



Projeto

Mestrado em Controlo de Gestão

***Análise da Árvore de falhas do processo de
cozedura da Cerâmica F. Santiago, S.A.***

Catarina Gomes da Silva

Leiria, Maio de 2013



Projeto

Mestrado em Controlo de Gestão

***Análise da Árvore de falhas do processo de
cozedura da Cerâmica F. Santiago, S.A.***

Catarina Gomes da Silva

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Carlos Silva, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, Maio de 2013

À Minha Família

Aos meus pais:

Vitorino André e Maria Celeste André

Ao meu namorado ***Nuno Simões***

E a todos aqueles que me acompanharam nesta jornada

Agradecimentos

Expresso aqui os meus sinceros agradecimentos aos administradores Sr. José Santiago e Sr. Manuel Santiago da Cerâmica F. Santiago, S.A. pela oportunidade que me deram de realizar este trabalho, disponibilizando-me as instalações e toda a documentação necessária.

Agradeço em especial, ao Dr. Pedro Santiago pelo apoio proporcionado e esclarecimentos ao longo de todo o trabalho.

Gostaria também de agradecer ao Doutor Carlos Silva pela sugestão do tema e orientação dada, indispensável para a realização deste projeto.

Aos meus colegas, em especial ao colega Nuno Pedrosa, e docentes do Mestrado de Controlo de Gestão, pela amizade, companheirismo, boa disposição, colaboração e incentivos ao longo dos meses do curso e também na fase de término do mesmo.

Por último, gostaria de expressar um enorme agradecimento a toda a minha família, aos meus amigos e em especial ao meu namorado que para além de me incentivarem, apoiarem e ajudarem nesta fase, estiveram sempre do meu lado nos momentos em que eu mais precisei.

A todos, um muito obrigado.

Resumo

Com a crescente necessidade de criação de valor dos seus produtos, as indústrias, para se manterem competitivas, têm que se atualizar e conceber métodos e técnicas que potenciem o aumento da qualidade do seu processo produtivo. Por esta via, a existência de ferramentas auxiliares que possam ajudar os gestores a preverem possíveis falhas nos seus processos de produção será, certamente, uma mais-valia com impactos positivos para toda a organização.

Este projeto consiste no estudo e aplicação da técnica de Árvore de falhas no processo produtivo de uma empresa no setor da cerâmica para a construção civil, visando compreender os eventos e as suas interligações que conduzem à não conformidade do produto final.

Após caracterização do processo produtivo da empresa, apresentam-se os resultados provenientes da análise do estudo realizado. São identificados os eventos, e as suas interligações com base nos resultados obtidos. São ainda, propostas medidas que visam minimizar a ocorrência de falhas.

Com a realização deste projeto, pretende-se contribuir, de modo aplicado, para o aumento da eficiência e da qualidade de produção da empresa em estudo.

Palavras-chave: Árvore de falhas, produção, tijolos.

Abstract

To have their place in the competitive market, industries have innovated and developed methods and techniques that lead to the increase of the quality of their production process. By this way, having means that help managers preventing possible faults in their production processes will, for sure, benefit the entire organization.

The present work aims to study, by the fault tree technology the production process of a ceramic company for the building industry, trying to understand the events and their relationship that leads to nonconforming final products.

After knowing the company's production process, are presented the results obtained with the used methodology. Based on the results, the events and their interrelationships are shown. Some measures that can minimize failures to happen are also proposed.

With this project it is intended to contribute, in an applied way, to the increase in the efficiency and quality of the production process of the company under study.

Keywords: Fault Tree, production, ceramic bricks.

Índice de Figuras

Figura 1: Exemplo de Árvore de falhas.....	7
Figura 2: Exemplo para Cortes Mínimos	12
Figura 3: Etapas da Análise da Árvore de falhas	13
Figura 4: Fluxograma do Processo Produtivo.....	25
Figura 5: Esquema das temperaturas dentro do Forno Túnel	29
Figura 6: Programa do Forno Vijeo Citect SCADA	30
Figura 7: Planta do Forno legendada	31
Figura 8: Formatos e Medidas dos tijolos na CFS.....	36
Figura 9: Tijolo Queimado	39
Figura 10: Tijolo Cru	39
Figura 11: Tijolo Sedado	40
Figura 12: Tijolo Rebentado	41
Figura 13: Árvore principal do processo de cozedura da CFS	42
Figura 14: Árvore de falhas do Tijolo Queimado.....	43
Figura 15: Árvore de falhas do Tijolo Cru	44
Figura 16: Árvore de falhas do Tijolo Sedado.....	45
Figura 17: Árvore de falhas do Tijolo Rebentado.....	46

Índice de Tabelas

Tabela 1: Eventos Lógicos de uma Árvore de falhas	10
Tabela 2: Portas Lógicas de uma Árvore de falhas.....	11
Tabela 3: Dimensões dos tijolos segunda a NP 834	37
Tabela 4: Número de repetições de cada Falha Humana	51
Tabela 5: Número de repetições de cada Falha Informática	52
Tabela 6: Número de repetições de cada Falha Mecânica	52
Tabela 7: Número de repetições de cada Evento Externo.....	53

Lista de Siglas

AF - Árvore de falhas (Fault Tree)

CAE – Classificação das Atividades Económicas

CFS – Cerâmica F. Santiago, S.A.

M³ – Metro Cúbico

NP – Norma Portuguesa

UPS – Sistema de alimentação ininterrupta

°C – Graus Celsius

Índice

DEDICATÓRIA.....	I
AGRADECIMENTOS	III
RESUMO.....	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
LISTA DE SIGLAS	XIII
ÍNDICE	XV
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. ÁRVORE DE FALHAS	5
2.1. INTRODUÇÃO	5
2.2. CONCEITOS BÁSICOS	8
2.2.1. EVENTOS	8
2.2.2. PORTAS LÓGICAS.....	10
2.2.3. CONJUNTOS DE CORTE	12
2.3. CONSTRUÇÃO DA ÁRVORE DE FALHAS	13
2.4. AVALIAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA	17
2.4.1. AVALIAÇÃO QUALITATIVA.....	17
2.4.2. AVALIAÇÃO QUANTITATIVA	18
2.5. APLICAÇÃO DAS ÁRVORES DE FALHAS.....	19
2.6. PROGRAMAS INFORMÁTICOS	21
3. CASO DE ESTUDO – ANÁLISE DO PROCESSO DE COZEDURA NA EMPRESA CERÂMICA F. SANTIAGO, S.A.....	23
3.1. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA.....	23
3.2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO	24
3.2.1. EXPLORAÇÃO E ARMAZENAMENTO DAS MATÉRIAS-PRIMAS	25
3.2.2. PREPARAÇÃO DA PASTA	26
3.2.3. CONFORMAÇÃO	26
3.2.4. SECAGEM.....	27
3.2.5. COZEDURA	28
3.2.6. ESCOLHA, EMBALAGEM E ARMAZENAMENTO.....	28
3.3. PROCESSO DE COZEDURA.....	28

3.3.1. EQUIPAMENTOS DO FORNO	29
3.3.2. REGULAÇÃO AUTOMÁTICA DO FORNO.....	33
3.3.2.1. <i>Regulação do caudal dos fumos</i>	33
3.3.2.2. <i>Regulação na recuperação do ar quente</i>	33
3.3.2.3. <i>Regulação da contrapressão</i>	34
3.3.2.4. <i>Regulação no arrefecimento rápido</i>	34
3.3.2.5. <i>Controlo dos Vagons</i>	34
3.4. TIJOLOS	35
3.4.1. ASPETO VISUAL.....	35
3.4.2. DIMENSÕES	36
3.4.3. RESISTÊNCIA MECÂNICA	37
3.4.4. EFLORESCÊNCIA	37
3.4.5. DURABILIDADE	37
3.5. ÁRVORE DE FALHAS NO PROCESSO DE COZEDURA.....	38
3.6. ANÁLISES DAS ÁRVORES DE FALHAS	47
3.6.1. TIJOLO QUEIMADO.....	47
3.6.2. TIJOLO CRU	49
3.6.3. TIJOLO SEDADO	50
3.6.4. TIJOLO REBENTADO	50
3.6.5. CONJUNTOS DE CORTE.....	51
3.7. RECOMENDAÇÕES DE MINIMIZAÇÃO DE FALHAS.....	54
4. CONCLUSÃO	57
BIBLIOGRAFIA	59
BIBLIOGRAFIA WEB.....	63

1. Introdução

A Árvore de falhas é uma técnica interessante cujo objetivo é identificar as causas responsáveis (eventos) que determinam uma falência específica, designadamente, o evento de topo de um sistema (conjunto de componentes que interagem no desempenho de uma função).

Através desta técnica conseguem-se enumerar as principais causas que determinam a ocorrência dos eventos indesejáveis a partir da combinação lógica das falhas dos diversos componentes do sistema em si. Deste modo, é certo dizer-se que a Árvore de falhas é um diagrama que mostra a inter-relação lógica com uma simbologia própria, entre as causas básicas e o evento indesejado.

Embora tenha sido originalmente criada como uma técnica quantitativa, depressa se adaptou para aspetos qualitativos, porque desta forma, e de uma maneira sistemática, os vários fatores podem ser visualizados em qualquer momento. Desta forma, a avaliação qualitativa pode ser usada para analisar e determinar combinações de falhas de componentes, erros operacionais ou outros defeitos que podem levar ao evento topo, enquanto a avaliação quantitativa é utilizada para determinar as probabilidades de falha no sistema pelo conhecimento das probabilidades de ocorrência de cada evento em particular.

A utilização da Árvore de falhas pode trazer inúmeras vantagens para os gestores. Nas Árvores de falhas é possível determinar quais os eventos e sequências de eventos que causam o evento indesejado no sistema, conduzindo à resolução de diversos problemas de manutenção e de segurança, calcular os riscos de acidentes, bem como investigá-los e auxiliar nas tomadas de decisões. Pode ser usada durante todo o ciclo de vida do sistema desde o seu projeto até à sua implementação e melhoria, e à medida que o sistema prossegue com o seu ciclo de vida, o seu desempenho pode ser monitorizado para

identificar quais as tendências antes das falhas ocorrerem.

O presente trabalho visa aplicar a técnica das Árvores de falha, na sua vertente qualitativa, ao processo de cozedura da Cerâmica F. Santiago, S.A., para determinar eventuais falhas ou irregularidades existentes no processo de cozedura do tijolo cerâmico, propondo desta forma, uma melhoria do processo de cozedura e do produto final.

A necessidade de inovar e de se implementarem novas metodologias nas indústrias, com menos perigos e riscos associados e, conseqüentemente, redução de custos e melhorias no produto final, justifica o desenvolvimento deste trabalho.

Deste modo, foram definidos os seguintes objetivos:

- Analisar o processo de cozedura da empresa Cerâmica F. Santiago, S.A.;
- Aplicar a metodologia das Árvores de falhas;
- Identificar cadeias de eventos que podem conduzir a defeitos de fabrico no processo de cozedura;
- Propor medidas de minimização dos riscos.

Este texto está dividido em quatro capítulos, incluindo a presente introdução.

O capítulo 1, “Introdução”, inclui o enquadramento, o objeto de estudo, a justificação do tema, a definição dos objetivos e a estrutura do trabalho.

No capítulo 2, “Árvore de falhas”, faz-se uma introdução ao estudo da Árvore de falhas, como é construída a Árvore de falhas, a sua forma, os símbolos, a lógica e conjuntos de corte, distinguindo os eventos e as portas lógicas. Diferenciam-se as perspetivas por avaliação qualitativa e por uma avaliação quantitativa. Resume-se qual a aplicabilidade das Árvores de falhas em alguns trabalhos publicados anteriormente. Faz-se ainda uma referência ao contributo dos programas informáticos para este tipo de análise.

No capítulo 3, “Caso de Estudo – Análise do processo de Cozedura na empresa Cerâmica F. Santiago, S.A.”, apresenta-se a empresa e o seu produto, o tijolo, e discriminam-se sucintamente todas as seções do processo produtivo, sendo que o processo de cozedura

será abordado de uma forma mais detalhada. São apresentadas as árvores de falhas para cada tipo de tijolo em não conformidade após a cozedura (Tijolo Cru, Tijolo Queimado, Tijolo Sedado e Tijolo Rebentado), e procede-se à análise e discussão dos resultados obtidos nas árvores e dos cortes mínimos das árvores. Também, são apresentadas as recomendações para minimização dos riscos de ocorrência das falhas identificadas.

Por último, o capítulo 4 “Conclusão”, onde é apresentada a conclusão de todos os resultados obtidos, a importância que o trabalho poderá vir a ter para a empresa e os aspetos com interesse de trabalho futuro.

2. Árvore de falhas

2.1. Introdução

A técnica por Árvore de falhas surgiu em 1962 por Watson na *Bell Telephone Laboratories* para avaliar o sistema de controlo de segurança do Míssil balístico *Minuteman* e, posteriormente, em 1965, foi aperfeiçoada pela *Boeing Company* para os seus projetos aeronáuticos por Watson e Haasl, que contemplaram os benefícios da Árvore de falhas na aplicação do programa *Minuteman*. Estes dois autores, Watson e Haasl, são considerados os pais da Árvore de falhas.

Ao longo do tempo, vários foram os autores que colaboram, uns de uma forma mais técnica outros de modo mais geral, para o aperfeiçoamento da análise da Árvore de falhas. Uma síntese dos trabalhos publicados que mais contribuíram para o tema de Árvore de falhas pode ser consultada em Ericson II (1999).

O objetivo principal da técnica de análise de Árvore de falhas é identificar as causas potenciais de falhas num sistema, que possam eventualmente resultar de ocorrências não desejadas.

As falhas podem ter várias origens, falhas do equipamento, erros humanos, erros de *software*, condições ambientais, são alguns exemplos de causas que podem conduzir à ocorrência do evento de topo definido pelo analista.

Uma Árvore de falhas construída adequadamente, com as várias combinações de falhas e outros eventos que levam a determinado acontecimento, é uma técnica elucidativa do sistema avaliado, mesmo para uma pessoa que não tenha conhecimentos em Árvores de falhas.

