O Sistema Construtivo em LSF (*Lightweight Steel Frame*)

Paulo Santos[1*] **e Balthazar Aroso**[2]
[1] ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Pólo II, Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal
[2] Urbimagem, Rua do Monte dos Burgos 482, 4250-231 Porto, Portugal

* Autor correspondente: Paulo Santos, pfsantos@dec.uc.pt

1. Introdução

"*Lightweight Steel Framing*" - LSF é a designação internacionalmente conhecida para o sistema construtivo em que a estrutura é constituída por perfis metálicos galvanizados enformados a frio de reduzida espessura (na ordem de um milímetro) e, consequentemente, de peso muito reduzido (leve). Os primeiros edifícios construídos em LSF remontam ao início do século XX, onde se tentou replicar a construção em madeira, que na altura era o sistema construtivo mais usual, por exemplo nos Estados Unidos da América (EUA). O sistema construtivo em LSF permitiu ultrapassar algumas das lacunas da construção em madeira, como por exemplo a sua vulnerabilidade ao fogo, às térmitas e às variações de humidade, com a vantagem adicional de possuir uma superior resistência mecânica, muito útil aquando da ocorrência de condições atmosféricas extremas, *e.g.* furacões e tornados.

Os primeiros protótipos de moradias em LSF foram apresentados na Exposição Mundial de Chicago (EUA) em 1933, em que estas casas foram apresentadas como sendo as "casas do futuro" [1]. Foi também nos EUA que surgiu o primeiro código/regulamento de dimensionamento de estruturas em LSF publicado em 1946 pelo AISI *"American Iron and Steel Institute"* [2], designado de *"Specification for the Design of Light Gage Steel Structural Members"*.

Após a 2ª guerra mundial, devido à enorme devastação dos edifícios que ocorreu durante a mesma, à necessidade urgente de reconstrução em países como a Alemanha, França e Japão, às preocupações ambientais de proteção das florestas, ao aumento do preço da madeira e à experiência adquirida na utilização de aço durante os anos de guerra, a prefabricação e a construção em massa de estruturas em LSF sofreu um novo impulso [1].

A construção de elementos divisórios interiores (*e.g.* paredes de compartimentação) em LSF é um outro nicho de mercado onde este sistema construtivo tem ganho expressão muito significativa, devido às suas vantagens competitivas. Por exemplo, a SFA "*Steel Framing Alliance*" [3] anunciou que em 2004, nos EUA, 81 % das paredes divisórias interiores foram executadas em LSF. Atualmente, de acordo com os relatórios fornecidos pela SFIA "*Steel Framing Industry Association*" [1], 30 a 35% de todos os edifícios não residenciais nos EUA são construídos com elementos estruturais e não estruturais em LSF.

Em Portugal, a construção tradicional em betão armado e alvenaria de tijolo continua a dominar o mercado nacional, tendo as pessoas que pretendem construir a sua casa, uma grande aversão à mudança para sistemas construtivos inovadores, por receio de que algo corra menos bem ou mesmo mal. Apesar disso, surgiram no mercado nacional diversas empresas de conceção, projeto e execução de construções em LSF que se têm afirmado de uma forma muito positiva e dado provas das vantagens inerentes a este sistema construtivo inovador.

De facto, a crise que surgiu no sector da construção nacional, como consequência da crise económica internacional no final da 1ª década deste milénio, levou a que muitas empresas de construção "fechassem portas", outras procurassem novas oportunidades no estrangeiro, e outras ainda apostassem em sistemas construtivos inovadores (Figura 1) para se distinguirem da concorrência, apresentando diversas mais-valias como é o caso das construções em LSF (*e.g.* económicas, rapidez de execução, melhor desempenho, adequação à prefabricação industrial em série, melhor garantia e controlo de qualidade, peso reduzido e facilidade de transporte, durabilidade e facilidade de manutenção, etc.). Dadas as caraterísticas inerentes ao sistema construtivo em LSF, em particular a sua leveza e o seu elevado potencial para a prefabricação, este sistema tem um grande potencial para ser utilizado no mercado da reabilitação de edifícios e também para exportação para países onde o mercado da habitação ainda está ávido de casas novas e onde os recursos para as construir de forma tradicional são muito escassos ou inexistentes (*e.g.* alguns países do continente Africano).

Neste artigo pretende-se descrever de uma forma concisa e objetiva em que consiste o sistema construtivo em LSF, os materiais utilizados, a classificação destes elementos construtivos, as principais vantagens e limitações do sistema, bem assim como os principais métodos de assemblagem. Por último é apresentado um caso-de-estudo, moradia unifamiliar construída em LSF, ilustrado fotograficamente.

Figura 1: Estrutura metálica em LSF e aspeto final exterior da moradia [12].

