



Estudo do Impacto Orçamentário na Adaptação de Reforços Sismo Resistentes em um Projeto de Solução Habitacional Simples em Tecnologia de Solo Cimento

TENÓRIO, Marina Costa Urquiza; DI GREGORIO, Leandro Torres

Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Athos da Silveira Ramos, 149 - Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ, 21941-909

Informações do Artigo

Histórico:

Recebimento: 01/09/2018

Revisão: 15/09/2018

Aprovação: 22/09/2018

Palavras-chave:

Habituação Social

Solo Cimento

Sismos

Resumo:

Os abalos sísmicos representam uma das mais perigosas adversidades naturais às quais a humanidade está sujeita. As vibrações, com sua potência e repentividade, provocam vasta destruição, principalmente em se tratando da infraestrutura da região atingida. A reconstrução local se torna ainda mais dificultada conforme menor forem os recursos financeiros, materiais e intelectuais para tal, impulsionando a busca por técnicas e soluções alternativas que garantam não somente a praticidade na reconstrução, como a garantia de segurança diante de novos eventos sísmicos. Baseado nesse contexto, o Projeto SHS estuda soluções habitacionais simples e de interesse social em métodos e tecnologias consoantes ao cenário pós desastres, tanto para cargas estáticas quanto para cargas dinâmicas, como as sísmicas. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade financeira da proposta sismo resistente como solução de habitação no âmbito social, comparando os orçamentos desenvolvidos tanto para ela, quanto para a proposta convencional, a partir da análise das estruturas e das adaptações de reforços antissísmicos, levantamentos quantitativos, identificação de serviços e elaboração de composições de custo baseadas nos índices SINAPI.

1. Introdução

Devido ao grande poder destrutivo dos abalos sísmicos, em especial à infraestrutura do local vitimado, e à sua ocorrência periódica e inevitável nos locais propensos a esse tipo de ameaça, os locais mais desfavorecidos técnica e financeiramente seguem em desvantagem no processo de recuperação, reconstrução e mitigação frente aos impactos dos efeitos sísmicos.

Observa-se o esforço de metrópoles mais desenvolvidas e localizadas em regiões sensíveis à tremores na direção do

desenvolvimento de tecnologias complexas e ousadas para a garantia do bom desempenho de suas edificações quando sob cargas sísmicas. Entretanto, a fatia da população mais impactada por esses efeitos, refém de sua construção originalmente simplificada e frágil, não goza da aplicabilidade dos sistemas tecnológicos sismo resistentes.

Com o objetivo de oportunizar um método construtivo acessível, de fácil compreensão e reprodução, baseado em elementos e matérias-primas disponíveis em situações críticas, o projeto de Solução Habitacional Simples estuda um

procedimento de reconstrução em alvenaria estrutural de solo-cimento para as comunidades devastadas, partindo da hipótese, ainda não confirmada, da aplicabilidade dessa tecnologia em construções de baixo custo sujeitas a ameaças sísmicas, dentro de certos limites.

O caráter sustentável do projeto é o elemento transformador da vulnerabilidade em resiliência a longo prazo, apostando na familiaridade dos materiais e técnicas entre os membros da comunidade, provocando boa correspondência com as necessidades e preferências locais e, conseqüentemente, criando maior aceitação da intervenção.

O envolvimento da comunidade em sua reconstrução fortalece a autossuficiência local além atuar na transferência de novos conhecimentos e técnicas de construção para seus membros.

A exequibilidade dessa transformação, entretanto, pode esbarrar nas questões de compatibilidade entre os custos e as técnicas de construção. É importante que os beneficiários ou seus patrocinadores disponham de capacidade financeira para implementarem as tecnologias construtivas propostas, caso contrário, a sua futura replicação será improvável.

O presente trabalho estabelece o comparativo orçamentário entre a construção hipotética de uma habitação de interesse social em tecnologia de solo cimento em situação pós desastre convencional e uma menos vulnerável a sismos, avaliando a viabilidade da construção no cenário pós desastre consoante à realidade do público alvo das habitações de interesse social.

A elaboração dos orçamentos foi baseada nos índices indicados pela SINAPI, sendo passíveis de conversão para qualquer outro país de implantação do projeto.

2. Metodologia

Apresenta-se, nesta sessão, a discussão do método de pesquisa bem como suas estratégias a partir da caracterização do produto estudado e da base de dados utilizada.