Contudo, um analista que pretenda estudar determinado processo, no mínimo, tem de ter um completo conhecimento da operação e funcionamento dos componentes de todo o sistema e também, uma noção das modalidades de falha dos componentes incorporados no sistema e os efeitos que podem surgir sobre ele. Desta forma, na construção da Árvore de falhas poderão ser detetadas lacunas do sistema.

Neste contexto, uma Árvore de falhas poderá ser utilizada numa fase de projeto de um sistema para se descobrir modalidades de falhas ocultas, ou até mesmo, num sistema em operação, identificando os pontos fracos e potenciais falhas que possam causar acidentes. Como resultado, obtém-se uma listagem com os conjuntos de falhas que possam resultar num acidente específico. Estes conjuntos podem ser classificados qualitativamente de acordo com a informação recolhida pelo número e natureza dos eventos. Ou podem ser resultados quantitativos dependendo do conhecimento das probabilidades dos eventos acontecerem.

Embora frequentemente utilizada como uma técnica que avalia as falhas, pode também, ser utilizada para analisar o sucesso de um sistema, como afirma Vesely et al. (2002).

Por ser arquitetada por um modelo lógico, a Árvore de falhas é composta por entidades tituladas por “portas” que têm como função permitir ou inibir a passagem de falhas para o evento de topo da árvore. Deste modo, as “portas” indicam a relação entre os eventos necessários para a ocorrência do evento de topo, como se descreve na Seção 2.2. “Conceitos básicos”.

Seguindo o exemplo da Figura 1, conclui-se de que o evento de topo está condicionado pelo evento básico 1 e pelo evento intermediário A, que por sua vez, poderá ocorrer pelo evento básico 2 ou pelo evento básico 3.

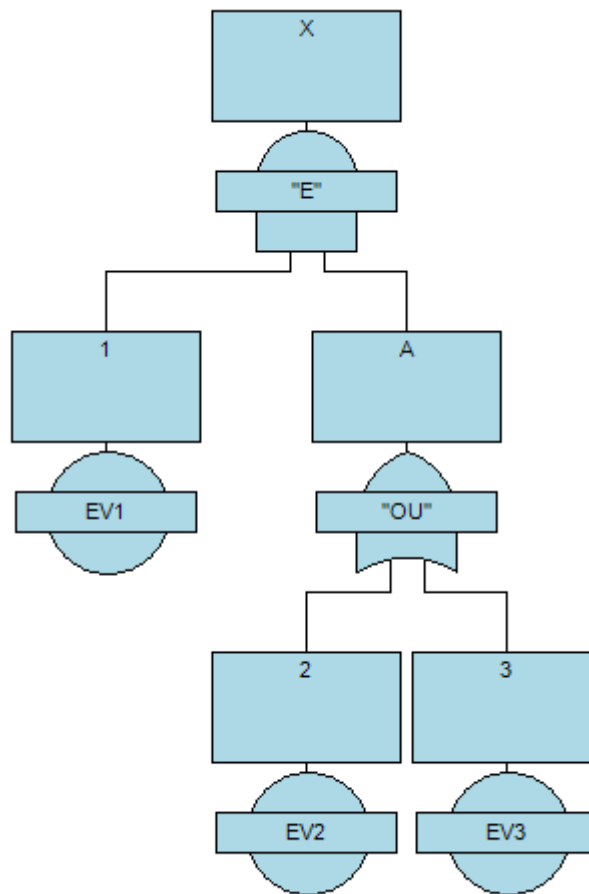


Figura 1: Exemplo de Árvore de falhas

Como uma técnica de análise de sistemas, a Árvore de falhas distingue-se de todas as outras por disseminar várias informações de um processo num só estudo. Entre elas, destacam-se os seguintes aspetos:

- a) um conhecimento detalhado de todo um sistema ou processo, identificando todos os pontos fracos;
- b) a obtenção de uma estimativa do grau de confiabilidade de determinado sistema;
- c) o cálculo da frequência de ocorrência de determinado evento;
- d) deteta potenciais falhas difíceis de serem reconhecidas por outros modelos;

- e) identifica as causas básicas de um evento acidental e as falhas mais prováveis que contribuem para a ocorrência de um acidente maior;
- f) permite detetar procedimentos de manutenção que foquem ações corretivas por forma a diminuir a probabilidade de falhas no sistema em estudo;
- g) com base na frequência de ocorrência calculada e nas falhas contribuintes com maior significância, torna-se mais acessível a tomada de decisões em relação ao controlo dos riscos associados à ocorrência de um determinado acidente;
- h) a possibilidade de ser uma análise qualitativa e quantitativa de um só sistema.

2.2. Conceitos básicos

Como já foi referido e de acordo com Vatn (2001), a Árvore de falhas é um diagrama lógico que apresenta as ligações entre uma falha potencial do sistema e as causas que levam a ocorrer esse evento (ver Figura 1).

A construção de Árvore de falhas é formada principalmente por dois tipos de símbolos: os eventos e as portas lógicas criando entre si um encadeamento lógico dos componentes do sistema.

2.2.1. Eventos

Os eventos são representados por diferentes formas e com significados diferentes, como está explícito na Tabela 1.

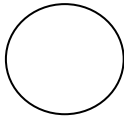
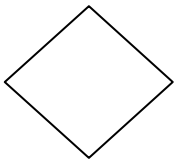
Nas Árvores de falhas podem existir os eventos primários, entre os quais, os eventos básicos, eventos não desenvolvidos, eventos condicionantes e os eventos externos. E existem também, os eventos intermédios, os eventos de topo e os eventos de transferência.

Nos eventos primários, aqueles que não são desenvolvidos e cujas probabilidades são dadas pelo analista, são representados por quatro formas diferentes. Um círculo representa

um evento básico (limite da análise). Em contraste com a clareza de um círculo está a incerteza associada a um evento não desenvolvido, representado por um losango, que é uma falha incompreendida devido à ausência de informações ou significado. Os eventos condicionados são vários eventos combinados por portas lógicas criando um evento conjunto e representa-se por uma forma oval. Por último, os eventos que são esperados que aconteçam como condição limite do sistema, são apresentados por uma forma de casa, estes eventos designam-se por eventos externos.

Os eventos intermediários são os que representam uma falha num evento resultado da interação com outras falhas e que são desenvolvidas através de portas lógicas, e apresentados por um retângulo. Também, os eventos de topo são representados por um retângulo e encontram-se no topo da árvore e são a razão da construção da Árvore de falhas.

Os eventos de transferências representados por triângulos, indicam que a Árvore de falhas é desenvolvida de forma adicional noutras folhas. Esta simbologia tem como principal objetivo indicar a continuidade da árvore num outro local.

	<p>Evento básico – representa a falha básica do equipamento ou falha do sistema, cujo limite de resolução foi alcançado. Representa o final do processo de análise de Árvore de falhas, formando deste modo, a sua base.</p>
	<p>Evento não desenvolvido – é um evento que não é desenvolvido ou porque é de consequência insuficiente ou porque não há mais informação sobre ele.</p> <p>Um evento não desenvolvido é um evento para o qual o analista não tem interesse em continuar o processo dedutivo devido à falta de informação ou à falta de significado para o estudo.</p>

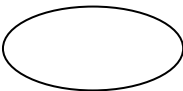
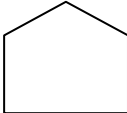

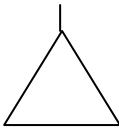
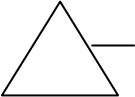
	<p>Evento condicionado – é uma condição ou restrições específicas que se aplicam a qualquer porta lógica. Normalmente é utilizado com a porta “inibidora” e “E Prioritário”.</p>
	<p>Evento externo – significa um evento que é normalmente esperado que aconteça. Estes eventos não são falhas, pois representam uma condição ou um evento em que é suposto existir como uma condição limite do sistema.</p>
	<p>Evento de Topo ou Intermediário – são representados por retângulos onde é colocada a descrição dos eventos que ocorrem devido a um ou mais eventos e estão ligados por portas lógicas.</p>
	<p>Transferência para dentro – indica que a árvore será desenvolvida quando ocorrerem símbolos de transferência para fora.</p>
	<p>Transferência para fora – símbolo indicativo que esta parte da árvore deverá ser anexada ao correspondente símbolo de transferência para dentro.</p>

Tabela 1: Eventos Lógicos de uma Árvore de falhas

2.2.2. Portas Lógicas

Embora existam vários tipos de combinações lógicas possíveis, a grande maioria dos sistemas podem ser adequadamente modelados utilizando os dois tipos principais de portas lógicas: a porta “OU” e a porta “E”.

As portas “OU” associam-se a eventos de saída que ocorrem se um ou mais eventos de entrada ocorrerem. As portas “E” devem ser utilizadas quando o evento de saída só ocorre quando todos os eventos de entrada ocorrerem. Como está representado na Figura 1, em que o evento básico 1 e o evento A estão ligados ao evento de topo X por uma porta “E” e

que o evento A está ligado aos eventos básicos 2 e 3 por uma porta “OU”.

Existem alguns casos particulares, por exemplo a porta “OU EXCLUSIVO” onde o evento de saída ocorre somente se exactamente um dos eventos de entrada ocorrer ou, a porta “E PRIORIDADE”, cujo o evento de saída ocorre somente se todos os eventos de entrada ocorrerem de acordo com uma sequência específica. Nos casos em que a saída de um evento ocorre quando há entrada de um evento condicional, utilizam-se as portas INIBIDORAS.

Seguidamente, a Tabela 2 resume as diferentes portas que ligam os eventos nas Árvores de falhas.





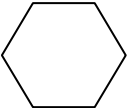
	<p>Porta OU – o evento de saída ocorre somente se um ou mais dos eventos de entrada ocorrerem.</p>
	<p>Porta E – o evento de saída ocorre somente se todos os eventos de entrada ocorrerem.</p>
	<p>Porta OU EXCLUSIVO – é uma porta “OU” especial onde o evento de saída ocorre somente se exactamente um dos eventos de entrada ocorre.</p>
	<p>Porta E PRIORIDADE – é uma porta “E” especial onde o evento de saída ocorre somente se todos os eventos de entrada ocorrem numa sequência ordenada especificada.</p>
	<p>Porta INIBIDORA – é uma porta representada por um hexágono, a saída do evento ocorre quando uma entrada única atende a alguma condição (entrada condicional).</p>

Tabela 2: Portas Lógicas de uma Árvore de falhas

2.2.3. Conjuntos de Corte

O resultado da Árvore de falhas será um conjunto de combinações de falhas do sistema, ou ocorrências de eventos básicos que resultam no evento de topo da árvore. A cada uma destas combinações de eventos dá-se o nome de conjunto de corte. Aos conjuntos suficientes para causarem a ocorrência do evento de topo, dá-se o nome de conjuntos de cortes mínimos.

Para uma quantificação de uma Árvore de falhas, é necessário que todos os cortes mínimos sejam determinados antes da avaliação da probabilidade do evento de topo, porque a probabilidade do evento de topo só será obtida a partir da representação por cortes mínimos da árvore.

É importante salientar que com o conhecimento dos cortes mínimos de uma Árvore de falhas, fica mais perceptível a importância que certos eventos na ocorrência do evento de topo, porque deste modo, destacam-se de imediato os eventos base necessários para causar a falha indesejada, como mostra o exemplo a seguir.

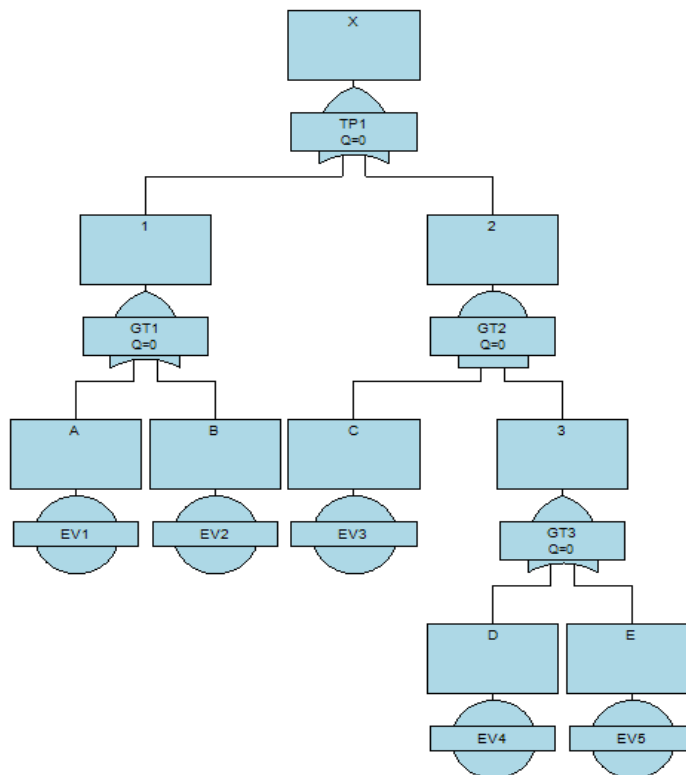


Figura 2: Exemplo para Cortes Mínimos

A Árvore de falhas apresentada na Figura 2, demonstra a inter-relação dos eventos básicos A, B, C, D, e E com o evento de topo X, através das portas lógicas ligadas os eventos intermédios 1 e 2. Ao analisar o exemplo, verificou-se que os conjuntos de corte são os eventos $A + B + AB + AC + AD + AE + BC + BD + BE + CD + CE + ABC + ABD + ABE + ACD + ACE + ADE + BCD + BCE + BDE + CDE + ABCD + ABCE + ABDE + ACDE + BCDE + ABCDE$, bastando qualquer uma destas combinações para gerar o evento de topo. E os cortes mínimos são os eventos correspondentes à porta 1 (GT1) mais os eventos da porta 2 (GT2), consideram-se como cortes mínimos os eventos $A + B + CD + CE$.

O conjunto AB não é considerado corte mínimo, porque basta ocorrer apenas um dos eventos, o A ou o B, para que o evento de topo “x” seja provocado.