2. Materiais Utilizados

O sistema construtivo em LSF utiliza habitualmente três tipos de materiais [4]-[5]: (i) elementos estruturais compostos por perfis metálicos enformados a frio; (ii) elementos de revestimento (*e.g.* painéis de gesso cartonado e painéis OSB - *"Oriented Strand Boards"*), e; (iii) materiais de isolamento (*e.g.* poliestireno expandido, EPS, no isolamento térmico pelo exterior, ETICS - *"External Thermal Insulation Coating System"* - e lã-de-rocha na caixa-de-ar entre perfis). Existem também outros materiais complementares, tais como parafusos auto-perfurantes, membranas e telas impermeáveis, assim como os materiais de acabamento. A Figura 2 ilustra uma moradia em LSF em fase de construção, nomeadamente a estrutura metálica constituída por perfis enformados a frio (Figura 2a) e após a aplicação dos painéis OSB de revestimento pelo exterior (Figura 2b). Note-se que, tal como habitualmente, para evitar problemas relacionados com humidade proveniente do solo, foi executada uma laje térrea elevada em betão armado [6].

a) Estrutura com perfis em aço

b) Painéis exteriores em OSB

Figura 2: Moradia em construção com o sistema LSF [6].

Após esta breve introdução, descreve-se nas seções seguintes os principais materiais utilizados na construção em LSF, nomeadamente os perfis enformados a frio, os painéis de revestimento, as ligações, os materiais de isolamento, as membranas e telas, e, por último, as opções de acabamento.

2.1. Perfis Enformados a Frio

A estrutura de suporte na construção em LSF é constituída por perfis de aço enformados a frio e galvanizados. A resistência e a rigidez do perfil de aço dependem, para além da espessura da chapa de aço e do tipo de aço, da forma da seção transversal. Os perfis de aço enformados a frio podem possuir diversas geometrias, a maioria delas identificadas por uma letra (*e.g.* U, C, Z), conforme ilustrado na Figura 3. A seção "C" é uma das formas de perfil de aço mais utilizadas. A espessura usual da chapa de aço para perfis LSF varia de 0,45 a 6 mm [4].

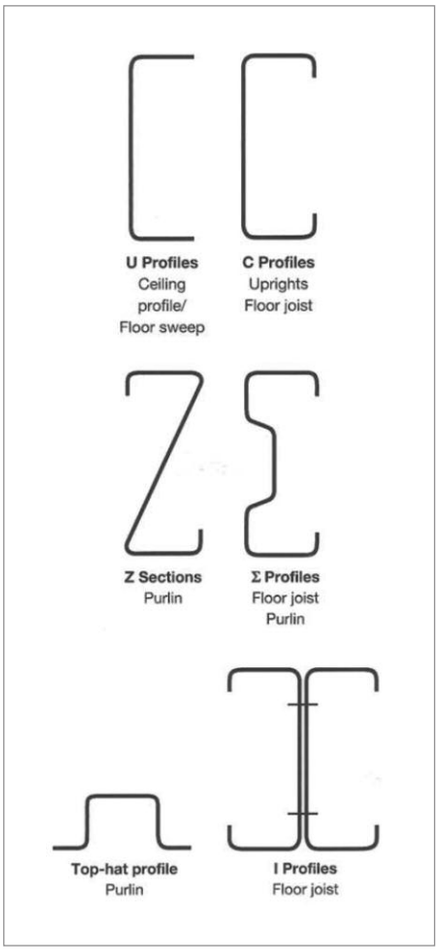


Figura 3: Seções transversais de perfis enformados a frio [7].

As seções dos perfis enformados a frio podem ser fabricadas usando três processos, nomeadamente: (i) "*drawing*", (ii) dobragem ou quinagem e (iii) "*rolling*" (LSK, 2005). O primeiro processo, "*drawing*", consiste em puxar a tira de aço através de rolos de deformação, não acionados, usando mandíbulas de tração. Este processo de fabricação de baixo custo é adequado para a produção de seções muito finas e complexas.

O segundo processo de fabrico, designado por dobragem ou quinagem, pode ser conseguido através de aperto, forçando a dobragem por flexão localizada da chapa. A principal diferença entre este processo e os outros dois é que a tira de aço não precisa de estar previamente enrolada. De facto, o terceiro processo, "*rolling*" (Figura 4) é mais utilizado no fabrico industrial de perfis de aço enformados a frio, devido aos seus maiores níveis de produtividade. Os processos "*drawing*" e "*rolling*" são similares, com uma grande diferença: os cilindros/rolos de deformação no último são acionados mecanicamente.

A norma EN 10162 [8] prescreve as tolerâncias dimensionais e transversais para seções de aço enformadas a frio. Os perfis de aço enformados a frio são normalmente fabricados com um comprimento até 12 metros [7], para permitir o transporte sem a necessidade de transporte especial, sendo este último mais caro.

a) Rolos de chapa de aço

b) Desenrolamento da chapa de aço

c) Máquina de rolos para enformagem a frio

d) Perfis em Omega

Figura 4: Processo de enformagem a frio dos perfis metálicos [9].

O desempenho estrutural e funcional depende da geometria da seção transversal dos perfis, existindo alguns perfis especiais com melhor desempenho térmico (*e.g.* perfis de alma ranhurada) ou com melhor desempenho acústico (*e.g.* perfis resilientes). Para evitar a corrosão e aumentar a durabilidade, os perfis de aço geralmente são galvanizados. Estes perfis metálicos são utilizados em todos os componentes da construção em LSF, nomeadamente: paredes exteriores e divisórias interiores, lajes de pavimento e de cobertura.