2.1. Estratégia de pesquisa

Esta pesquisa, de cunho quantitativo exploratório, se utiliza da análise de dois projetos arquitetônicos e estruturais: um convencional em tecnologia de solo cimento e outro reforçado para sismos, para a produção de um orçamento para cada uma das propostas.

O estudo também foi desenvolvido a partir de pesquisa bibliográfica, que buscou compreender o contexto no qual a construção estaria inserida e as necessidades específicas – métodos, técnicas e detalhes de reforço estrutural – de uma estrutura sujeita a abalos sísmicos, nas perspectivas dos autores Castro e Gomes.

Em sequência à pesquisa bibliográfica, iniciou-se o estudo das propostas de habitação de interesse social lançadas pelo Projeto SHS, realizando o levantamento de informações sobre seus escopos, concepções e decisões de projeto, que basearam a confecção da estimativa dos quantitativos, e serviços.

A partir dos dados obtidos, elaborou-se as composições de custo inerentes à cada projeto, utilizando-se os índices e preços do SINAPI. Este material foi compilado em planilhas no programa Microsoft Excel para o cálculo dos custos e constituição dos orçamentos.

Esta análise favorece, portanto, a elaboração de um comparativo entre os custos da implantação de tecnologias e técnicas convencionais e sismo resistentes na construção de habitações de interesse social em situações pós desastres, verificando a viabilidade financeira dos reforços antissísmicos no contexto social em pauta.

3. Revisão Bibliográfica

3.1. Desastres e Reconstrução habitacional

De acordo com a ONU [1], mais de 226 milhões de pessoas são afetadas por algum tipo de desastre a cada ano. Estima-se que só em 2017 os prejuízos financeiros associados a eles atingiram cerca de 330 bilhões de dólares [2].

Castro [1] descreve: “Um desastre é um evento de emergência, com origem natural ou provocado pelo homem, de proporção catastrófica que resulta em graves perturbações do funcionamento normal de uma sociedade, comprometendo as suas estruturas e funções sociais, econômicas, culturais e políticas devido às perdas humanas, materiais ou ambientais generalizadas que excedem a capacidade da sociedade afetada para controlar ou recuperar destas consequências usando apenas os seus recursos”.

Os desastres, sejam eles causados por secas, cheias, tsunamis, furacões, terremotos ou outros eventos naturais e/ou humanos, têm impacto sobre a maioria das dimensões da vida humana, tanto no âmbito do curto, quanto do longo prazo.

Nesse contexto, a habitação detém o protagonismo em se tratando de necessidades base. Em todos os desastres, a perda de habitação constitui a segunda maior preocupação, vindo logo após a perda de vidas [3].

Apesar do peso que a perda da habitação tem nesse contexto, podem ser elencados outros impactos que agravam o cenário de destruição e influenciam diretamente no potencial de reestruturação da comunidade afetada, como danos infra estruturais (energia elétrica, telecomunicações, estradas, abastecimento de água e sistemas de esgotos, portos, aeroportos), perdas econômicas (colheitas, terras, gado, pesca, fábricas, oficinas, armazéns, instalações de armazenamento), perdas culturais (edifícios e locais culturais e históricos, locais de culto), danos psicológicos (traumas emocionais) e perdas sociais (interrupções nos serviços sociais, questões de ordem legal) [4].

Esse cenário sugere o apelo, a preocupação e a atenção renovada que a reconstrução pós desastres requer, nomeadamente porque os danos resultantes de catástrofes naturais tendem a aumentar [5].

Entretanto, justificados pela urgência de reestruturação e estabilidade, os resultados diretos da reconstrução pós desastre, ou seja, o número de habitações reconstruídas, não

podem ser o único parâmetro de análise ou embasamento para o processo de reconstrução, mas também os benefícios integrados que repercutem a longo prazo e que conduzem a um desenvolvimento efetivo. “Um desastre deve ser encarado como uma oportunidade para alterar os padrões de desenvolvimento – para reconstruir melhor – em vez de perpetuar padrões pré-existentes de vulnerabilidade” [1].

Sugere-se, portanto, que a sociedade vive entre dois desastres, fazendo-se necessário o preparo da infraestrutura em geral para suportar ao episódio seguinte. De acordo com Clinton (2006), “cada ‘tijolo’ envolvido no processo de reconstrução pode contribuir para a redução de riscos, ou pelo contrário, tornar-se um facilitador do próximo desastre”. Tolga Özden [6] ratifica Clinton: “Uma comunidade bem preparada será aquela que tiver sucesso na implementação de uma cultura resiliente a pós-desastres”.