2.3. Construção da Árvore de falhas

Para que o estudo seja o mais detalhado possível, é necessário um vasto conhecimento técnico e prático de todo o sistema em estudo. Deste modo, e para que a construção de uma Árvore de falhas seja bem sucedida, é recomendado que a sua estruturação seja feita em oito etapas fundamentais, como refere Vesely et al. (2002), e como está representado esquematicamente na Figura 3 e descrito de seguida.

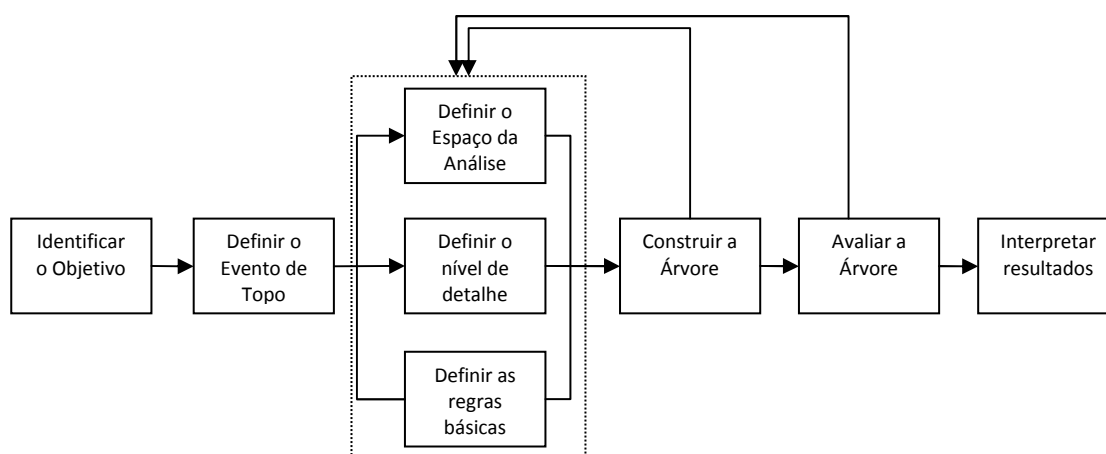


Figura 3: Etapas da Análise da Árvore de falhas

Etapa 1 - Identificar o objetivo da Árvore de falhas

Como primeira etapa terá de se definir o objetivo da análise de Árvore de falhas, consistindo numa formulação do problema do sistema em estudo.

Para o objetivo ser alcançado, este deve ser colocado em termos de uma falha do sistema a analisar, ou seja, se o objetivo geral for avaliar a criação de um bem material, será necessário analisar todo o percurso da sua produção e identificar as falhas que possam ocorrer, para que os novos materiais não surjam com o mesmo problema.

Etapa 2 - Definir o evento de topo

Estando o objetivo definido, então o evento de topo da Árvore de falhas está também definido. O evento topo da Árvore de falhas explica o modo como o sistema falha.

O evento de topo define o modo de falha do sistema que será analisado. Eventualmente, o objetivo pode implicar a definição e análise de mais do que um fracasso. Nestas situações, os principais eventos deverão ser definidos separadamente. Existem casos, em que poderá haver vários objetivos e a Árvore de falhas resultante pode ser muito diferente dependendo do tipo de objetivo particular escolhido para análise.

Etapa 3 - Definir o espaço da Árvore de falhas

Na terceira etapa, procede-se à definição do espaço de análise. O campo de ação da análise da Árvore de falhas indica qual das falhas e condicionantes serão incluídos ou não. Este campo de ação da análise da Árvore de falhas inclui também o espaço e o período de tempo relevante para o sistema que será analisado. Em suma, o espaço inclui as condições de contorno para a análise, estas condições de contorno incluem os estados iniciais dos materiais (componentes) e as entradas assumidas para o sistema.

Etapa 4 - Definir o nível de detalhe da Árvore de falhas

Em relação à etapa quatro do procedimento, a resolução da análise da árvore de falha está definida, isto é, o nível de detalhe para que a falha causadora do evento de topo seja desenvolvida. Se o evento de topo for uma falha funcional no sistema, tais como falhas de operação ou uma paragem acidental do sistema (por exemplo, desligar uma máquina acidentalmente), então o evento de topo é geralmente assente nos principais componentes dos sistemas. Se o evento de topo for uma falha de cariz fenomenológico, como um curto-circuito numa máquina que a destrua, a sua resolução é o nível do detalhe com que as causas da destruição forem modeladas. O caso de um modelo quantitativo, o seu desenvolvimento é baseado na necessidade de obter a melhor estimativa possível para a probabilidade de eventos de topo, considerando todos os dados e informações disponíveis.

O intuito da construção de uma Árvore de falhas é a melhoria da probabilidade de falhas disponíveis, ou seja, diminuir a probabilidade das falhas existentes, contribuindo para uma maior eficiência. A Árvore de falhas pode, e muitas vezes é, desenvolvida a um nível de detalhe abaixo no nível em que há dados disponíveis, para estimar a probabilidade de eventos básicos ou para onde a discriminação de risco já não é relevante.

Etapa 5 - Definir as regras básicas da Árvore de falhas

Na etapa cinco, quaisquer regras que sejam consideradas como básicas para a análise da Árvore de falhas deverão ser definidas. As regras incluem procedimentos e nomenclaturas pelos quais os eventos são denominados na Árvore de falhas. O esquema de nomenclatura usada é importantíssimo na criação de uma Árvore de falhas de fácil compreensão. Por exemplo, a utilização de esquemas ilustrados para a nomeação dos dados, poderão ser utilizadas regras básicas para a modelação específica das falhas na Árvore de falhas. A aplicação destas regras básicas deve-se à sua utilidade quanto à prestação de consistência entre as árvores de falhas diferentes, especialmente quando são diferentes indivíduos a desenvolver cada uma.

Etapa 6 - Construir a Árvore de falhas

Na etapa seis constrói-se da Árvore de falhas. Nesta etapa, ligam-se os eventos através de portas representando a lógica presente no sistema em análise.

Etapa 7 - Avaliar a Árvore de falhas

A etapa seguinte, a sétima, é a fase em que a árvore é avaliada. A avaliação pode ter duas abordagens, qualitativa e quantitativa.

Na avaliação qualitativa obtém-se informações sobre a natureza dos eventos básicos, as análises dos cortes mínimos e o número de eventos combinados em cada corte. Na avaliação quantitativa é analisada a probabilidade de cada evento básico, dos conjuntos de cortes que contribuem para os eventos de topo, fornecendo assim, as probabilidades de ocorrência de determinado acontecimento.

Etapa 8 - Interpretar e apresentar os resultados da análise

Por fim, a última etapa é a interpretação e a apresentação dos resultados obtidos. Os resultados devem ser decompostos por forma a fornecerem informações centradas no objetivo definido para a Árvore de falhas.

Em suma, as primeiras cinco etapas são as que enunciam o problema. Por outras palavras, são as fases em que se define o evento de topo e como, onde e porquê se vai desenvolver o processo. As restantes três envolvem a construção, a análise e a avaliação dos resultados. Todas elas sequencialmente, exceto as etapas 3, 4 e 5 que podem ser realizados momentaneamente.

2.4. Avaliação Qualitativa e Quantitativa

Vesely et al. (2002) defende que uma Árvore de falhas é por si só uma avaliação qualitativa e quantitativa dos eventos e das inter-relações das falhas que levam ao evento de topo. Durante a sua construção, os resultados obtidos são ganhos para o processo pois demonstram uma elevada compreensão sobre as causas que conduzem ao evento de topo.

Sucintamente pode-se considerar que uma avaliação qualitativa determina quais as combinações de falhas dos componentes, erros operacionais ou outros defeitos do sistema que conduzem ao evento de topo. Por outro lado, a avaliação quantitativa é utilizada para determinar qual a probabilidade de ocorrência das falhas no sistema, obtidas pelas informações de ocorrência de cada evento em particular.

2.4.1. Avaliação Qualitativa

A avaliação qualitativa tem como finalidade explicar os fenómenos e eventos que podem ocorrer nos sistemas, reconhecendo e expondo os atributos do mesmo, bem como, definir novas relações entre os eventos envolvidos nos processos de análise. Tenta prever comportamentos do sistema, não previstos nas fases de projeto.

Este tipo de análise tem o seu início na observação do sistema e com a identificação dos riscos formulando-se a hipótese a ser estudada, baseada também na influência do risco para o desempenho do sistema e as consequências associadas à ocorrência do evento de topo.

Na análise qualitativa os métodos de análise são de natureza indutiva, devido ao fato do processo de observação conduzir à formulação das hipóteses, das variáveis, dos objetivos da pesquisa e, conseqüentemente, da teoria que explica os fenómenos e os eventos que já ocorreram ou que podem a vir ocorrer.

De acordo com Tanaka e Melo (2001), as vantagens e desvantagens da abordagem qualitativa que se destacam, são as seguintes:

Vantagens:

- permite uma interação entre o objeto de estudo e o analista;
- considera a subjetividade do analista;
- permite a compreensão dos resultados individualizados;
- permite a compreensão da dinâmica interna dos sistemas;
- permite compreender os múltiplos aspetos dos sistemas;
- permite avaliar os resultados de um modo geral.

Desvantagens:

- pode conduzir a um número excessivo de dados;
- depende de uma grande capacidade de análise por parte do analista;
- exige muito tempo de dedicação.

2.4.2. Avaliação Quantitativa

A análise quantitativa é baseada em princípios probabilísticos.

Neste tipo de avaliação, inicia-se com uma visão de falha do sistema e tenta-se chegar às causas que provocam essa mesma falha. Por outras palavras, o processo começa pelas situações gerais e direcionam-se as análises de situações específicas que representam as suas causas potenciais.

Como anteriormente referido, e ainda seguindo Tanaka e Melo (2001) as vantagens e desvantagens da abordagem quantitativa que se destacam, são as seguintes:

Vantagens:

- possibilita uma análise direta dos dados;
- é uma técnica demonstrativa;
- permite uma representação geral de todo o sistema;
- permite a análise de outros contextos através da sua mensuração.

Desvantagens:

- é muito rigoroso mas o significado é colocado em segundo plano relativamente ao rigor matemático exigido pela análise;
- o resultado da análise não permite perceber as interpelações dos eventos;
- o resultado da análise pode ser considerado como verdade absoluta.

2.5. Aplicação das Árvores de falhas

Apresentam-se de seguida alguns trabalhos que fazem uso da técnica de Árvore de falhas.

Norberg et al. (2009), utilizaram o cálculo extenso da Árvore de falhas para mostrar que a técnica disponibiliza informação, não só na probabilidade de falha do evento de topo, como também, permite estimar as taxas de insucesso num curto espaço de tempo.

Aplicando o sistema integrado de análise de Árvore de falhas num sistema municipal de distribuição de águas identificaram, ao longo do estudo, o necessário para a variação das portas lógicas no corrente sistema de distribuição, desde a entrada de água bruta (no seu estado natural), passando pelo tratamento das águas e terminando na sua distribuição ao consumidor.

Hu et al. (2002), utilizaram também um estudo baseado no modelo de Árvore de falhas, fundamentado no controlo sequencial e lógico dos sistemas da indústria, que normalmente eram controlados por um programa de controlo lógico. Com estes modelos conjugados, as falhas operacionais dos sistemas industriais poderiam ser diagnosticadas na sua totalidade. Os modelos tiveram sucesso, permitindo deste modo produzir um controlador flexível para os sistemas industriais que demonstraram excelentes resultados.

Rahman et al. (2013), aplicaram a técnica de Árvore de falhas para a avaliação da confiança dos clientes no sistema de distribuição de energia. Tradicionalmente, para analisar a confiança dos clientes no sistema de distribuição prevista nas grelhas de energia, utilizavam o sistema regular de frequência de falha do componente e o tempo mínimo que é perdido apenas pela quantidade do sistema regular.

Os parâmetros deste sistema regular eram usados para calcular a confiança e viabilidade dos componentes no sistema e descobrir, eventualmente, os efeitos da confiança do consumidor. Este estudo, aproxima das melhores previsões nos índices de confiança dos consumidores quando aplicado este modelo de confiança com Árvore de falhas e duplo estado, de acordo com as formulações correntes de Markov.

Esta técnica foi aplicada com sucesso para o sistema de distribuição atual de energia, que serve mais de 2,1 milhões de clientes. E os resultados apresentados mostram um progresso na atuação comparativa no sistema regular de frequência de interrupção com uma percentagem de 26% de confiança entre o sistema regular de base e o sistema de altos consumidores de base.

Por ser um processo multifacetado, a Árvore de falhas é uma metodologia que pode ser aplicada em setores tão diversificados como o da aeronáutica, da indústria nuclear, química e a automação (Ericson II, 1999).

Apesar de ser uma técnica muito pouco divulgada em Portugal, é possível encontrar alguns trabalhos que utilizam esta metodologia.

Silva (2010) utiliza-a na análise de Risco associada a prazos de execução de Obras. Matos (2009) baseou-se em Árvore de falhas para analisar os modos de avaria de um Sistema de Alimentação de Emergência num Centro de Informática. Carneiro (2011) refere-a para

avaliação de riscos aplicada a um processo de construção. Estes são alguns exemplos de publicações em português com recurso à análise por Árvore de falhas

2.6. Programas informáticos

A utilização prática das Árvores de falhas é muito promovida pela existência de *softwares* que incluam esta técnica, porque só de modo automático é que se torna razoável analisar sistemas de grandes dimensões.

Atualmente, já existem um extenso número de programas informáticos com aplicações para análise de Árvores de falhas.

Alguns programas já se encontram bastante desenvolvidos nesta área e oferecem aos seus utilizadores um alargado conjunto de ferramentas, que para além de criarem um modelo de Árvore de falhas, quantificam e apresentam resultados bastante avançados para áreas como são a segurança de máquinas ou o lançamento de mísseis.

Através de uma pesquisa pela internet pode-se encontrar um grande número de programas informáticos que têm em comum a aplicação de análise de Árvore de falhas.