Tal como ilustrado na Figura 5, a caixa-de-ar formada entre os perfis metálicos é adequada para passagem de cablagens e tubagens, tornando mais fácil a aplicação de instalações técnicas sem necessidade de abertura de roços [7].

a) Antes da aplicação do gesso cartonado

b) Depois da aplicação do gesso cartonado

Figura 5: Instalações técnicas atravessando os perfis metálicos [9].

2.2. Painéis de Revestimento

As placas em OSB e em gesso cartonado são os painéis de revestimento mais usuais para as faces exterior e interior da estrutura em LSF, respetivamente (Figura 6). No entanto, em pavilhões industriais, o revestimento em chapa de aço também é usado com frequência. Note-se que, para além da sua função de revestimento, estes painéis podem ter também um papel estrutural relevante nas paredes resistentes em relação às cargas horizontais, *e.g.* ação do vento e sísmica [10] [11].

Além das paredes, os painéis OSB também podem ser usados em lajes (por exemplo, pavimentos e cobertura), sendo a sua espessura geralmente maior que nas paredes. Adicionalmente, para aumentar a inércia térmica e reduzir as vibrações das lajes pavimentos, pode ser vantajoso o uso de uma camada superior de betão/argamassa de enchimento de pequena espessura (*e.g.* 50 mm) [4].

Legenda:
❶ Gesso cartonado
❷ Perfil de aço
❸ Lã-de-rocha
❹ OSB
❺ ETICS com EPS

Figura 6: Seção transversal de uma parede em LSF [6].

2.3. Ligações

Existem diversas formas de efetuar as ligações entre perfis metálicos e entre os painéis de revestimento e a estrutura de suporte, sendo o método mais comum o aparafusamento utilizando parafusos auto-perfurantes (Figura 7). Este método de ligação possui diversas vantagens, nomeadamente proporcionando uma ligação mais forte e de maior durabilidade quando comparado com a utilização de pregos [7]. Os parafusos podem ser utilizados com anilhas para aumentar a sua resistência mecânica e/ou a sua estanquicidade. Neste último caso, utiliza-se uma anilha adicional em material elastómero (*e.g.* borracha). As ligações aparafusadas são realizadas atualmente com o auxílio de uma aparafusadora elétrica conforme ilustrado na Figura 8. Devido às altas temperaturas geradas por fricção durante o processo de aparafusamento, os parafusos auto-perfurantes são geralmente fabricados a partir de aço-carbono com tratamento térmico para resistir ao calor gerado durante o processo.

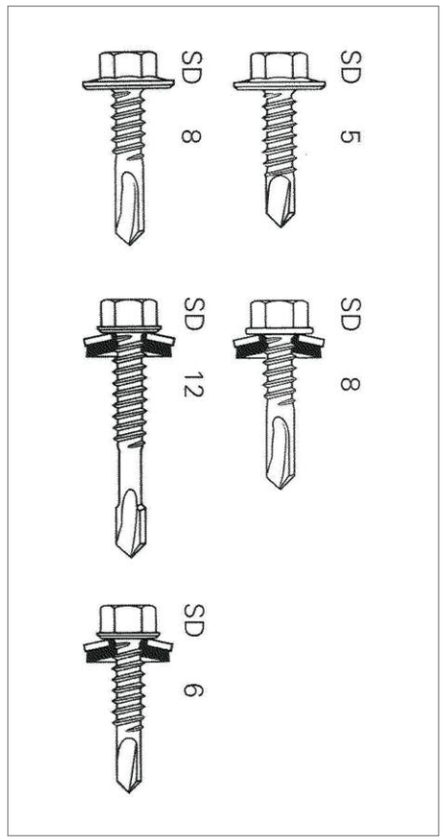


Figura 7: Tipos de parafusos auto-perfurantes [4].

a) Aparafusadora elétrica e parafusos

b) Aparafusamento dos perfis metálicos [12]

Figura 8: Parafusos auto-perfurantes para unir perfis enformados a frio.

2.4. Materiais de Isolamento

Tal como ilustrado na Figura 9, os materiais de isolamento térmico e acústico mais utilizados na construção em LSF são a lã-de-rocha na caixa-de-ar e o poliestireno expandido (EPS), ou extrudido (XPS), como isolamento térmico pelo exterior. A utilização de lã-de-rocha na caixa-de-ar permite obter simultaneamente isolamento térmico [13], isolamento acústico [14] e confere uma resistência ao fogo adicional devido ao facto de ser um material incombustível [15]. A utilização de EPS ou XPS como isolamento térmico pelo exterior (ETICS) é também muito frequente, pois tratando-se de isolamento térmico contínuo, ao contrário do que sucede com a lã-de-rocha, permite minimizar de uma forma mais eficiente as pontes térmicas originadas pelos perfis em aço. Adicionalmente, outra vantagem da utilização de ETICS está relacionada com o aumento da inércia térmica e consequentes menores flutuações da temperatura no interior do edifício.

a) Lã-de-rocha na caixa-de-ar entre perfis [12]

b) Aplicação das placas de EPS (ETICS)

Figura 9: Aplicação de isolamento numa parede em LSF.