Atuar no reforço dos insumos, sejam eles de natureza humana, técnica ou financeira, oportuniza a transferência de novos conhecimentos e possibilita desde a revisão dos modos de vida, até a geração de uma realidade nova [1].

Esta é uma abordagem facilitadora no processo de adaptação e aceitação dos novos padrões construtivos, uma vez que desenvolvem uma boa correspondência entre eles e as necessidades e preferências locais.

A transferência e integração de conhecimento e capacidade construtiva, com vista a uma posterior replicação das melhorias das tecnologias de construção implementadas é um dos resultados que fomenta a sustentabilidade técnica e construtiva [7].

O processo de reconstrução constitui uma oportunidade de catalisar uma mudança duradoura [8].

3.2.Habitação de interesse social e Tecnologia de construção de baixo custo (Solo Cimento)

Segundo Bertone e Marinho [9], a dimensão dos impactos acarretados pelos desastres naturais depende mais do grau de

vulnerabilidade das comunidades afetadas do que da magnitude dos próprios eventos.

A vulnerabilidade pode se apresentar na dimensão física, no que diz respeito a capacidade de resistência das estruturas feitas pelo homem para resistir a perigos; na dimensão econômica, como a vulnerabilidade financeira da sociedade afetada; e na dimensão social, expressa pela vulnerabilidade de pessoas ou grupos específicos dentro da sociedade [10].

Schilderman [7] reitera: “O cenário social é uma causa de desastres tão significativa quanto os próprios eventos físicos que os desencadeiam. O perigo funciona como um gatilho, mas o que define o impacto dos desastres é a vulnerabilidade das populações na área afetada”.

O contexto social e econômico, que delimita as áreas que sofrerão maiores consequências frente aos desastres, também prevê quais serão as vítimas que enfrentarão mais dificuldades para se reestabelecer e reconstruir.

A vulnerabilidade financeira se torna um grande obstáculo numa realidade que não inclui apenas a perda da habitação, como também pode vir acompanhada da escassez de incentivos, capital, ferramentas e conhecimento técnico para a reconstrução.

Nesse contexto, as tecnologias de construção de baixo custo representam uma alternativa favorável à viabilidade da construção de habitações pós desastres destinadas, principalmente, ao público carente.

Após um desastre, o processo de reconstrução de habitações está suscetível a inúmeros obstáculos inerentes as circunstâncias próprias ao cenário. A indústria de construção local e os sistemas de abastecimento de produção industrial podem ser interrompidos, originando uma escassez de recursos e, eventualmente, a descontinuação da cadeia de suprimentos [11]. Eventuais perturbações do sistema de transportes e fornecimento de energia também podem agravar a conjuntura em questão [12].

Torna-se adequado e, por vezes, necessário o emprego de materiais e processos

que sejam acessíveis e exequíveis dadas as condições pós desastre. “O desenvolvimento sustentável é caracterizado por uma visão sistêmica e holística da realidade, que exige respostas adaptadas e concertadas, sendo necessária uma integração equilibrada e ajustada de todas as suas vertentes — o desenvolvimento social, o desenvolvimento organizacional, o desenvolvimento ambiental” [13].

Um exemplo de tecnologia inteligível e adaptável as circunstâncias limitantes de um desastre é o solo cimento. Adotar o uso de blocos de solo cimento, seja como elemento estrutural ou de vedação, para a construção de habitações de interesse social, simplifica e facilita o processo de reconstrução, desde a obtenção/confecção de matéria-prima até, de fato, a execução da obra.

Nesse contexto, Gomes, Brito e Lopes [14] ressaltam a tradição e adequação das tecnologias derivadas da terra que, devido à grande carência habitacional e estando diretamente relacionada com a escassez de recursos financeiros das populações, sempre foram contemplados na construção das habitações, devido à sua abundância, custo acessível, facilidade de execução e legado.

Há pouco mais de três séculos, a terra crua deu espaço ao tijolo cozido. As arquiteturas de terra continuaram a subsistir apenas onde a escassez de recursos econômicos obrigava a utilização de matérias-primas de baixo custo para a construção.