O *Isograph* (<http://www.isograph-software.com>), o *Itemsoft* (<http://www.itemsoft.com/>) e o *Relia Soft* (<http://www.reliasoft.com.br>) são três *softwares* que se encontram no mercado, e apresentam-se ambos, com uma lista de funcionalidades completa e flexível para representar sistemas. Mas muitos outros softwares, como o *Edraw Max* (<http://www.edrawsoft.com>) e o *Advance Logistics Development* (<http://www.aldservice.com>), entre outros, oferecem componentes capazes de realizar uma análise de Árvore de falhas mais simples que as análises efetuadas pelos outros dois *softwares* referenciados anteriormente, mas capazes de identificar os pontos mais críticos, ajudando da mesma forma, os observadores a construir as árvores de falhas de um sistema ou produto.

É importante referir que dos *softwares* acima mencionados, utilizou-se o *Isograph Reliability Workbench 11.0*, na versão experimental, para a construção das árvores que serão analisadas ao longo deste projeto.

3. Caso de Estudo – Análise do processo de cozedura na empresa Cerâmica F. Santiago, S.A.

3.1. Apresentação da empresa

Este trabalho teve por base a empresa Cerâmica F. Santiago e visa aplicar a técnica de Árvore de falhas ao processo de cozedura ao longo do decurso de produção de tijolos de barro vermelho.

A Cerâmica F. Santiago, S.A. tem a sua sede e a própria unidade industrial na localidade de Cumeira de Cima, freguesia de Juncal, concelho de Porto de Mós, distrito de Leiria.

A empresa dedica-se à produção e comercialização de materiais cerâmicos para a construção civil, nomeadamente tijolos normalizados, estando classificada com o CAE (Ver. 3) 23321 “Fabricação de Tijolos”.

Em 1946, Fernando Santiago Ferreira Lopes fundou a empresa em nome individual, dedicando-se ao fabrico de tijolo e telha artesanal. A empresa manteve-se com a mesma condição jurídica por um período de 30 anos.

Com o passar dos anos, algumas alterações foram executadas a nível do processo produtivo. De fabrico artesanal passou para mais mecanizado, deixando também de parte a produção de telha. Em 1976, Fernando Santiago concedeu a sociedade aos seus filhos, modificando a forma jurídica para uma sociedade por quotas de responsabilidade limitada, tendo-se adotado a denominação social de F. Santiago & Filhos, Lda.

Em 2007 empresa alterou novamente a sua forma jurídica, tornando-se uma sociedade anónima, passando a dominar-se Cerâmica F. Santiago, S.A..

Atualmente, as instalações existentes da empresa possuem uma capacidade produtiva de 400 toneladas/dia.

Os seus principais clientes são essencialmente os agentes que atuam no setor da construção civil, designadamente empresas de construção e empresas fornecedoras de materiais de construção, que se encontram, na sua maioria, nas Regiões Centro e Lisboa e Vale do Tejo.

3.2. Descrição do processo produtivo

O processo de fabrico da Cerâmica F. Santiago, S.A. está descrito esquematicamente pelo fluxograma em baixo (Figura 4). Engloba todas as secções (Exploração das matérias-primas; Preparação da pasta; Conformação; Secagem; Cozedura; Embalamento e Expedição), a inter-relação entre elas e os equipamentos nele envolvido. Seguidamente, cada secção está explicitada sucintamente por forma a dar uma melhor perceção do processo em si.

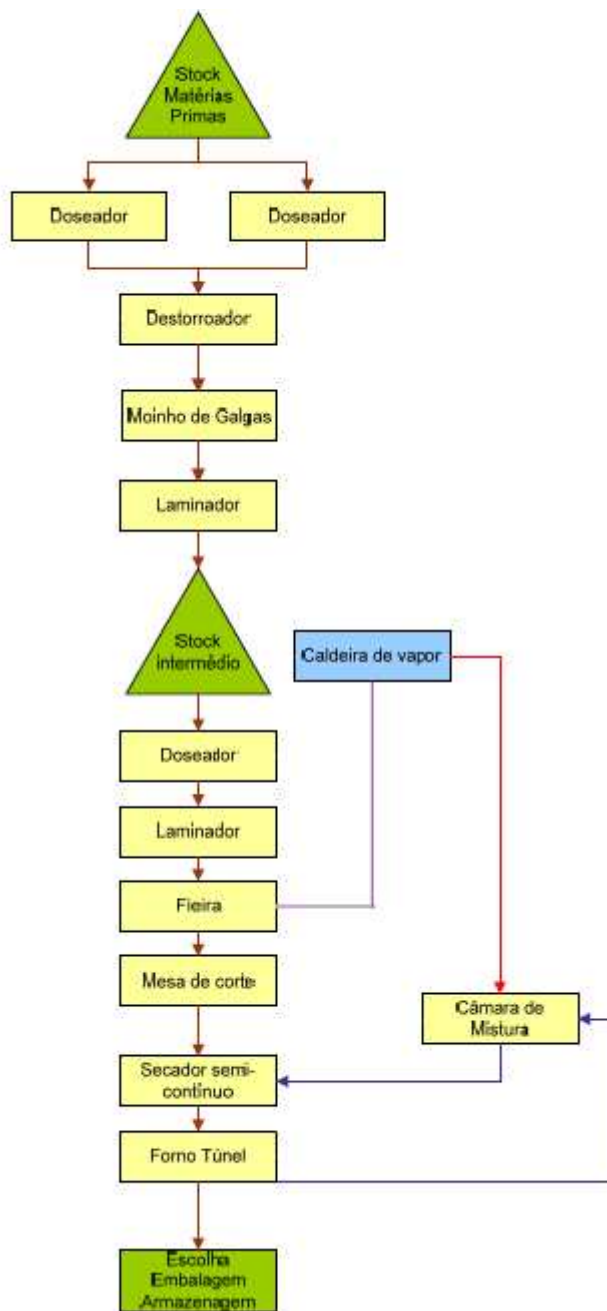


Figura 4: Fluxograma do Processo Produtivo

3.2.1. Exploração e armazenamento das matérias-primas

A argila é proveniente de barreiros, exteriores à instalação, a qual é rececionada e armazenada num parque exterior, onde permanece em repouso, de modo a dar início ao processo de apodrecimento e homogeneização da argila.

3.2.2. Preparação da pasta

A preparação da pasta inicia-se com a mistura de argilas com o recurso a uma pá carregadora. De seguida, e com o auxílio de dois doseadores que encaminham a quantidade necessária de argila para o destorroador, é efetuada a primeira desagregação, eliminando os torrões de maior dimensão. Em seguida é encaminhada ao moinho de galgas onde é adicionada água de modo a obter a humidade necessária e ao laminador, de modo a reduzir a granulometria da argila.

A pasta preparada segue por um circuito de telas transportadoras para um sistema espalhador que a deposita num armazém intermédio, em três zonas distintas (tulhas ou stock intermédio). Três tulhas distintas porque, de um modo rotativo, existem as seguintes restrições:

- deve estar uma tulha em repouso (após de cheia, a argila permanece em repouso de modo a permitir a homogeneização da humanidade);
- deve existir outra tulha a encher (é a que se está a atulhar para posterior repouso);
- e uma tulha está em uso (uma vez de cheia e repousada).

Através de uma draga, retira-se a argila para alimentar a fase de preparação e conformação.

3.2.3. Conformação

A pasta preparada é removida da tulha através de uma draga que a transporta para um conjunto de telas, que a introduz num doseador e que permite encaminhar a quantidade necessária de pasta para o misturador onde é adicionada água, caso seja necessário. Seguidamente, a pasta sai da fieira pelos moldes com o formato de tijolo, mas de forma contínua, ou seja, a pasta é extrudida através da fieira com uma câmara de vácuo e com o auxílio de vapor, produzido numa caldeira de vapor alimentada a gás natural.

Logo após a extrusão da fieira, a pasta segue para uma mesa de corte com multi-fios que

cortam a argila produzindo-se os tijolos em verde com as dimensões e formatos pretendidos. Por meio de uma mesa agrupadora, os tijolos são agrupados de modo a serem carregados por um equipamento de elevação e deposição mecânica nas sucessivas prateleiras de uma estante de secagem (vagonas).

As aparas do corte geradas na mesa de corte, são novamente encaminhadas, por telas, para a amassadora, voltando a ser reincorporadas no processo produtivo, bem como, os cacos verdes (desperdícios) que são enviados novamente para o laminador para voltarem ao processo produtivo.

3.2.4. Secagem

As estantes carregadas com os tijolos verdes são introduzidas, por um sistema automático de transporte mecânico sobre carris, num secador semi-contínuo em túnel e com três vias (estufa). Este secador é alimentado através de ar quente recuperado da zona de arrefecimento do forno, de gases de exaustão do gerador de vapor alimentada a gás natural e por outro gerador de ar quente (queimador) auxiliado a gás natural.

O ar quente recuperado da zona de arrefecimento do forno é encaminhado para a câmara de mistura onde é agregado com os gases de exaustão provenientes da caldeira e do gerador de ar quente, quando seja necessário.

A humidade libertada e os gases de exaustão são extraídos por ventilação, encontrando-se a estufa equipada com três extratores e três exaustores auxiliares.

O secador é semi-contínuo devido ao facto de só sair uma vagona com tijolo seco quando entra na zona húmida uma estante com tijolos verdes.

A fase de secagem visa eliminar a água que tornou possível a conformação. Após a secagem na estufa, a resistência dos tijolos aumenta de modo a permitir a sua manipulação e o seu empilhamento no forno, bem como facilita a sua cozedura.

Os cacos secos (desperdícios) gerados são reintroduzidos no processo produtivo, porque são reencaminhados para o destorroador e recomeçam novamente no processo.

3.2.5. Cozedura

Os tijolos secos são descarregados das estantes à saída do secador através de um equipamento de elevação e por uma plataforma de rolamentos. Os tijolos são dispostos de forma agrupada para serem colocados sobre vagons que vão transportar os tijolos até ao forno túnel.

Todos os movimentos dos vagons, quer no interior quer no exterior do forno, são feitos por um sistema automático de transporte mecânico sobre carris.

No interior do forno a movimentação é contínua e faz-se por impulsos dados por um sistema informático que gere o ciclo de cozedura. Na secção inicial do forno os tijolos são aquecidos gradualmente com ar quente até atingirem a zona fixa de fogo (zona de cozedura), obtido pela combustão de gás natural, que em média atinge temperaturas de 900°C para cozer os tijolos.

3.2.6. Escolha, Embalagem e Armazenamento

Os tijolos no fim de cozidos são encaminhados para a secção de escolha (descarga). Aqui através de duas pinças os tijolos são descarregados para cima de paletes que são plastificadas, cintadas e posteriormente transportadas para armazenamento ou para expedição através de um empilhador.

3.3. Processo de cozedura

O processo de cozedura, sem menosprezar as restantes secções por se tratar de um processo contínuo, é o mais relevante durante todo o processo de fabrico cerâmico, porque é nesta secção que os produtos obtêm as suas propriedades finais adequadas para a sua finalidade.

A cozedura dos objetos cerâmicos subentende-se como uma transformação dos minerais constituintes em função do tempo e da temperatura de aquecimento, que resulta geralmente numa mistura de novos minerais. Normalmente, os tijolos cozem-se com temperaturas entre os 750°C e os 900°C mas depende sempre das argilas misturadas.

Como referido em capítulos anteriores, a Cerâmica F. Santiago tem um forno túnel contínuo que trabalha a gás natural e atualmente está a cozer entre os 750°C e os 900°C, gastando uma média semanal de gás de 43.000 m³ de gás.

Na Figura 6 está representado esquematicamente o forno bem como a variação das temperaturas. O processo de cozedura realiza-se ao longo de três zonas dentro do forno, a primeira área é a zona de pré-aquecimento, onde os vagons entram e os tijolos são aquecidos gradualmente com ar quente para chegarem à zona de queima (zona de fogo).

Nesta zona, estão instaladas as máquinas de queima que cozem o tijolo através da combustão de gás natural. Por último, encontra-se a zona de arrefecimento, onde o calor é empurrado para as duas áreas anteriores bem como, para a estufa, pela recuperação, para que o tijolo não sofra um choque térmico quando sair do forno.



Figura 5: Esquema das temperaturas dentro do Forno Túnel

3.3.1. Equipamentos do Forno

Um forno túnel é constituído por várias máquinas que o ajudam a melhorar o seu desempenho, sem que para isto, seja necessário a intervenção do responsável do forno. Tira-se assim o máximo de rendimento da energia utilizada e garante-se uma regularidade e bom funcionamento do forno, independentemente da discrepância da temperatura noturna da diurna, da densidade da carga de material empilhado nos vagons e da frequência de impulsões. Tudo isto traduz-se numa qualidade ótima na cozedura e numa utilização mais rentável da instalação.

Contudo, a operação tem de ser executada com a regulação contínua por parte do forneiro, para preservar os tijolos das quebras características devidas ao arrefecimento ou pré-aquecimento mal comunicados. Através de um programa informático (Vijeo Citect SCADA) composto por várias cartas de entradas e saídas analógico-digitais que controlam todos os parâmetros e máquinas que intervêm na regulação do forno e transmitem toda a informação ao computador que controla e regista.

O programa informático dispõe de um arquivo histórico onde está contabilizada a produção do forno por períodos de tempo, organizado por especificações do tipo de tijolo, turno de fabrico, humidade, entre outros aspetos. Contém também um ecrã para introdução do consumo de combustível, podendo-se desta forma obter rácios de consumo por tonelada ou unidade de material cozido.



Figura 6: Programa do Forno Vijeo Citect SCADA

A imagem subsequente (Figura 7) representa a planta de todo o forno e a localização de todas as máquinas que serão explicadas a seguir.