2.5. Membranas e Telas

A utilização adequada de telas para diminuir a permeabilidade ao ar/vento dos elementos construtivos em LSF é importante para controlar as perdas de calor através das infiltrações de ar, sendo ainda mais relevante em climas frios [4]. Estas telas ou membranas devem ser impermeáveis ao ar e à água, mas permeáveis ao vapor, para que os elementos construtivos em LSF possam "respirar" e libertar para o exterior alguma humidade em excesso. Tal como ilustrado na Figura 10, esta tela deve ser aplicada de forma contínua na face exterior dos elementos construtivos em LSF após a aplicação do OSB e antes da aplicação do ETICS.

Figura 10: Tela impermeável à água, mas permeável ao vapor, aplicada na face exterior da fachada em LSF, próximo de uma abertura, antes da aplicação do ETICS. [9]

Em edifícios novos com elevado nível de isolamento térmico, as infiltrações de ar podem ser responsáveis por cerca de 25% das necessidades de aquecimento e 3% das necessidades de arrefecimento [16]. Para que se tenha a certeza de que estas telas foram corretamente aplicadas e que os níveis de infiltração de ar são reduzidos, é necessário efetuar um ensaio denominado em inglês "*blower door test*", ou método de pressurização utilizando uma ventoinha, seguindo os procedimentos de ensaio descritos na norma EN 13829 [17].

Também faz parte das boas práticas de algumas empresas de construção em LSF a aplicação de uma tela em espuma de polietileno (*e.g.* 2 mm de espessura) entre a estrutura metálica e os painéis de revestimento (*e.g.* OSB), tendo esta uma função essencialmente acústica, minimizando os ruídos originados pelo atrito entre a estrutura metálica e os restantes materiais (Figura 11).

Figura 11: Tela de espuma de polietileno aplicada na face exterior da estrutura metálica [12].

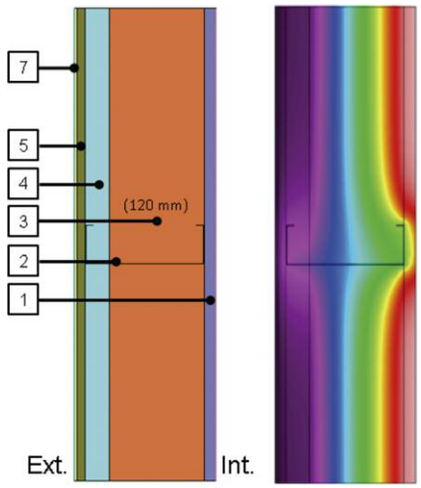
2.6. Opções de Acabamento

Olhando para o aspeto exterior e interior de um edifício em LSF (*e.g.* moradia) não se consegue distinguir qual o sistema construtivo adotado. As opções de acabamento mais habituais em edifícios residenciais em LSF são o ETICS e o gesso cartonado pintado, respetivamente na face exterior e interior das paredes de fachada. A utilização de gesso cartonado é também muito frequente nos tetos. No entanto, o sistema construtivo em LSF pode ter qualquer acabamento igual à construção tradicional em betão armado e alvenaria de tijolo [7]. A Figura 12 ilustra a vista exterior de uma moradia em LSF com rés-do-chão e 1º andar. Tal como referido anteriormente, o aspeto é igual a qualquer outra moradia, não sendo possível distinguir o sistema construtivo adotado.

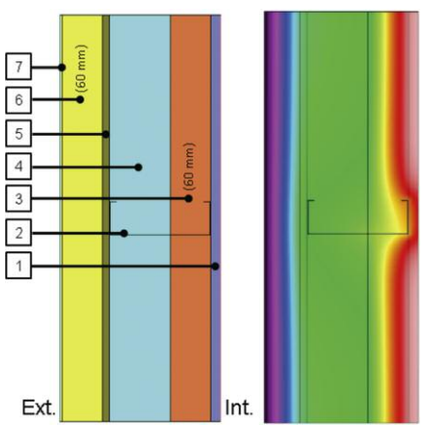
Figura 12: Aspeto exterior de uma moradia em LSF [18].

3. Classificação de Elementos em LSF

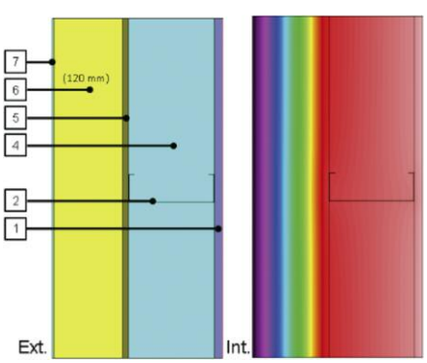
Os elementos construtivos em LSF podem ser classificados em função da posição dos materiais de isolamento, como sendo de estrutura fria, hibrida ou quente [19], tal como ilustrado na Figura 13.



a) Construção com estrutura fria
U = 0.5255 W/m²/K

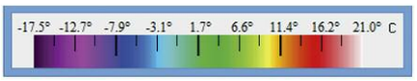


b) Construção hibrida
U = 0.3856 W/m²/K



c) Construção com estrutura quente
U = 0.2828 W/m²/K

1 - Gesso cartonado
2 - Perfis em LSF
3 - Lã-de-rocha
4 - Caixa-de-Ar
5 - OSB
6 - EPS
7 - Acabamento ETICS



d) Materiais e legenda de cores

Figura 13: Classificação de paredes em LSF, distribuição de temperatura e coeficiente de transmissão térmica, *U* [6].