Contudo, os problemas energéticos, ambientais, ecológicos e econômicos, sentidos a nível mundial, conduziram a uma mudança de mentalidade que resgatou a terra crua como material de construção, não como sinônimo de desconforto e pobreza, mas como um material alternativo e valorizado [15], que necessita de mais estudos de forma a que este tipo de construção seja viabilizada e apresente os níveis de segurança, qualidade e durabilidade atualmente exigidos [15].

Castro [1] salienta: “Um modelo de construção baseado numa elevada quantidade de materiais industriais, com fortes cargas de resíduos resultantes do processo de produção, e com uma vida útil limitada devido à sua

inadequação ou má execução técnica não é sustentável”.

Nesse sentido, o uso dos blocos de solo cimento é favorecido por serem constituídos majoritariamente de solo, matéria-prima obtida no próprio local, além de dispensarem a etapa da queima de madeira ou óleo combustível [16], evitando a emissão de gases como CO e CO₂ [17], pois sua fabricação é baseada apenas na prensagem do material, tornando obsoleto o processo de queima para a cura do tijolo.

Além da responsabilidade ambiental e da conveniência associada à sua produção, o emprego de solo cimento atua positivamente, inclusive, em termos financeiros.

A redução do custo se deve à facilidade de obtenção de matéria-prima, à economia relativa a transportes e ao baixo investimento para implantação da unidade produtora de tijolos, que conta apenas com prensas manuais ou hidráulicas.

Sua facilidade construtiva também contribui com a redução dos custos da obra, totalizando uma média de 30% a menos [18] em comparação à execução com blocos cerâmicos de comportamento térmico e durabilidade equivalentes [19].

Conforme Castro [1]: “A reconstrução deve adotar um papel que se centre na valorização da componente local, encare a perspectiva de longo prazo e promova a replicação, isto é, a transferência dos benefícios que uma estruturação do processo de reconstrução pode propiciar. São valores de base da sustentabilidade”.

3.3.Habitações sismo resistentes

Apesar de a construção com terra crua ser uma técnica construtiva simples e de baixo custo, com excelentes propriedades térmicas e acústicas e de caráter sustentável, estas estruturas são vulneráveis aos fenômenos naturais, tais como sismos, especialmente onde não tenham sido tomadas medidas preventivas relacionadas a esse fenômeno [15].

Contudo, acredita-se que as alvenarias em terra crua, moduladas em tijolos vazados que

possibilitam o reforço com pilares e vigotas em concreto armado em seu interior, apresentem potencial para resistirem à certos níveis de ameaças naturais.

Os sismos são provocados principalmente pelo movimento das placas tectônicas ou por atividade vulcânica [14]. Gomes, Brito e Lopes [20] defendem que a forma como um sismo influencia a estrutura é função tanto da intensidade do sismo, quanto da qualidade da construção, da resistência da edificação e de determinadas características, tais como a distribuição da massa, a altura, o peso das paredes e da cobertura.

As vibrações do solo (horizontais e verticais), provocadas pela passagem das ondas sísmicas, “arrastam” as construções, que, por sua vez, sofrem oscilações horizontais, verticais e de torção.

Durante essas oscilações, as construções tendem a resistir ao deslocamento da sua base, o que dá origem a forças de inércia que agem em sentido oposto ao movimento e deformam a estrutura sendo essas, portanto, as cargas às quais a construção deve resistir [20].

As forças de inércia atuam diretamente na estrutura da construção e são tanto maiores quanto mais pesadas elas forem, ou seja, as edificações leves são menos solicitadas pelos sismos do que as mais pesadas e maciças.

Portanto, para que não haja ruptura dos elementos resistentes, a concepção da estrutura deve ponderar entre a rigidez e a massa da construção, observando a deformabilidade e flexibilidade adequadas para permitir as oscilações impostas pelos sismos, sem penalizar sua resistência ou peso.

Para que a estrutura seja compatível com os esforços induzidos pelo sismo, sua capacidade resistente também se torna função de sua ductilidade e capacidade de dissipação de energia [20].

No entanto, para conceber uma estrutura antissísmica, deve-se ir além das questões físicas que levam as discussões acerca da resistência.

É essencial que se conjugue uma série de parâmetros com o intuito de otimizar a construção também do ponto de vista

econômico, reduzindo seus custos associados, sejam eles de cunho construtivo ou dos danos materiais e humanos [20].