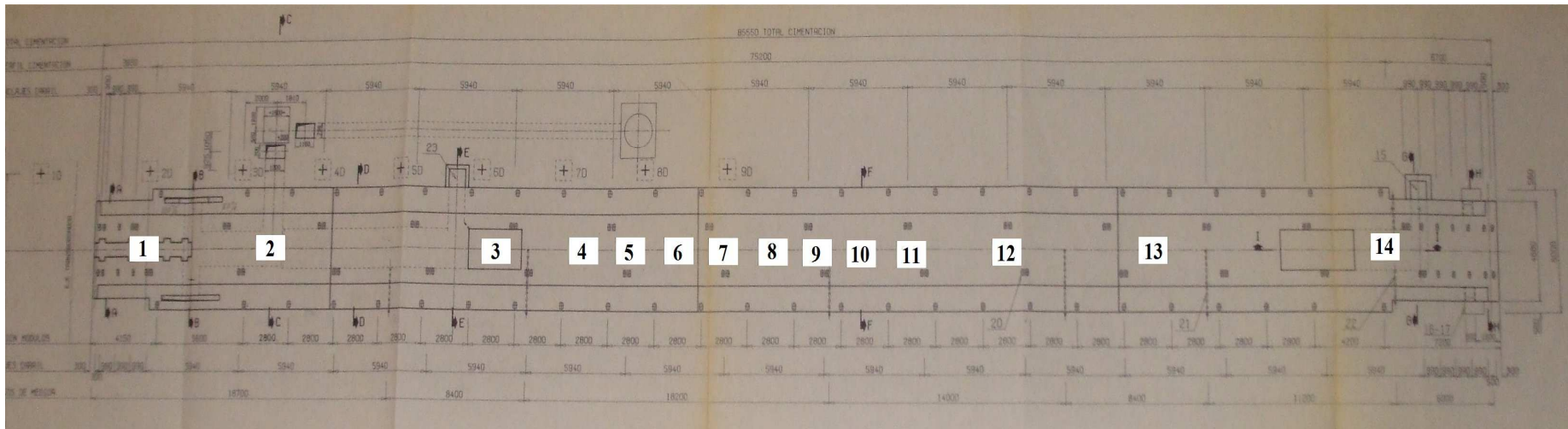


Figura 7: Planta do Forno legendada

Legenda:

- | | | |
|----------------|-------------|------------------------|
| ① Impulsor | ⑥ Máquina 2 | ⑪ Máquina 7 |
| ② Tiragem | ⑦ Máquina 3 | ⑫ Recuperação |
| ③ Recirculação | ⑧ Máquina 4 | ⑬ Arrefecimento Rápido |
| ④ Máquina 0 | ⑨ Máquina 5 | ⑭ Contravento |
| ⑤ Máquina 1 | ⑩ Máquina 6 | |

1 - Impulsor

É o sistema que faz avançar os vagon sobre os carris dentro do forno, em intervalos de tempo pré-estabelecidos. O impulsor é constituído por um motor que recebe as ordens do programa informático e empurra o vagon que está à entrada do forno.

2 – Tiragem

A Tiragem ou Chaminé está situada à entrada do forno, e com o auxílio de um ventilador puxa os fumos e o calor em excesso para a atmosfera, mantendo assim uma pressão estável dentro do forno.

3 – Recirculação

A finalidade da recirculação é movimentar o ar quente na zona de aquecimento do forno, por forma a aquecer gradualmente os tijolos nos vagon até estes chegarem à zona de cozedura. Tem um variador de velocidade que está pré estabelecido com mínimo de 70% para manter as temperaturas neste local entre os 180°C e os 250°C.

4 ao 11- Queimadores

O grupo de queimadores ou as máquinas de queima estão instalados na zona de queima. Cada máquina é constituída por dez bicos de queima cerâmicos por onde é injetado o gás. Na máquina 0, a primeira, estão instaladas nos bicos ignição para que a partir deste ponto haja chama e o gás se incendeie.

12 – Recuperação

Instalada entre a zona de cozedura e a zona de arrefecimento, a recuperação resgata algum calor que vem da zona do arrefecimento empurrado pelo contravento e transporta-o para a estufa, para que nesta, o tijolo verde perca a maior percentagem de humidade.

13 - Arrefecimento Rápido

O arrefecimento rápido serve, ao contrário da recirculação, arrefecer os tijolos de uma forma gradual para evitar que estes rachem ou rebentem com um choque térmico quando saírem do forno.

14– Contravento

O contravento instalado à saída do forno tem como função empurrar para o lado da entrada, o ar quente e o fumo. A velocidade do variador do contravento varia consoante a velocidade da tiragem, mantendo o ponto de equilíbrio do forno, e serve também para auxiliar o arrefecimento rápido no arrefecimento dos tijolos nos vagonos.

3.3.2. Regulação automática do Forno

Para manter a regulação automática do forno controlada, deve-se vigiar com a máxima atenção certos pontos-chaves que mantêm o bom funcionamento do forno. Deste modo, o forneiro tem de controlar permanentemente a regulação das pressões e caudais do forno, através da regulação do caudal dos fumos, da recuperação de ar quente, da contrapressão, do arrefecimento rápido e da entrada e saída de vagonos.

3.3.2.1. Regulação do caudal dos fumos

É muito importante que os fumos extraídos na chaminé sejam expulsos sempre com a mesma temperatura independentemente da densidade do material que segue nos vagonos. Esta situação ocorre por meio da incorporação de um temporizador na própria conduta de saída do ventilador da tiragem. Os valores de temperatura obtidos são transmitidos por sondas para o programa informático, que atua sobre o variador de frequência aplicado ao ventilador da tiragem. Este controlo contínuo permite manter assim, constante a curva na zona de pré-aquecimento.

3.3.2.2. Regulação na recuperação do ar quente

É fundamental manter constante a curva do arrefecimento em função do ritmo das impulsões e das características do material. Isto é possível regulando automaticamente, através de um servomotor de impulsos, a válvula do aspirador de recuperação do ar quente,

que através de uma sonda colocada no ponto desejado da curva, permite obter os dados necessários para manter a curva de arrefecimento constante.

3.3.2.3. Regulação da contrapressão

A contrapressão tem a função de equilibrar pneumaticamente o forno e faz com que o ponto de equilíbrio (pressão 0) se situe entre a última zona de fogo e a zona de arrefecimento.

O “0” significa que a zona da recuperação está só a tirar ar, e portanto, é só o calor procedente do arrefecimento dos tijolos cozidos e não dos fumos. Além disto, nesta zona também coincide a influência da chaminé, e o 0 neste ponto quer dizer que também não se estão a tirar poluentes para a atmosfera, sem os aproveitar.

Para se regular o contravento, atua-se com o ventilador que está situado na parte final do forno. A regulação será feita da mesma maneira que no interior do forno. Ter-se-á sempre a mesma quantidade de ar em função da aspiração na chaminé e da recuperação. Isto obtém-se instalando no forno, a seguir à zona de queima, um transmissor de pressão diferencial que através de uma entrada analógica dará os valores de pressão que, mediante o cartão de controlo, realizará a função de regulação desejada.

3.3.2.4. Regulação no arrefecimento rápido

A finalidade deste controlo é ter a garantia de que no arrefecimento rápido não se ultrapassará uma temperatura mínima pré estabelecida. O equipamento informático está preparado para regular uma válvula proporcional para manter os valores de temperatura estipulados neste ponto do forno.

3.3.2.5. Controlo dos Vagons

O controlo de vagons é apresentado num ecrã principal onde estão representadas de forma

simbólica todos os vagons que estão dentro do forno, diferenciando as diferentes zonas do mesmo (pré-aquecimento, zona de queima e arrefecimento), bem como diferenciando os vários tipos de tijolos.

A informação que ficará registada para cada vagon no programa informático *Vijeo Citect SCADA* é a seguinte:

- o tipo de tijolo que está carregado no vagon;
- o número de cada vagon;
- o forneiro de serviço.

A aplicação consiste em registar manualmente a informação indicada anteriormente a uma série de vagons em espera para entrarem no forno. Cada vez que se faz uma impulsão, esta nova situação será marcada no ecrã, indicando a posição exata do vagon, assim como a quantidade total de vagons no forno com o tipo de material. Resumindo, permite ter uma visão de todos os vagons em processo de cozedura com os diferentes tipos de tijolos e a localização em cada parte do ciclo.

3.4. Tijolos

Os produtos cerâmicos, em particular os tijolos, são constituídos por diversos tipos de argilas homogeneizados com uma percentagem correta de água. No final do processo produtivo devem conter determinadas características específicas para o seu fim na construção civil. As normas NP 80 e NP 834 têm estipulado quais as características físicas e dimensionais nos tijolos cerâmicos em que, as mais relevantes, poderão ser consideradas a aparência do tijolo, as dimensões, a resistência mecânica, a ausência de eflorescências, e a durabilidade dos tijolos.

3.4.1. Aspeto visual

Um tijolo cerâmico devem de ser bem conformado, isento de saliências ou concavidades

anormais, rachas e fissuras e deve de ter um som específico quando repercutidos com uma outra peça. Se alguma das anomalias apontadas se verificar no produto final, então, será um tijolo em não conformidade.

3.4.2. Dimensões

A Cerâmica F. Santiago atualmente fabrica seis formatos diferentes de tijolos furados normalizados pela NP 834, tendo eles as medidas de 30x20x03, 30x20x07, 30x20x09, 30x20x11, 30x20x15 e 30x20x22 como é possível constatar na imagem seguinte (Figura 8).

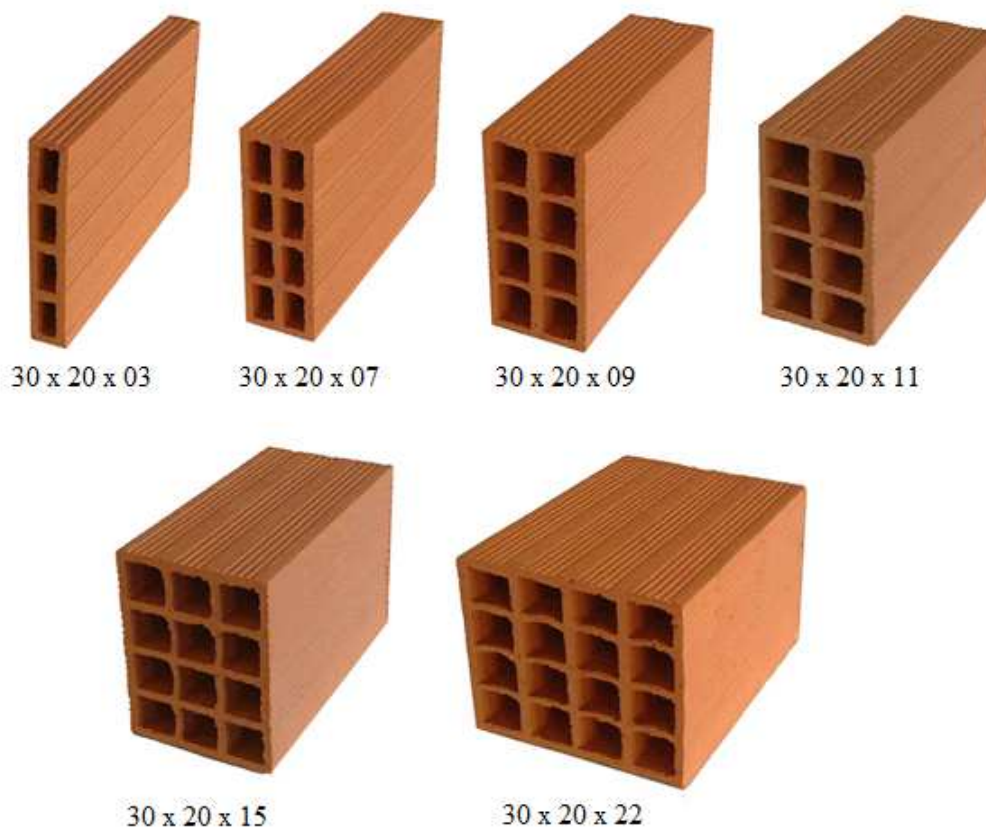


Figura 8: Formatos e Medidas dos tijolos na CFS

A norma NP 834 define para além das dimensões dos formatos de cada tipo de tijolos, as tolerâncias nas medidas que cada um podem ter, conforme se resume na Tabela 3.

Formato	Comprimento (mm)		Largura (mm)		Altura (mm)	
	nominal	tolerância	nominal	tolerância	nominal	tolerância
30x20x7	295	±7	70	±4	190	±5
30x20x11	295	±7	110	±4	190	±5
30x20x15	295	±7	150	±5	190	±5
30x20x22	295	±7	220	±6	190	±5

Tabela 3: Dimensões dos tijolos segunda a NP 834

3.4.3. Resistência mecânica

A característica principal para a resistência mecânica de um tijolo cerâmico é a sua capacidade de resistir à compressão, que é influenciada pela própria resistência do tijolo, da argamassa utilizada, das características de deformação dos tijolos e das argamassas, da geometria do produto, da espessura das juntas, do tipo de parede e com as condições de execução dos trabalhos.

O valor da resistência mecânica é calculado pela razão entre a força aplicada ao material por determinada área.

3.4.4. Eflorescência

As eflorescências nos tijolos são umas manchas brancas cristalinas que surgem da deslocamento e posterior evaporação da humidade nas paredes das alvenarias. Estas manchas cristalinas advêm da mistura de determinados sais da argila com a água utilizada na construção ou resultante de infiltrações. Alguns destes sais são prejudiciais para a cerâmica e, por este motivo, a eflorescência encontra-se limitada a 5 cm².

3.4.5. Durabilidade

Para avaliar a durabilidade dos tijolos é feita uma avaliação do valor da absorção de água a ferver e do coeficiente de saturação. O resultado do coeficiente de saturação é a razão entre os valores de absorção de água fria e de água quente em ebulição.

3.5. Árvore de falhas no processo de cozedura

Como o processo de produção do tijolo é um processo todo ele contínuo, conseguem-se recuperar, como matéria-prima todos os desperdícios resultantes dos tijolos estragados até ao momento em que dão entrada do forno. Não existe portanto nenhum prejuízo até esta fase.

Contudo, a partir do momento em que o tijolo é cozido as suas particularidades são alteradas, tomando as suas formas finais que podem ser consideradas em conformidade ou em não conformidade para o mercado.

Se por hipótese o tijolo for considerado não conforme, este será um prejuízo para a empresa porque não o conseguirá vender, e para o poder reaproveitar terá que ter mais custos para a sua reintrodução como matéria-prima. Por este motivo a análise do sistema baseou-se somente no processo de cozedura da Cerâmica F. Santiago, S.A..