3.1. Construção com Estrutura Fria

Quando todo o isolamento térmico (*e.g.* lã-de-rocha) está localizado no interior da caixa-de-ar entre os perfis metálicos (Figura 13a), o elemento é designado como sendo de "estrutura fria", dado que existe uma maior perda de calor através das pontes térmicas originadas pelos perfis em aço e consequentemente a temperatura da estrutura em aço diminui originando um maior risco de condensação intersticial, que poderá ser particularmente relevante em climas mais frios.

3.2. Construção Híbrida

O sistema construtivo em LSF mais habitual é do tipo híbrido (Figura 13b) onde, para além da lã-de-rocha na caixa-de-ar, existe uma camada adicional de isolamento térmico, usualmente contínuo e na face exterior (ETICS).

3.3. Construção com Estrutura Quente

Nos casos em que todo o isolamento térmico é colocado na face exterior da estrutura metálica, esta estrutura torna-se mais quente, como se pode comprovar por comparação entre as várias imagens da Figura 13, e por este motivo tem a designação habitual de "construção com estrutura quente". Tendo em consideração as caraterísticas do comportamento termo-higrométrico a melhor opção é a "construção com estrutura quente", uma vez que existe um isolamento térmico contínuo e consequente um menor valor do coeficiente de transmissão térmica (U), reduzindo os riscos de condensação intersticial [4].

Adicionalmente, a construção com estrutura quente possui também a vantagem de exibir uma maior inércia térmica uma vez que o isolamento está aplicado pelo exterior e consequentemente a massa térmica em contacto direto com o ambiente interior do edifício é superior, originando assim menores flutuações de temperatura dentro do edifício.

No entanto, nesta situação as paredes têm uma espessura superior, o que pode reduzir a área útil de pavimento. Uma outra desvantagem é originada pelo facto de não existir qualquer material de preenchimento na caixa-de-ar (*e.g.* lã-de-rocha), material este que faz falta numa perspetiva de desempenho acústico, pois assim existe uma maior probabilidade de ocorrência de fenómenos de ressonância no interior da caixa-de-ar, podendo comprometer o seu adequado isolamento acústico.

4. Vantagens e Limitações

4.1. Vantagens

Comparativamente à construção tradicional em betão armado e alvenaria de tijolo, as principais vantagens do sistema construtivo em LSF estão relacionadas com a sua leveza por um lado e com o facto de ser uma *"construção seca"* (*"dry-construction"*), minimizando os problemas associados à existência de humidade. Devido à maior facilidade de transporte (elementos construtivos mais leves), a construção em LSF é muito adequada à prefabricação com os consequentes benefícios em termos de maior controlo de qualidade e produção em série, reduzindo custos e tempo de execução em obra. Adicionalmente, os recursos em obra, incluindo a necessidade de espaço no estaleiro é inferior (*e.g.* não são necessários locais para armazenamento de inertes, produção de betões, zona de corte, dobragem e montagem de armaduras, etc.). Os perfis metálicos são extremamente resistentes tendo em consideração o seu baixo peso, não são biodegradáveis nem sofrem variações de comprimento com a humidade (como por exemplo a madeira), sendo 100% recicláveis. A construção em LSF é adequada para uma construção modular (*e.g.* por painéis) possuindo uma maior flexibilidade e adaptabilidade arquitetónica, permitindo uma maior facilidade na desmontagem e reutilização dos elementos em LSF com o auxílio de uma simples aparafusadora.

Ainda relacionado com o reduzido peso do sistema LSF, podemos apontar como vantagem consequente a menor dimensão das fundações e menor ação sísmica. Adicionalmente, é dos sistemas construtivos mais adequados à exportação, por exemplo por via rodoviária e até marítima, devido, mais uma vez, ao seu reduzido peso e à consequente maior facilidade de transporte.

Trata-se também de um sistema muito adequado à reabilitação de edifícios antigos, cuja capacidade de carga é limitada, devido à grande leveza das soluções em LSF e consequente menor peso próprio e sobrecarga, conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14: Utilização do sistema construtivo em LSF na reabilitação de um edifício antigo.

4.2. Potenciais Limitações

Naturalmente que, tal como qualquer outro sistema construtivo, o sistema em LSF não apresenta apenas vantagens, possuindo também alguns potenciais inconvenientes e limitações. Uma destas limitações está relacionada com a altura dos edifícios. Devido à grande esbelteza dos perfis, o sistema está habitualmente limitado a edifícios de pequena altura (*e.g.* moradias até 2 pisos elevados), embora seja possível, com o dimensionamento estrutural adequado, construir edifícios de altura superior.