3.3.1. Critérios de projeto e Detalhes construtivos

A construção com terra apresenta uma resposta negativa quando sujeita a movimentos sísmicos. Sua baixa capacidade de resistência à tração e seu comportamento frágil são os responsáveis pela capacidade limitada destas construções para resistirem a abalos sísmicos. Frente à impossibilidade de controlar as características dos eventos sísmicos, busca-se favorecer a resistência da construção para quando sujeita a forças horizontais. “Busca-se minimizar a influência da ação sísmica nestas construções, através da correta concepção da estrutura na fase de projeto” [20].

Efetivamente, conforme exposto no item anterior e consoante a Gomes, Brito e Lopes [20], admite-se que os danos causados pelos sismos dependem de características da edificação, tais como sua distribuição da massa, altura e peso das paredes e cobertura.

I. Paredes

Nas construções de pequeno porte, incluindo as construções em tecnologias advindas de terra crua, as paredes em conjunto com os pavimentos e a cobertura desempenham, simultaneamente, funções resistentes e estruturais, porém, nesses casos, o comportamento das paredes é que se apresenta como determinante no desempenho da estrutura, tanto para cargas verticais quanto horizontais [20].

Segundo Gomes, Brito e Lopes [20]: “A capacidade das paredes para suportarem esforços, nomeadamente os de origem sísmica, é muito variável, podendo ir desde a total inaptidão até a uma resistência satisfatória, conseguida através de soluções estruturais sismo-resistentes”.

Portanto, as decisões de projeto e os detalhes e métodos construtivos devem buscar a preservação das paredes, evitando sua ruptura e, conseqüentemente, o colapso da

cobertura, a fim de conferir estabilidade à estrutura e o aumento da resistência a cargas horizontais [20].

Como os eventos sísmicos atuam em todas as direções, deve-se garantir a existência de paredes ortogonais entre si [21], de modo a trabalharem de maneira solidária. Já elementos como aberturas, juntas, irregularidades e reforços, influenciam diretamente na performance das paredes e necessitam igualmente de cautela e ponderações, que serão abordadas nos itens subsequentes.

Tratando-se do projeto das paredes e sua distribuição, Blondet et al [21] sugerem adaptações de recomendações empíricas no dimensionamento das paredes para que sejam sismo resistentes:

- A altura da parede não deve exceder oito vezes a espessura da parede na sua base, e em nenhum caso deve ser superior a 3,50 m;
- A distância entre paredes transversais não deve exceder dez vezes a espessura da parede, com um vão máximo de 7,00 m;
- O vão de portas e janelas não deve exceder um terço do comprimento total da parede, com um comprimento mínimo de 1,20 m entre vãos, sendo também esta recomendação mencionada no *Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones* [22].

II. Estrutura Compacta

Um dos princípios essenciais a considerar na concepção e construção de estruturas sismo-resistente é a distribuição dos elementos estruturais de forma homogênea.

Efetivamente, uma geometria adequada trabalha ativamente na estabilidade da construção e, quanto mais compacta a estrutura, mais estabilidade ela terá [15]. Nessa perspectiva, distribuições em planta regulares, compactas e tipo caixa (retangulares ou quadrangulares) são favoráveis para o comportamento estável da construção.

Sugere-se, inclusive, que seja adequado ao propósito sismo resistente que a construção se limite a elevação de apenas um pavimento, contribuindo para a compacidade da estrutura,

além de se optar por coberturas leves, que gerem o mínimo de danos humanos e estruturais em caso de colapso.

III. Aberturas

A existência de elementos de abertura nas paredes, como portas e janelas, influi diretamente no comportamento das mesmas, por favorecer o surgimento de rachaduras e fendas, que, por sua vez, agravam e precipitam o processo de desagregação. Este fenômeno terá especial incidência nas zonas junto aos cantos onde se verificam grandes concentrações de esforços [20].

Segundo Morales et al [23]:

- os vãos das janelas devem estar, preferencialmente, centrados e não devem ter uma dimensão superior a 1,20 m;
- a distância entre um cunhal e um vão não deve ser inferior a três vezes a espessura da parede;
- as vergas das paredes e portas devem prolongar-se para cada lado da abertura num comprimento mínimo de 0,40 m.

IV. Irregularidades e assimetrias

No que diz respeito as irregularidades e assimetrias, quer seja em planta quer seja na elevação, elas devem ser evitadas.

Uma distribuição uniforme dos elementos da edificação contribui para a distribuição uniforme também de sua massa e da sua rigidez e, por consequência, das forças atuantes durante um sismo, evitando concentrações de esforços em elementos específicos ou zonas da estrutura [14].