Os custos referidos no parágrafo anterior são os custos associados com a pré-moagem que o tijolo cozido terá de sofrer, para que se possa reintroduzir novamente no processo de preparação da pasta.

Os tijolos em não conformidade são aqueles que não cumprem os requisitos mínimos de qualidade estipulados pela NP 80. Neste caso específico, os tijolos em não conformidade são os tijolos queimados, os tijolos crus, os tijolos sedados e os tijolos rebentados. As Figuras 9, 10, 11 e 12 mostram os quatro tipos de tijolos em questão.

No primeiro caso, o tijolo queimado (Figura 9), é um tipo de tijolo que apresenta manchas escuras, ficando com um aspeto negro. As principais causas para que estas situações ocorram são:

- o forno atingiu temperaturas muito elevadas para aquele formato de tijolo;
- o tempo de impulsão era muito baixo e fez com que os tijolos tivessem demasiado tempo na zona de queima.



Figura 9: Tijolo Queimado

No caso de tijolos crus (Figura 10), o tijolo apresenta uma cor mais rosada, não tanto alaranjada como é a cor normal de um tijolo e tem uma sonoridade diferente, muito característica dos tijolos crus. Ao contrário dos tijolos queimados, as principais causas que levam o tijolo a sair cru do forno são:

- as temperaturas insuficientes para concretizar a cozedura;
- a velocidade elevada dos impulsos pode provocar este evento.



Figura 10: Tijolo Cru

O tijolo sedado, apresentado na Figura 11, ocorre quando o tijolo sofre algum tipo de choque térmico dentro do forno, provocando-lhe pequenas rachas e uma sonoridade de choco. Este evento pode acontecer caso as temperaturas não tenham sido atingidas gradualmente, podendo ocorrer ou por aquecimento demasiado rápido ou por arrefecimento muito rápido.



Figura 11: Tijolo Sedado

Por último, o tijolo pode rebentar se este entrar para o forno como demasiada humidade agregada a ele. Estes casos são mais frequentes em épocas de grande precipitação e com o tempo frio, uma vez que, o tijolo tem sérias dificuldades em perder a humidade durante o período de secagem, entrando depois para o forno com humidade. Se o tijolo não conseguir perder a humidade antes de chegar à zona de queima, é certo, que aí rebente com o calor da cozedura, como mostra a Figura 12.



Figura 12: Tijolo Rebentado

A partir deste ponto encontrou-se o objetivo principal para a Árvore de falhas, a análise de todo o processo de cozedura para encontrar os eventos que provocam tijolos em não conformidade para o mercado.

Para melhor compreensão e para facilitar a consulta dos eventos da Árvore de falhas, optou-se por se subdividir em quatro outras árvores o que são tijolos em não conformidade.

As Árvores apresentadas, foram todas construídas utilizando o software *Isograph Reliability Workbench, 11.0*. Nas figuras das árvores surgem as siglas “TP”, “GT” e “EV” que significam evento de topo, porta e evento respetivamente, estas codificações são atribuídas automaticamente pelo programa informático.

A Figura 13 representa árvore principal das não conformidades no processo de cozedura da Cerâmica F. Santiago, S.A..

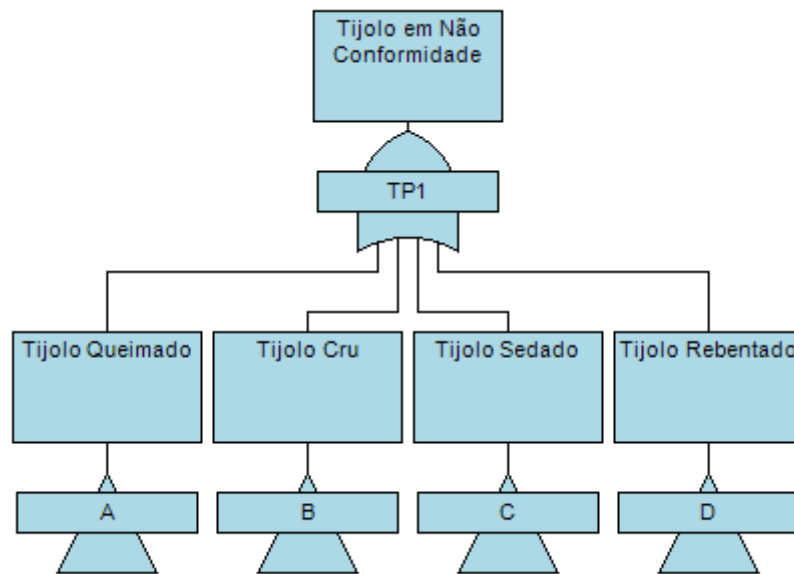


Figura 13: Árvore principal do processo de cozedura da CFS

Através da Figura 13, é evidenciada no cimo da Árvore de falhas principal do processo de cozedura da Cerâmica F. Santiago, o evento de topo “Tijolo em Não Conformidade”, e em baixo estão os eventos intermédios, em que basta um deles ocorrer para despoletar o evento de topo.

Subdividiu-se então a árvore principal em quatro outras árvores, uma para cada tipo de tijolo em não conformidade. Assim sendo, seguidamente, serão apresentadas e comentadas as árvores para o tijolo queimado, para o tijolo cru, para o tijolo sedado e para o tijolo rebentado.

Nas árvores apresentadas a seguir, será possível constatar que as falhas são principalmente de origem mecânica ou informática, mas os erros humanos com o controlo dos tempos de cozedura, das temperaturas e velocidades dos variadores e as ocorrências de origens externas, as quebras de luz elétrica e os fatores ambientais (humidade), são também, muito comuns em todas as árvores.