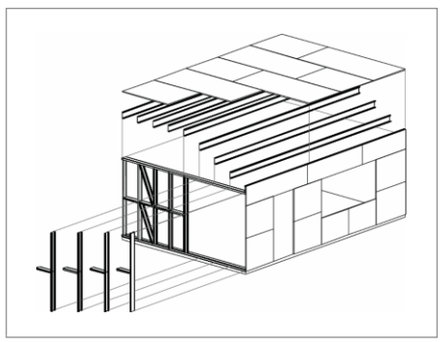
Um outro potencial inconveniente do sistema construtivo em LSF está relacionado com as pontes térmicas que podem ser originadas devido à elevada condutibilidade térmica do aço. Neste contexto, é necessário um maior cuidado na mitigação destas pontes térmicas na fase de projeto e posteriormente na execução deste tipo de elementos construtivos, fazendo uso privilegiado de isolamento térmico contínuo pelo exterior (ETICS).

Uma das estratégias possíveis para mitigar as pontes térmicas originadas pelos perfis de aço é a utilização de tiras de corte térmico aplicadas nos banzos dos perfis, aumentando a resistência térmica localizada à passagem de calor. O projeto de investigação "*Tyre4BuildIns* - Borracha de pneus reciclados colada com resinas para sistemas de isolamento de edifícios eficientes energeticamente", tem como objetivo principal o desenvolvimento de um material ecológico e económico à base de granulado de borracha de pneus reciclados para utilização como material de isolamento [20].

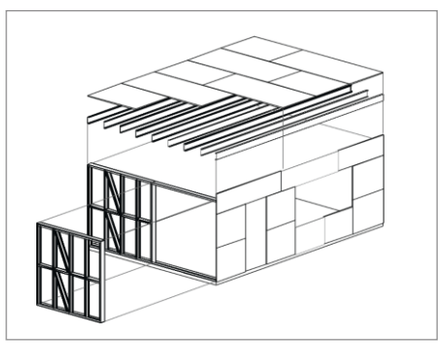
Devido ao reduzido peso deste tipo de elementos construtivos (*i.e.*, menor massa), estes edifícios poderão ter menor inércia térmica, ou seja, menor capacidade de absorver e libertar calor, mantendo uma temperatura estável no interior do edifício. No entanto, não é difícil aumentar a inércia térmica, por exemplo aumentando a massa nos pavimentos usando uma camada de enchimento e/ou revestimento dos mesmos.

5. Métodos de Assemblagem

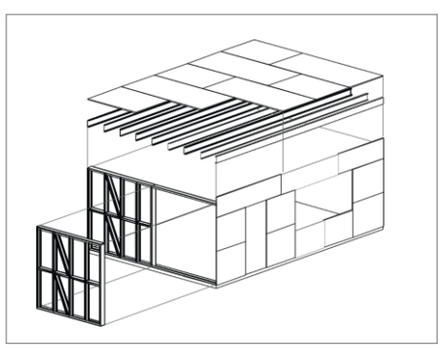
Os três principais métodos de assemblagem de estruturas em LSF estão representados esquematicamente na Figura 15, nomeadamente: (a) Construção perfil-a-perfil; (b) Construção por painéis (ou 2D), e; (c) Construção por módulos tridimensionais (3D).



a) Construção perfil-a-perfil



b) Construção por painéis (2D)



c) Construção modular (3D)

Figura 15: Métodos de assemblagem em LSF [21].

5.1. Construção Perfil-a-Perfil (1D)

A construção perfil a perfil é o método mais antigo e menos sofisticado, em que os perfis são montados um-a-um em obra, aumentando a flexibilidade e reduzindo as necessidades de planeamento (Figura 15a). As principais vantagens deste método de assemblagem estão listadas no Quadro 1.

Quadro 1: Vantagens principais do método de assemblagem perfil-a-perfil, adaptado de [9].

- As tolerâncias de construção e eventuais alterações podem ser facilmente acomodadas em obra;
- As técnicas de ligação são relativamente simples (habitualmente com parafusos auto-perfurantes e eventualmente com o auxílio de chapas de ligação);
- As empresas construtoras não necessitam de possuir locais próprios de prefabricação associados habitualmente à prefabricação por painéis e modular 3D;
- Maior facilidade no transporte dos perfis estruturais que podem ser densamente agrupados e transportados, minimizando o volume ocupado pelos mesmos.

5.2. Construção por Painéis (2D)

Devido à grande propensão do sistema LSF para a prefabricação modular industrial, com um superior controlo de qualidade e uma maior rapidez de ereção, a construção por painéis (Figura 15b) e a construção modular 3D (Figura 15c) estão cada vez mais a ser adotadas pelas empresas de construção em LSF. Nestes dois métodos de assemblagem, os elementos 2D (painéis em LSF) e os elementos modulares 3D são prefabricados nas instalações fabris da empresa, com dimensões adequadas para serem posteriormente transportadas para o local da obra (estaleiro), onde serão depois montados e acabados. O sistema construtivo baseado em painéis possui a vantagem de necessitar de um volume de transporte significativamente inferior ao sistema construtivo modular 3D, que ocupa durante o transporte um volume muito significativo. O Quadro 2 apresenta as principais vantagens do sistema de prefabricação por painéis.

Quadro 2: Vantagens principais da prefabricação por painéis, adaptado de [9].