As irregularidades e assimetrias são responsáveis pelos esforços de torção na estrutura. Mesmo em construções simples e simétricas, observam-se oscilações de torção.

Essas são devidas aos deslocamentos diferenciais do solo, mas também aos deslocamentos acidentais do centro de massas, coincidente com o centro de rigidez.

Até mesmo variações das cargas temporárias (pessoas, máquinas, materiais etc), defeitos inerentes ao processo de construção, modificações posteriores nas divisórias ou equipamentos pesados podem

apresentar influência no deslocamento do centro de massa e oportunizar a observação de geração de esforços de torção.

Esse fato apenas reforça a importância de se projetar estruturas as mais simétricas possíveis, de forma a reduzir ao máximo os efeitos de torção observados durante as vibrações [20].

Uma vez que os elementos não são simétricos relativamente ao centro de rigidez da construção, a estrutura fica submetida a um momento torsor que provoca rotações, seja no plano horizontal ou vertical. De acordo com Gomes, Brito e Lopes [20]: “O centro de rigidez atua então como centro de torção e a sua distância ao centro de gravidade representa aproximadamente o braço do binário. Quando o braço do binário for grande, os danos na construção podem ser consideráveis indo até ao seu desabamento”.

No caso de se optar por uma geometria irregular, deve-se buscar pela decomposição da forma completa em elementos quadrados ou retangulares separados, de forma a se obter vãos entre essas geometrias compactas para permitir que trabalhem de forma independente. Os vãos entre paredes devem ser pequenos e bem distribuídos, com intervalos regulares em ambas as direções [15].

V. Lintéis

Os lintéis têm como principal objetivo a resistência às ações verticais. Segundo Parreira [24], é essencial garantir uma boa ligação entre os lintéis e a parede em si para que funcionem em conjunto, podendo utilizar, inclusive, chumbadores de maneira a reforçar a ligação.

Segundo Gomes, Brito e Lopes [15], a utilização de reforços de lintéis em madeira ou concreto pode ser uma boa solução para paredes que apresentem como problema a flexão vertical. Os lintéis, além de resistirem às trações que surgem devido às cargas permanentes, em caso de reforço, aumentam também a rigidez da parede fora do seu plano.

VI. Fundações

Dado que a rigidez lateral (horizontal) das edificações é menor do que a vertical, suas oscilações horizontais são, em geral, as mais perigosas. Esforços de flexão e cortante associados trazem prejuízos, em especial, para a base da estrutura, por atingirem nesse ponto seu valor máximo.

Peña e Lourenço [25] recomendam que as fundações apresentem largura entre uma vez e duas vezes a espessura da parede, dependendo da altura da construção e da qualidade do terreno de fundação, com profundidade mínima de 0,40 m. Acrescentam ainda, em consonância com Morales et al [23], a relevância da execução de um ressalto acima do nível do terreno de, no mínimo, 0,30 m, sobre o qual se comece a elevação das paredes e se aplique uma membrana hidrófuga a fim de isolar e preservar a construção.

VII. Estrutura reticulada (confinada)

Ao se recorrer a uma estrutura reticulada/confinada, atinge-se um comportamento mais rígido e resistente, gerado pelo trabalho conjunto dos elementos envolvidos.

Esta ligação faz com que a edificação se comporte como um bloco, tornando-a mais consistente em relação ao desempenho dos elementos caso estivessem funcionando de forma independente.

Segundo Gomes, Brito e Lopes [15], a execução de montantes em concreto armado, por exemplo, contribui para confinar os panos das paredes transversalmente, devendo estes estar ligados de uma forma consistente à viga de bordadura e à viga de soleira – conforme observado em alvenarias de solo cimento, que possuem furos nos tijolos armados e grauteados espaçados conforme especificado em projeto.

As vigas de bordadura e soleira, por sua vez, são defendidas por Pinto et al [26] que afirmam que a presença de ambas, em concreto armado, resulta em uma maior resistência antissísmica da construção.

O uso de reforço vertical, ligado à viga de bordadura, auxilia na manutenção da

integridade da parede, restringindo a flexão perpendicular ao plano da parede e melhorando a resistência aos esforços de cortantes.

O uso de reforço horizontal trabalha na distribuição dos esforços e na transmissão das forças de inércia, minimizando a propagação das fissuras verticais [21].