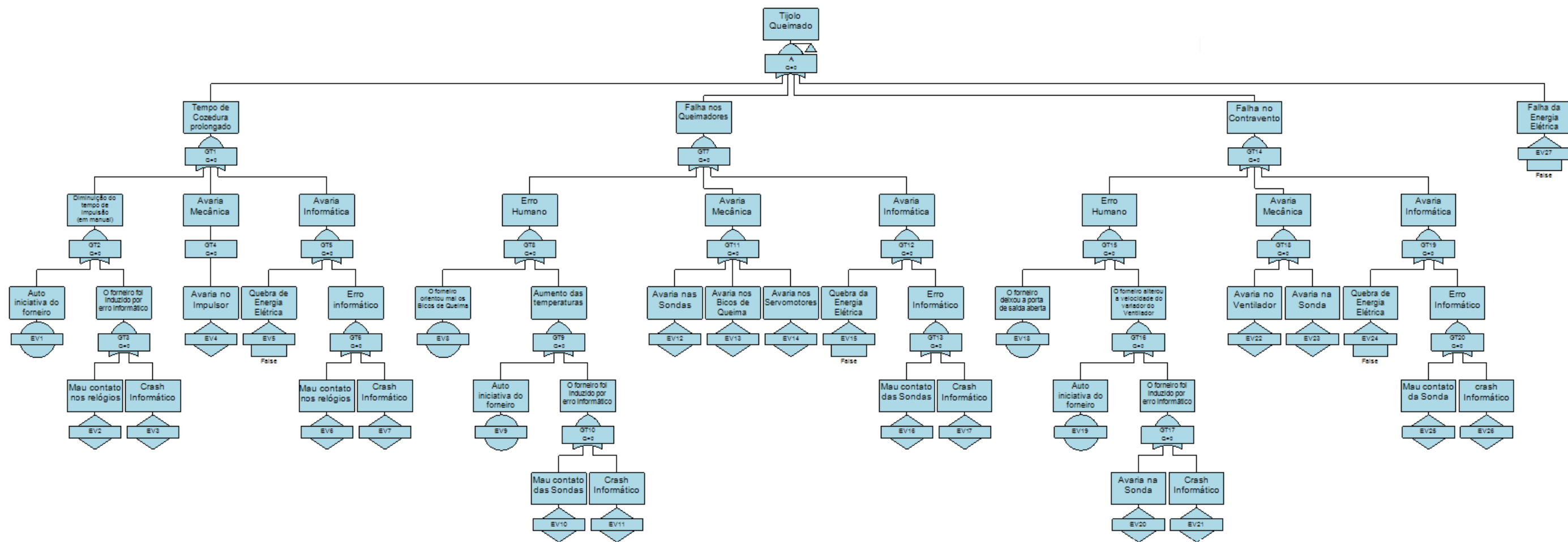


Figura 14: Árvore de falhas do Tijolo Queimado

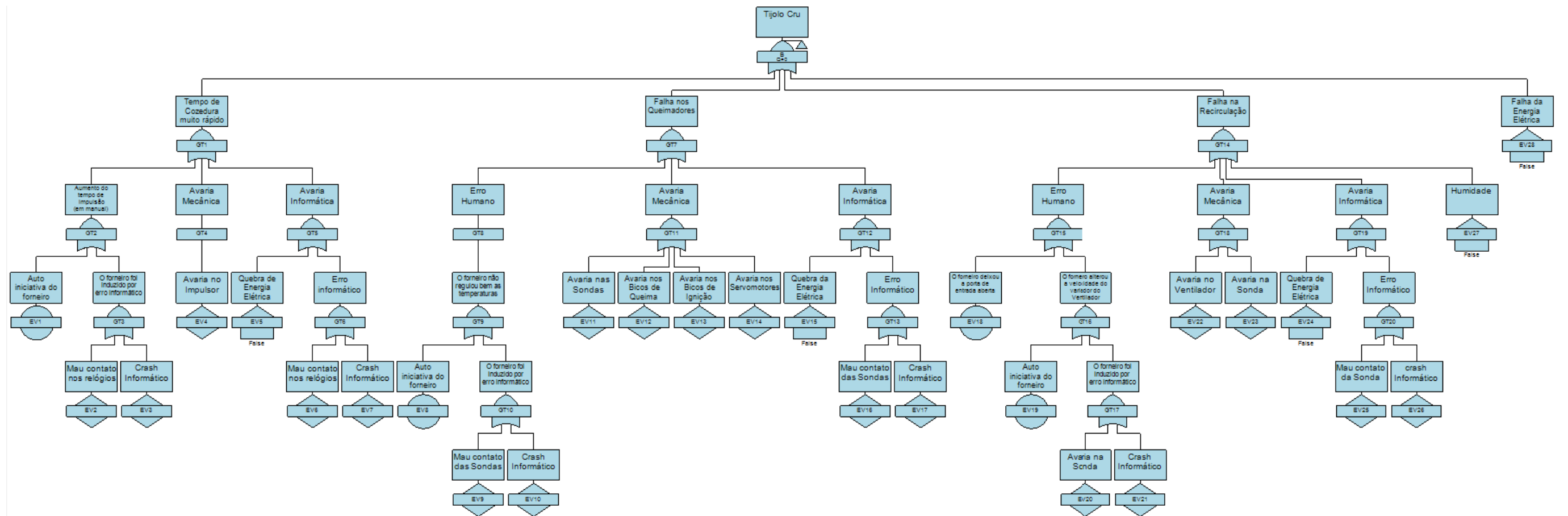


Figura 15: Árvore de falhas do Tijolo Cru

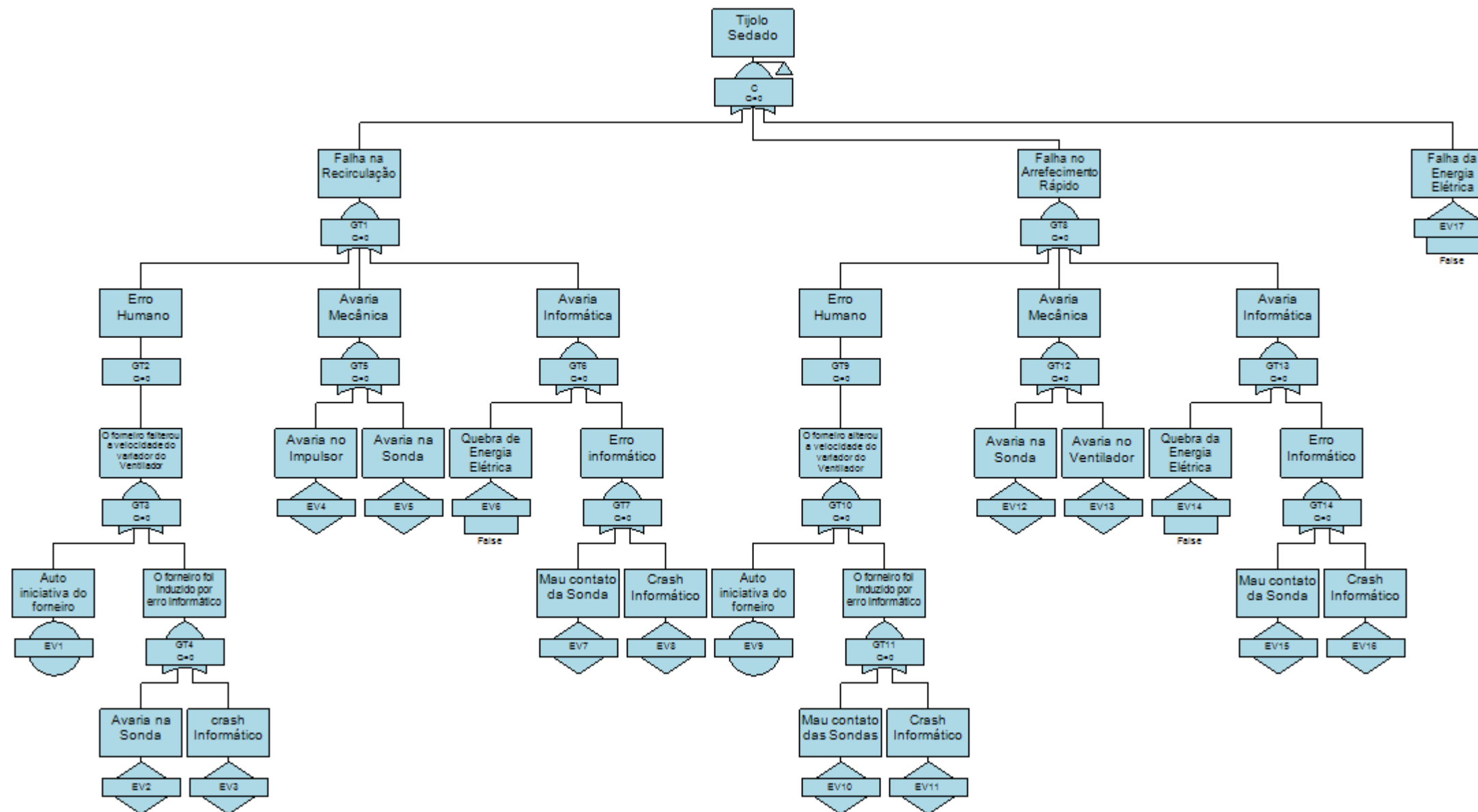


Figura 16: Árvore de falhas do Tijolo Sedado

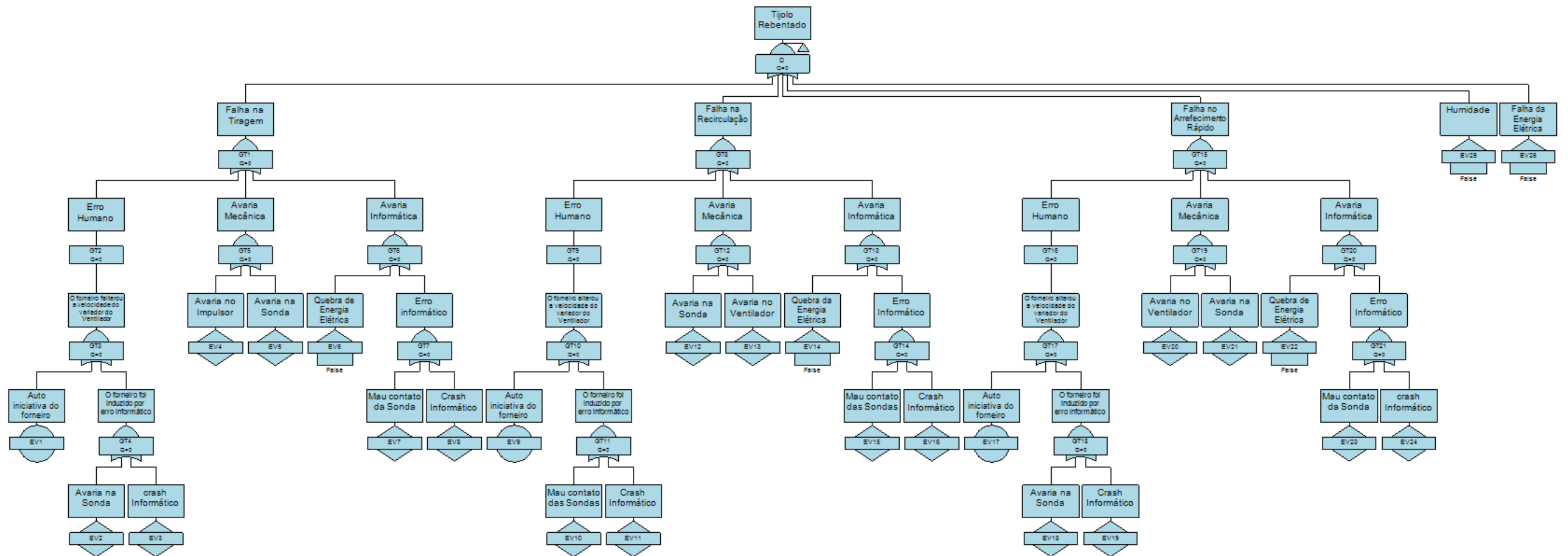


Figura 17: Árvore de falhas do Tijolo Rebentado

3.6. Análises das árvores de falhas

Constata-se que nas quatro árvores apresentadas as falhas são muito semelhantes entre si. Este fato resulta do processo de cozedura ser de regulação automática e, por este motivo, todas as máquinas trabalham interligadas umas com as outras. É notável, a fragilidade de todo o processo, bastando um único evento ocorrer para surgir o evento de topo. Para contornar esta situação é necessário tomar medidas preventivas que minimizem esta situação, principalmente quando ocorrem eventos de carácter informático ou quando há falhas de energia eléctrica.

Os eventos de origem informática que se repetem ao longo das árvores nas máquinas todas, são sempre iguais e podem acontecer sempre pelos mesmos motivos, devem-se às sondas ou *bugs* informáticos, ou então, a quebras momentâneas de energia eléctrica. As informações recolhidas pelas sondas são cruciais para um bom funcionamento, por este motivo, todo o material tem de estar a trabalhar corretamente para que as comunicações ao serem transmitidas sejam as corretas, e o programa não pode sofrer nenhum *crash*, porque desse modo, as informações não são transmitidas aos funcionários. As quebras momentâneas da energia eléctrica também influenciam o controlo das máquinas, pois o programa nestas situações tem de ser reiniciado.

Outro evento que também está repetido em todas as árvores é o evento externo ao forno mas que pode ocorrer em qualquer altura, a falha de energia eléctrica. A empresa não tem um gerador de emergência para manter as máquinas todas em funcionamento quando não há luz. Quando isto ocorre, as máquinas simplesmente param todas e quando é restabelecida a energia, os forneiros têm que ligar uma a uma e até restabelecer o forno para os parâmetros desejados. O tijolo que já se encontra dentro de forno sofre grandes alterações que não são as melhores para o processo de cozedura.

3.6.1. Tijolo Queimado

As falhas que correspondem ao tijolo queimado podem ocorrer de quatro situações, do tempo de cozedura, de falhas que resultem dos queimadores ou no contravento, ou então, poderão ocorrer se existir um corte da energia eléctrica.

O tempo de cozedura é um fator muito importante, se o tempo não for controlado consoante o tipo de tijolo e as condições a que o forno se encontra, poderá queimar o tijolo. Por este motivo, o fator humano é fundamental. Os forneiros têm que ter em atenção os valores do forno, e sempre que for necessário aumentar o tempo de impulsão para que o tijolo avance mais rapidamente.

Deste modo, é bastante importante ter em atenção o estado de conservação do impulsor, porque, por exemplo, se existir uma avaria mecânica no motor e este deixar de trabalhar terá que se reduzir o forno, o nível de pressão e o calor, para não queimar os tijolos que estão na zona de queima.

Relativamente aos queimadores, para além de poderem sofrer com uma falha informática, os tijolos podem sair queimados por erro humano, isto porque o forneiro não controlou as temperaturas, ou então, não orientou bem os bicos de queimas, que se tiverem apontados para uma determinada zona sem ser para o meio dos pacotes dos vagons, vai queimar os tijolos.

Mas também as avarias mecânicas, tanto por desgaste de material ou por qualquer outro motivo, podem ser geradoras de tijolos queimados. As sondas são uma peça fundamental em todo o circuito por serem as fontes que recolhem toda a informação. Se alguma das sondas dos queimadores não transmitir a temperatura exata a que a máquina se encontra, todas as outras máquinas podem aumentar as temperaturas até que se atinjam os parâmetros estabelecidos. O mesmo acontece com os bicos de queima, se por algum motivo eles não tiverem a trabalhar bem, a quantidade de gás pode ser maior que a esperada.

As falhas no contravento poderão também ser motivadoras de tijolos queimados, visto esta máquina ser a que controla a pressão ou depressão dentro do forno e, se os valores não estiverem equilibrados, a falta de oxigenação dentro do forno pode provocar o evento indesejado. Por este motivo, é necessário não existirem erros humanos, por exemplo, deixarem a porta de saída muito tempo aberta ou alterarem a velocidade do contravento sem necessidade. Mas as avarias mecânicas também podem surgir e por esta razão é importante supervisionar as sondas e principalmente o ventilador para que o calor não vá em demasia para trás.

3.6.2. Tijolo Cru

Em relação ao tijolo cru, as falhas correspondentes são muito semelhantes às do tijolo queimado, mas as suas recomendações são o oposto.

Para que o tempo de cozedura não seja insuficiente para cozer o tijolo, o forneiro de serviço poderá ter que aumentar o tempo de impulsão, para que desta forma, o tijolo esteja mais tempo na zona de queima e se consiga cozer.

O estado de conservação do impulsor é também um evento que é necessário vigiar, pois se este não funcionar não há entrada nem saída de novos vagons com tijolos no forno, e tem que se proceder de imediato a certas alterações de controlo para que o tijolo não se danifique.

Quanto às máquinas de queima, os tijolos crus também podem sofrer com falhas a nível informático, bem como por erro humano ou por uma avaria mecânica. A nível informático já foi comentado, no início do capítulo, o porquê de existirem falhas neste campo. Por erro humano, como já foi também mencionado anteriormente, deve-se ao forneiro não controlar as temperaturas corretamente. As razões mecânicas consistem em avarias na ignição (caso esta não funcione o gás não se incendeia e o tijolo não se coze), as sondas que poderão não transmitir corretamente as temperaturas (por consequência na realidade não estarem baixas e não serem suficientes para cozerem), e também os bicos que caso estejam entupidos o gás não passa por eles (logo não há chama que coza os tijolos que estão na sua área de atuação).

Quanto à recirculação, é bastante importante contornar a humidade nos vagons, por forma, que os tijolos a percam na zona de secagem. Para que isto ocorra, é necessário que os forneiros tenham em atenção a velocidade do variador fazendo com que este puxe ar quente por forma a secá-los, e também não podem deixar a porta de entrada aberta em dias muito húmidos para evitar que esta entre e se infiltre nos vagons que estejam a entrar. Aplica-se ainda uma vigilância dos mecanismo para que não advenham problemas com mau contato das sondas ou a correia da recirculação partir-se e este deixar de funcionar.

3.6.3. Tijolo Sedado

O tijolo sedado pode aparecer quando existem muitas oscilações repentinas de temperaturas. Por este motivo as velocidades dos variadores da recirculação e do arrefecimento rápido devem de ser emparelhadas, para evitar mudanças repentinas entre o pré-aquecimento e a zona de queima, e da zona de queima para o arrefecimento rápido.

Para acautelar que o tijolo não rache logo na zona de pré-aquecimento é fulcral controlar a velocidade do variador da recirculação. Por este motivo, o fator humano é necessário não falhar no controlo da recirculação e da tiragem por forma a manter o forno equilibrado. E nos dias de maior percentagem de humidade é preciso redobrar as precauções com a recirculação, para que não entre muita humidade agregada aos tijolos e esta vá depois alterar os valores da recirculação.

No caso do arrefecimento rápido, a sua temperatura ideal será nos 680°C / 700°C, para que os tijolos não sofram um choque térmico ao saírem dos 750° C / 900°C da zona de queima. Para que assim se mantenha, só é necessário os forneiros manterem as temperaturas regulando a velocidade do variador, logicamente se não ocorrer nenhuma informação errada por parte das sondas.

3.6.4. Tijolo rebentado

É importante referenciar que o tijolo “rebenta” se este entrar com humidade em excesso para dentro do forno e não a perder na zona de pré-cozedura (pré-aquecimento).

Deste modo, a humidade é o evento que mais influencia esta Árvore de falhas, contudo, se a tiragem, a recirculação e o contravento forem bem programadas para trabalharem conjuntamente é possível que o tijolo perca a humidade em excesso até à zona de queima e este não rebente.

Para as três máquinas trabalharem proveitosamente é indispensável que não ocorram erros humanos que podem surgir de complicações a nível informático. Deste modo, é importante que as sondas e o programa informático trabalhem em condições e não transmitam informações erradas ao forneiro de serviço.

3.6.5. Conjuntos de Corte

Para uma melhor percepção de quais os eventos que se podem repetir mais vezes, e dada a configuração das árvores apresentadas, seguem-se quatro tabelas com os eventos que podem provocar o evento de topo (Tijolo em não conformidade). Deste modo, os conjuntos de corte da Árvore de falhas principal são os seguintes apresentados nas Tabelas 4, 5, 6 e 7.

<i>Falhas Humanas</i>	<i>Número de vezes que se repete</i>
O forneiro diminuiu o tempo de impulsão	1
O forneiro orientou mal os bicos de queima	1
O forneiro não regulou bem as temperaturas	2
O forneiro deixou a porta de saída aberta	1
O forneiro alterou a velocidade do variador do ventilador do contravento	1
O forneiro aumentou o tempo de impulsão	1
O forneiro deixou a porta de entrada aberta	1
O forneiro alterou a velocidade do variador do ventilador da recirculação	1
O forneiro alterou a velocidade do variador do ventilador do arrefecimento rápido	1
O forneiro alterou a velocidade do variador do ventilador da tiragem	1

Tabela 4: Número de repetições de cada Falha Humana

<i>Falhas Informáticas</i>	<i>Número de vezes que se repete</i>
Mau contato dos relógios do impulsor	4
Mau contato das sondas dos queimadores	4
Mau contato das sondas do contravento	2

Mau contato das sondas da recirculação	6
Mau contato das sondas do arrefecimento rápido	4
Mau contato das sondas da tiragem	2
<i>Crash</i> Informático	22

Tabela 5: Número de repetições de cada Falha Informática

<i>Falhas Mecânicas</i>	<i>Número de vezes que se repete</i>
Avaria no impulsor	2
Avaria nas sondas dos queimadores	2
Avaria nos bicos de queima	2
Avaria nos servomotores dos queimadores	2
Avaria nos bicos de ignição	1
Avaria no ventilador do contravento	1
Avaria na sonda do contravento	1
Avaria no ventilador da recirculação	3
Avaria na sonda da recirculação	3
Avaria no ventilador do arrefecimento rápido	2
Avaria na sonda do arrefecimento rápido	2
Avaria no ventilador da tiragem	1
Avaria na sonda da tiragem	1

Tabela 6: Número de repetições de cada Falha Mecânica

<i>Eventos Externos</i>	<i>Número de vezes que se repete</i>
Quebras da Energia Elétrica	11
Falhas de Energia Elétrica	4
Humidade	2

Tabela 7: Número de repetições de cada Evento Externo

Após esta verificação, constata-se que vários eventos são comuns em todas as árvores (tijolo queimado, cru, sedado e rebentado), o que era de esperar, visto que as máquinas trabalham interligadas entre si, perfazendo em conjunto o processo de cozedura de regulação automática. Basta ocorrer um único evento para surgir o evento topo.