- Maior rapidez de ereção dos painéis;
- Controlo de qualidade superior na produção em fábrica;
- Minimização de custos e de necessidades de mão-de-obra no estaleiro;
- Muito adequado para um processo automático de produção em fábrica;
- A aplicação de painéis de revestimento e de sistemas de acabamento é facilitada e mais rápida, tendo os painéis numa posição horizontal em fábrica.

5.3. Construção Modular/Volumétrica (3D)

O sistema de construção modular ou volumétrico (3D) é o sistema de prefabricação mais completo, pois permite efetuar um maior número de operações em fábrica, permitindo reduzir quase todas as incertezas inerentes à execução em obra. Apresenta-se no Quadro 3 uma listagem das principais vantagens da prefabricação modular/volumétrica (3D).

Quadro 3: Vantagens principais da prefabricação modular/volumétrica (3D), adaptado de [9].

- Custos de construção reduzidos, principalmente quando combinados com a economia associada à produção em escala/série;
- Tempo de execução em estaleiro de obra extremamente reduzido;
- Permite maiores lucros industriais devido aos ganhos económicos da produção em escala;
- Aumento da produtividade no estaleiro da obra;
- Maior certeza no cumprimento dos prazos de execução e de restrições orçamentais;
- Menores desperdícios em fábrica e em estaleiro;
- Maior confiança e controlo de qualidade.

6. Caso-de-estudo: "*Sister House*" em Penafiel

O caso-de-estudo é uma moradia unifamiliar com 270 m^2 de área de construção e localiza-se em terreno rural, desde sempre utilizado para fins agrícolas, situado no concelho de Penafiel. Tendo em conta o uso e o local onde se insere, a intenção partiu da criação de um ambiente que integrasse a ação humana e o convívio com a natureza, aproveitando não só os recursos paisagísticos como a exposição solar que, quando combinados, tornam o local tão privilegiado.

Assim, no pleno respeito pelo sítio, adotaram-se os materiais locais no revestimento do edifício, tais como a pedra de granito, a madeira e a telha cerâmica, à imagem das construções agrícolas existentes procurando, no entanto, reinterpretar as técnicas e costumes tradicionais assim como determinados espaços e objetos, adequando-os ao quotidiano atual e às novas vivências.

Em termos de distribuição programática e funcional, foram três os princípios orientadores da proposta. O primeiro foi a orientação solar, que condicionou a localização das áreas de serviço a norte para permitir uma melhor exposição dos compartimentos habitáveis voltando-os para sul. A sul localiza-se também a paisagem visual que se pretendeu privilegiar, sendo essa a segunda condição orientadora da organização dos espaços e da localização dos vãos. O terceiro princípio organizador da proposta foi a separação das áreas íntimas da área social.

O edifício organiza-se então em dois volumes que se distinguem pela inclinação e altimetria das coberturas e albergam diferentes funções. A entrada, marcada pelo jardim, localiza-se a meio do volume principal permitindo, de forma simples, distinguir e separar a área íntima da área social. Esta separação é enfatizada pela criação de um pátio exterior coberto a sul que permite iluminar o átrio. A utilização de tetos a várias alturas permite ainda criar sensações de compressão/descompressão e hierarquizar os espaços, evitando a criação de barreiras físicas e melhorando a articulação entre funções, promovendo também o convívio familiar.

Aspetos como a ecologia, o clima e a sustentabilidade foram também determinantes na conceção do edifício, tanto no dimensionamento dos espaços e vãos, como na escolha do sistema construtivo LSF SYSTEM B(A)ª [12] e dos materiais.

O resultado é uma casa simples, confortável e amiga do ambiente onde a família gosta de viver.

6.1. Projeto

Figura 16: Moradia "*Sister House*": Projeto [12].

6.2. Produção

Figura 17: Moradia "*Sister House*": Produção em fábrica dos perfis em LSF [12].

6.3. Assemblagem

Figura 18: Moradia "*Sister House*": Assemblagem em fábrica dos perfis em LSF [12].

6.4. Transporte

Figura 19: Moradia "*Sister House*": Transporte dos painéis em LSF [12].

6.5. Montagem

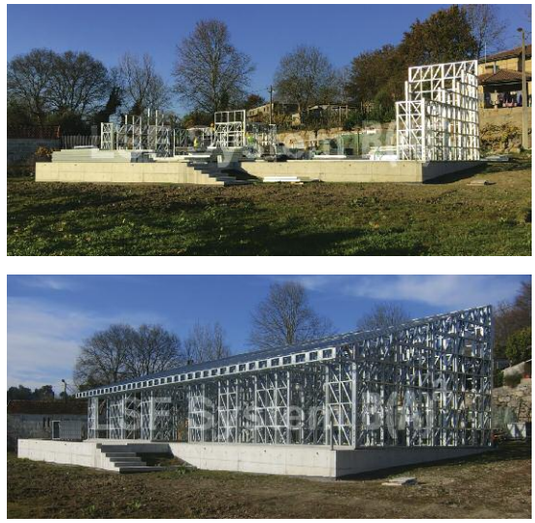


Figura 20: Moradia "*Sister House*": Montagem em obra dos painéis em LSF [12].

6.6. Revestimentos, Isolamentos e Impermeabilização

Figura 21: Moradia *"Sister House"*: Revestimento em OSB, isolamento em lã-de-rocha e impermeabilização da cobertura [12].