VIII. Reforços

Objetiva-se promover reforços nos locais que serão mais solicitados, evitar a concentração de tensões em pontos mais fracos e permitir a redistribuição de esforços por um maior número de elementos [20].

Pretende-se, portanto, aumentar a rigidez e resistência nas ligações entre paredes, assim como nos vãos de portas e janelas.

Seja através da utilização de pedra, concreto armado ou outro material, ele deve ser usado nas esquinas e nas ligações ortogonais entre paredes, de forma integrada à estrutura.

O reforço das faces verticais e horizontais do contorno das aberturas pretende minimizar os efeitos da concentração de tensões, responsáveis pela progressão de fissuras [20].

Outro reforço recomendado consiste na introdução de tirantes em aço nas paredes, que funcionam como armadura passiva e são mobilizados apenas quando ocorrem modificações dos estados de equilíbrio associados, por exemplo, a movimentos de origem térmica, assentamentos de fundações, impulsos horizontais ou forças devidas à ação de sismos [27].

IX. Isolamento de base, pendulo e amortecedores

Para realidades mais favorecidas e detentoras dos insumos técnicos e financeiros, tecnologias como o isolamento de base, o pêndulo e os amortecedores são as grandes apostas de soluções antissísmicas para edificações diversas.

O isolamento de base tem por objetivo conferir independência entre o movimento do solo inerente as vibrações sísmicas e a estrutura, tornando-a o mais estável possível

no momento do abalo, de acordo com Waldemar Hachich [28].

As peças responsáveis pelo isolamento da base são resistentes, porém altamente deformáveis, conferindo a mínima transferência de vibrações à estrutura.

Já o pêndulo consiste numa grande massa localizada no topo da edificação com o objetivo de contrabalançar o movimento de oscilação gerado pelo efeito sísmico, compensando dinamicamente a amplitude de deslocamento e levando a estrutura a oscilar menos.

Os amortecedores apresentam sua função tradicionalmente conhecida, absorvendo a energia da oscilação e dissipando-a.

Como configuram tecnologias avançadas e complexas, o isolamento de base, o pêndulo e os amortecedores não são viáveis a aplicação em situações de reconstrução pós desastre de interesse social.

3.4. Projeto SHS

“O período pós-desastre é geralmente visto na literatura como uma conjuntura que possibilita o início de mudanças estruturais que têm uma repercussão significativa a longo prazo.

O desafio essencial na reconstrução não se restringe à concessão do produto físico — ou seja, a habitação — mas à adoção de estratégias que contribuam para o desenvolvimento de uma "cultura de prevenção" [1].

Inspirado por essa perspectiva, o Projeto “SHS – Solução Habitacional Simples: Reconstruindo Após Desastres e Conflitos” é uma iniciativa de caráter acadêmico que busca conceber e transmitir conhecimentos relevantes à reconstrução de unidades habitacionais e equipamentos coletivos básicos, a partir de tecnologias de baixo custo.

O projeto objetiva contribuir para que comunidades vítimas de desastres tenham os insumos teóricos suficientes para viabilizar sua própria recuperação.

Orientada pelo professor Leandro Torres Di Gregório, a equipe de colaboradores do projeto conta com 90 voluntários, dentre eles

professores, alunos e técnicos administrativos de diversos cursos e unidades da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Organizados em grupos de trabalho, os colaboradores têm o propósito de desenvolver projetos básicos modulares de casas, escolas e postos de saúde, com variedade de tipologia de arquitetura e de tecnologias construtivas, que podem ser adaptados por profissionais habilitados conforme as necessidades do cenário de aplicação.

Além disso, elaboram estudos que objetivam a organização da construção de casas em linhas de produção, a partir de grupos de trabalho com tarefas bem definidas, baseado em conceitos de Construção Enxuta (*Lean Construction*) e sugerem uma metodologia de fabricação da alvenaria, composta por tijolos modulares, a partir de materiais alternativos e sustentáveis.

O projeto tem, em andamento, estudos acerca de situações sísmicas e o comportamento das estruturas sugeridas nesse cenário, buscando por resultados conclusivos ainda não obtidos.

3.5. Orçamentos

Tradicionalmente, um orçamento é uma estimativa de custo ou preço de uma obra, onde o custo total da obra é a soma de todos os gastos necessários para a sua completa execução.

Ao verificar os índices, produtividades e dimensionamento de equipes demonstradas no orçamento, torna-se possível notar inadequações e identificar possibilidades de melhoria [29], além de avaliar a viabilidade da construção, conforme a proposta deste trabalho.

