Jun 2020.

Gringas, J & Sneed D, University of Colorado Boulder. **The Production of Pottery**, 2018. Disponível em <<https://www.colorado.edu/classics/2018/06/14/ancient-greek-ceramic-kilns>>. Acesso 07 Jun 2020.

KUSAKABE, Masakazu; LANCET, Marc. **Japanese Wood-Fired Ceramics**. [S. l.: s. n.], 2005.

UGARTE, José Fernandes; SAMPAIO, João; FRANÇA, Silvia. Vermiculita. In: UGARTE, José Fernandes; SAMPAIO, João; FRANÇA, Silvia. **Rochas e Minerais Industriais**. 2a Edição. ed. [S. l.]: CETEM, 2008. cap. 38.