6.7. Acabamentos Exteriores e Interiores

Figura 22: Moradia *"Sister House"*: Acabamentos exteriores e interiores [12].

7. Considerações Finais

Neste artigo foi descrito o sistema construtivo em LSF - *"Lightweight Steel Framing"*. Após uma breve introdução, foram apresentados os principais materiais de construção utilizados neste sistema construtivo. Posteriormente, descreveu-se resumidamente a forma como estes elementos construtivos são classificados habitualmente em função da posição do isolamento térmico. De seguida, foram apresentadas as principais vantagens e limitações do sistema construtivo em LSF, apresentando-se de seguida os três principais métodos de assemblagem, incluindo as vantagens de cada um deles. Por último apresentou-se um caso-de-estudo, moradia unifamiliar construída em LSF, ilustrado fotograficamente.

Em jeito de conclusão resumida, pode-se afirmar que o sistema construtivo em LSF tem um forte potencial para fazer frente aos principais desafios do sector da construção na atualidade, incluindo a prefabricação industrial, a exportação e a reabilitação do edificado urbano.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece o financiamento do FEDER através do COMPETE 2020 - POCI e de fundos nacionais através da FCT, no âmbito do projeto POCI-01-0145-FEDER-032061.

Cofinanciado por: POCI-01-0145-FEDER-032061

Referências

[1] SFIA, Website "SFIA - Steel Framing Industry Association": https://sfia.memberclicks.net, (2019).

[2] AISI, Website "AISI - American Iron and Steel Institute": www.steel.org, (2019).

[3] SFA, Website "SFA - Steel Framing Alliance": www.steelframingalliance.com, (2019).

[4] P. Santos, L. Simões da Silva, V. Ungureanu, Energy Efficiency of Light-weight Steel-framed Buildings, 1st ed., European Convention for Constructional Steelwork (ECCS), Technical Committee 14 - Sustainability & Eco-Efficiency of Steel Construction, ISBN 978-92-9147-105-8, N. 129, 2012.

[5] N. Silvestre, J. Pires, A. Santos, Manual de Conceção de Estruturas e Edifícios em LSF - Light Steel Framing, 2013.

[6] P. Santos, Chapter 3 - Energy Efficiency of Lightweight Steel-Framed Buildings, in: Eng Hwa Yap (Ed.), Energy Effic. Build., InTech, Croatia, 2017: pp. 35–60.

[7] LSK, European Lightweight Steel-framed Construction, European Lightweight Steel-framed Association (LSK) and Arcelor., Luxemburg, 2005.

[8] EN10162, Cold rolled steel sections - Technical delivery conditions - Dimensional and cross-sectional tolerances, CEN, Brussels: European Committee for Standardization, 2003.

[9] N. Soares, P. Santos, H. Gervásio, J.J. Costa, L. Simões da Silva, Energy efficiency and thermal performance of lightweight steel-framed (LSF) construction: A review, Renew. Sustain. Energy Rev. 78 (2017) 194–209.

[10] M. Veljkovic, B. Johansson, Light steel framing for residential buildings, Thin-Walled Struct. 44 (2006) 1272–1279. doi:10.1016/j.tws.2007.01.006.

[11] J. Henriques, N. Rosa, H. Gervasio, P. Santos, L. Simões, Structural performance of light steel framing panels using screw connections subjected to lateral loading, Thin Walled Struct. 121 (2017) 67–88. doi:10.1016/j.tws.2017.09.024.

[12] URBIMAGEM, Website "URBIMAGEM – Sistemas de Arquitetura e Construção, Lda": www.urbimagem.com, (2018).

[13] E. Roque, P. Santos, The Effectiveness of Thermal Insulation in Lightweight Steel-Framed Walls with Respect to Its Position, Buildings. 7(1) (2017) 1–18.

[14] E. Roque, P. Santos, A. Pereira, Thermal and Sound Insulation of Lightweight Steel Framed Façade Walls, Sci. Technol. Built Environ. 0 (2018) 1–21.

[15] V. Jatheeshan, M. Mahendran, Numerical study of LSF floors made of hollow flange channels in fire, J. Constr. Steel Res. 115 (2015) 236–251. doi:10.1016/j.jcsr.2015.08.021.

[16] T. Kalamees, Air tightness and air leakages of new lightweight single-family detached houses in Estonia, Build. Environ. 42 (2007) 2369–2377. doi:10.1016/j.buildenv.2006.06.001.

[17] EN13829, Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method, CEN, Brussels: European Committee for Standardization, 2000.

[18] CoolHaven, Website "CoolHaven - Construções modulares": www.coolhaven.com, (2018).

[19] P. Santos, C. Martins, L. Simões da Silva, Thermal performance of lightweight steel-framed construction systems, Metall. Res. Technol. 111 (2014) 329–338.

[20] Tyre4BuildIns, Website "Tyre4BuildIns - Recycled tyre rubber resin-bonded for building insulation systems towards energy efficiency": www.tyre4buildins.dec.uc.pt, (2019).

[21] J. Grubb, R.M. Lawson, Building Design using Cold Formed Steel Sections: Construction Detailing and Practice, Publication P165: The Steel Construction Institute, 1997.