Todos os eventos mencionados podem ocorrer. Através das tabelas a cima, é possível constatar quais os eventos que se repetem mais vezes. Verifica-se que, nas falhas humanas o erro do forneiro não regular bem as temperaturas dos queimadores é aquele que mais se repete. Nas falhas informáticas, o evento com mais frequente é o *crash* informático, sobretudo devido ao facto de estar relacionado com o automatismo de todo o forno. Nas falhas mecânicas as avarias dos ventiladores e das sondas são as principais falhas, estas ocorrem mais vezes na zona da recirculação. E por último, dos eventos externos, aquele que poderá ocorrer em maior número é a quebra da energia elétrica. Este facto, é devido sobretudo à proximidade de a uma linha de alta tensão.

Relativamente aos eventos externos, é de salientar que estes ocorrem como condição limite do sistema e não por razões diretamente ligadas a ele.

Para colmatar estes eventos, segue na seção seguinte uma listagem com recomendações, que podem minimizar a ocorrência de eventos.

3.7. Recomendações de minimização de falhas

Após uma análise de todo o processo e das árvores de falhas apresentadas, é importante fazer recomendações para que os eventos não aconteçam ou para que ocorram com menos frequência.

Assim sendo, é importante encontrar vias alternativas aos acontecimentos, e visto se tratar de um processo muito simples as opções podem ter custos muito reduzidos em comparação com os prejuízos a que a empresa poderá vir a ter caso o evento de topo ocorra.

As recomendações apresentadas a seguir, podem minimizar as falhas de ocorrências dos tijolos em não conformidade de uma forma simples e algumas com custos reduzidos.

- a) Ligar um gerador a gásóleo, ou outro combustível, ao quadro elétrico do forno para funcionar em casos de emergência, quando existe quebras de energia elétrica (para mitigar eventos de quebras de Energia Elétrica e falhas da Energia Elétrica).
- b) Instalar um UPS no computador do forno, com uma autonomia razoável para não se perderem as informações quando surgem quebras de energia elétrica (para mitigar eventos de quebras de Energia Elétrica e falhas da Energia Elétrica).
- c) Armazenar peças suplentes para as máquinas, essencialmente diversos tipos de sondas, bicos de queima e correias para os ventiladores, por estas serem as peças com maiores desgaste (para mitigar eventos de mau contato dos relógios do impulsor, mau contato das sondas dos queimadores, mau contato das sondas do contravento, mau contato das sondas da recirculação, mau contato das sondas do arrefecimento rápido, mau contato das sondas da tiragem, avaria no impulsor, avaria nas sondas dos queimadores, avaria nos bicos de queima, avaria nos servomotores dos queimadores, avaria nos bicos de ignição, avaria no ventilador do contravento, avaria na sonda do contravento, avaria no ventilador da recirculação, avaria na sonda da recirculação, avaria no ventilador do arrefecimento rápido, avaria na sonda do arrefecimento rápido, avaria no ventilador da tiragem e avaria na sonda da tiragem).
- d) Instalar um computador com uma cópia do *software*, para ser utilizado nos caso de

avarias informáticas e caso não exista forma de as contornar rapidamente (para mitigar o evento de *crash* informático).

- e) Guardar várias cópias de segurança do software, para atenuar alguma eventualidade (para mitigar o evento de *crash* informático).
- f) Dar formações ao pessoal de serviço. Para o cargo de forneiro tem que existir formações específicas para o desempenho dessas funções, bem como, continuar a ser transmitidas informações específicas para evitar certas ocorrências (para mitigar eventos de o forneiro diminuir o tempo de impulsão, o forneiro orientar mal os bicos de queima, o forneiro não regular bem as temperaturas, o forneiro deixar a porta de saída aberta, o forneiro alterar a velocidade do variador do ventilador do contravento, o forneiro aumentar o tempo de impulsão, o forneiro deixar a porta de entrada aberta, o forneiro alterar a velocidade do variador do ventilador da recirculação, o forneiro alterar a velocidade do variador do ventilador do arrefecimento rápido, o forneiro alterar a velocidade do variador do ventilador da tiragem).
- g) Criar um sistema de verificações periódicas e outro de manutenções mais profundas durante as paragens do forno, por forma a prevenir paragens forçadas derivadas de avarias que poderiam ter sido evitadas se fossem postas em causa atempadamente (para mitigar eventos de mau contato dos relógios do impulsor, mau contato das sondas dos queimadores, mau contato das sondas do contravento, mau contato das sondas da recirculação, mau contato das sondas do arrefecimento rápido, mau contato das sondas da tiragem, avaria no impulsor, avaria nas sondas dos queimadores, avaria nos bicos de queima, avaria nos servomotores dos queimadores, avaria nos bicos de ignição, avaria no ventilador do contravento, avaria na sonda do contravento, avaria no ventilador da recirculação, avaria na sonda da recirculação, avaria no ventilador do arrefecimento rápido, avaria na sonda do arrefecimento rápido, avaria no ventilador da tiragem e avaria na sonda da tiragem).

4. Conclusão

Em termos conclusivos, a Árvore de falhas é uma técnica lógica que pode ser realizada quer em sistemas simples quer em sistemas mais complexos, facultando aos seus utilizadores respostas a diversos níveis sobre o funcionamento do sistema representado.

Neste caso específico, o processo de cozedura da Cerâmica F. Santiago, S.A. é um sistema simples e de fácil compreensão, quando esquematizado.

A análise do processo qualitativo permitiu obter informações mais concretas sobre as falhas do processo de cozedura do tijolo, tanto em termos de equipamentos como de trabalhadores.

Para colmatar as possíveis falhas identificadas no processo de cozedura, foram criadas várias recomendações que, ao serem adotadas pela empresa, poderão ajudar a reduzir as falhas e os prejuízos inerentes, aumentando assim, a eficiência de fabrico e também a disponibilização do produto sem deficiências, tornando-se em maximização de lucros para a empresa.

Com uma recolha de novos dados, mais específicos, este trabalho pode ser continuado, aprofundando ainda mais a análise ao sistema, como é o caso das avaliações quantitativas. Desta forma, permitiria à empresa obter probabilidades de ocorrências ou a determinação de tempos de paragem devido a cada falha.

Esta vertente não foi explorada neste trabalho por não existir um registo histórico das falhas já ocorridas ao longo dos anos.

Bibliografia

Baio Dias, A. 2002. *Construção em tijolo cerâmico: Das exigências normativas do produto à prática de aplicação.* [ed.] P. Lourenço e H. Sousa. Porto : CTCV, 2002. pp. 41-64.

Baio Dias, A. e Ferreira, M. 2007. *Guia para Implementação de um Sistema de Controlo da Produção para a Marcação CE de Tijolo Cerâmico, Telha Cerâmica e Acessórios.* Coimbra : APICER e CTCV, 2007. ISBN 978-989-95368-0-7.

Baio Dias, A. 2009. *Manual de Alvenaria de Tijolo.* 2º Edição. Coimbra : CTCV, 2009. pp. 17 - 41. ISBN 978-972-99478-5-8.

Canotilho, M. 2003. *Processos de cozedura em cerâmica.* Instituto Politécnico de Bragança : Série Estudos, 2003. ISBN 972-745-072-5.

Cardoso, J. e Eston, S. 2011. *Análise da Árvore de Falhas.* Universidade de São Paulo. São Paulo (Brasil) : Escola Politécnica da USP, 2011. pp. 120 - 126, Programa de Educação Continuada, Ensino e Aprendizado à distância.

Carneiro, F. 2011. *Avaliação de Riscos: Aplicação a em processo de construção.* Aveiro : Universidade de Aveiro, 2011. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil.

Cerâmica F. Santiago & Filhos, Lda. 1987. *A matéria-prima e os equipamentos de preparação.* 1987. Documento Interno.

Cerâmica F. Santiago, S.A. 2007. *Manual do Sistema de Gestão Ambiental - Formulário PCIP*. Cumeira de Cima : CTCV, 2007. Memória descritiva contendo uma descrição detalhada das actividades.

Clemens, P. 1993. *Fault Tree Analysis*. 1993. Jacobs Sverdrup. 4ª Edição.

DeLong, T. 1970. *A Fault Tree Manual*. Texas (EUA) : Texas A&M University, 1970. Dissertação de Mestrado em Engenharia.

Ericson II, C. 1999. *Fault Tree Analysis - A History*. *17 th International System Safety Conference*. 1999, pp. 1-9.

Ferreira, I. 2008. *Gestão do Risco Industrial numa Central Termoelétrica de Ciclo Combinado*. Lisboa : Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, 2008. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial.

Filho, S. 2006. *Análise de Árvore de Falhas considerando incertezas na definição dos eventos básicos*. Rio de Janeiro : Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006. Dissertação de Doutoramento em Ciências em Engenharia Civil.

Hu, W., et al. 2002. Operational fault tree diagnosis of manufacturing systems. *Journal of Materials Processing Technology*. 2002, Vol. 133, pp. 108-117.

Matos, M. 2009. *Análise dos Modos de Avaria de um Sistema de Alimentação de Emergência para um Centro de Informática*. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009. Dissertação de Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores.

Norberg, T., et al. 2009. Added Value in Fault Tree Analyses. [autor do livro] S. Martorell, C. Soares e J. Barnett. *Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications*. London : Taylor & Francis Group, 2009, Vol. 3, pp. 1041-1048.

Norma 80 1964. *Tijolos para alvenaria. Características e ensaios.* Lisboa : Instituto Português da Qualidade. 1964.

Norma 834 1971. *Tijolos de Barro Vermelho para Alvenaria. Formatos.* Lisboa : Instituto Português da Qualidade. 1971.

NP EN 1304 2007. *Telhas Cerâmicas e acessórios. Definições e especificações dos produtos.* Lisboa : Instituto Português da Qualidade. 2007.

NP EN 771-1 2006. *Especificações para unidades de alvenaria. Parte 1: Tijolos cerâmicos para Alvenaria.* Lisboa : Instituto Português da Qualidade. 2006.

Comissão Europeia 2006. *Prevenção e controlo integrados da poluição, Documento de referência sobre as Melhores Técnicas disponíveis na Indústria Cerâmica.* Direcção-Geral JRC Centro de Investigação Conjunta, Instituto de Estudos e Tecnologias Prospectiva. 2006.

Rahman, F., et al. 2013. Application of fault tree analysis for customer reliability assessment of a distribution power system. *Reliability Engineering and System Safety.* 2013, Vol. 111, pp. 76-85.

Rausand, M. e Hoyland, A. 2004. *Systems Reliability Theory, Models, Statistical Methods, and Applications.* 2ª Edição. s.l. : Wiley, 2004.

Serpa, R. n.d.. *Análise de Árvore de Falhas.* s.l. : Itsemap do Brasil - Serviços Tecnológicos MAPFRE, n.d.

Silva, N. 2010. *Análise de Risco Associada a Prazos de Execução de Obras.* Departamento de Engenharia Civil. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil.

Tanaka, O. e Melo, C. 2011. Escolha de Abordagens. *Avaliação de Programas de Saúde do Adolescente - Um modo de fazer.* 1ª Edição. São Paulo : Edusp, 2011, 4, pp. 37-42.

Vatn, J. 2001. *Introduction to Fault Tree Analysis*. s.l. : ProM@in, 2001. Nota Técnica.

Vesely, W., et al. 2002. *Fault Tree Handbook with Aerospace Applications*. Washington, DC : NASA Office of Safety and Mission Assurance, 2002. Manual de Aplicações Aeroespaciais.

Bibliografia Web

Advance Logistics Development. <http://www.aldservice.com/en/reliability-products/fta.html> (acedido em 19 de Abril de 2013).

“Análise da Árvore de falhas.” *Google Docs.* <http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:xtzUR4huL-AJ:www.forma-te.com/mediateca/download-document/4788-analise-da-arvore-de-falhas.html+arvore+de+falhas&hl=pt-PT&gl=pt&pid=bl&srcid=ADGEESipvmie0sFsth1IqHaELq97DVMycdryGFtB5F5ApmJignUf4SNrx58zW6irVomvG6lb> (acedido em 25 de Março de 2011).

Branco, R. “Análise de Árvore de Falhas (FTA) em Manutenção.” *Manutenção & Suprimentos.* <http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/2828-analise-de-arvore-de-falhas-fta-em-manutencao/> (acedido em 23 de Fevereiro de 2013).

Callefi, F. “Prevenção e Recuperação de Falhas.” *Ebah.* <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAL5EAC/prevencao-recuperacao-falhas> (acedido em 23 de Fevereiro de 2013).

Edraw Professional Diagram Solution. <http://www.edrawsoft.com> (acedido em 19 de Abril de 2013).

Ericson II, C. “Fault Tree Analysis.” *Pdfs.* 1999. <http://pdfsb.com/readonline/62464248645146365758462f4358786b> (acedido em 22 de Novembro de 2012).

Fault Tree net. <http://www.fault-tree.net/> (acedido em 23 de Abril de 2011).

Firmino, P., e E. Droguett. “Estimação da cota inferior para a Confiabilidade de Sistemas por Árvores de Falhas.” *SciELO Scientific Electronic Library Online*. http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-74382006000200009&script=sci_arttext (acedido em 25 de Março de 2011).

Isograph. <http://www.isograph-software.com> (acedido em 19 de Abril de 2013).

Item Software. <http://www.itemsoft.com/> (acedido em 19 de Abril de 2013).

Maurin, A. “Introdução ao Fault Tree Analysis.” *The Goat Blog*. http://www.thegoatblog.com.br/archives/2010/06/entry_288.html (acedido em 23 de Maio de 2011).

Maurin, A. “Metodologia de Árvore de Falhas.” *The Goat Blog*. http://www.thegoatblog.com.br/archives/2010/06/entry_290.html (acedido em 23 de Maio de 2011).

“Minimal Cut Sets.” *Weibull*. <http://www.weibull.com/hotwire/issue63/relbasics63.htm> (acedido em 9 de Abril de 2013).

Relia Soft. <http://www.reliasoft.com.br>. (acedido em 19 de Abril de 2013).