O índice SINAPI é utilizado como referência na elaboração de orçamentos. Segundo a CAIXA [30], o índice SINAPI, que tem administração compartilhada entre a CAIXA e o IBGE, divulga mensalmente custos e índices da construção civil a partir da especificação de insumos, composições de serviços, projetos referenciais e pelo processamento de dados, além da pesquisa

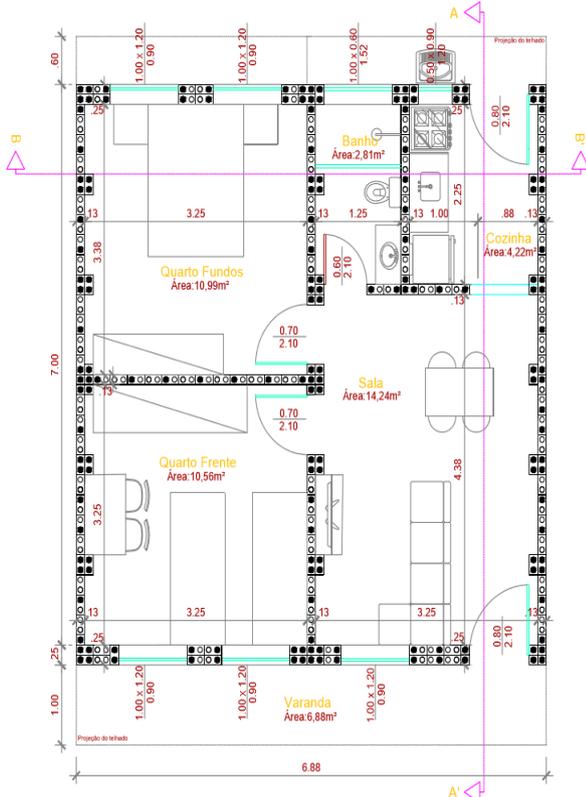
mensal de preço, metodologia e formação dos índices.

4. Discussão e Resultados

4.1. Caracterização

4.1.1. Proposta Convencional

Figura 1 - Planta baixa da proposta convencional



Fonte: Elaborada pelo autor

A arquitetura convencional, que totaliza 49,84 m² de área, é composta, em áreas úteis, por sala de 14,24 m², cozinha de 4,22 m², banheiro de 2,81 m² e quartos, de frente e de fundos, de 10,99 m². Além dos 49,84 m² de área interna, verifica-se 6,88 m² de varanda frontal e 4,13 m² de varanda de fundos.

A alvenaria de solo cimento, que compõe as paredes, desempenha tanto o papel de vedação quanto estrutural, resistindo as cargas atuantes na construção.

A paredes têm espessura simples de 12,5 cm, com exceção das paredes frontal e traseira, que são duplas e, portanto, apresentam 25 cm de espessura. A espessura simples de parede é

igual à do tijolo de solo cimento fabricado nas prensas, ou seja, as paredes secas recebem apenas duas demãos de resina, dispensando revestimento, que se faz necessário apenas no banheiro e áreas molhadas. Os tijolos são dispostos de forma alternada a cada fiada, com a finalidade de amarrar uma parede a outra e propiciar a transferência de esforços e seu assentamento é realizado com o uso de argamassa.

Os furos dos tijolos presentes tanto nas esquinas das paredes quanto nas extremidades das aberturas são grauteados. Além deles, a cada 0,50 m, os furos dos tijolos também são armados e grauteados para conferir maior rigidez à estrutura. Cintas de concreto armado, de dimensão 12,5 x 25 cm são alocadas no nível da base, das vergas, das contravergas e da bordadura das paredes e amarradas às colunas grauteadas, de forma a confinar a alvenaria e ampliar seu comportamento monolítico.

Enrijecedores de tijolos de solo cimento, armados e grauteados em todos os seus furos com dimensão média de 12,5 cm de largura e 25 cm de comprimento, funcionam como colunas acopladas as paredes, conferindo uma maior espessura efetiva as mesmas e trabalhando, em conjunto com as terças do telhado, como pórticos. Esses enrijecedores são elevados a cada 1,25 m nas paredes longitudinais da edificação, exatamente onde as terças do telhado se apoiam, sendo dispensados nas paredes duplas.

O telhado, ligado e apoiado nos enrijecedores, apresenta duas águas e é elaborado em estrutura de madeira.

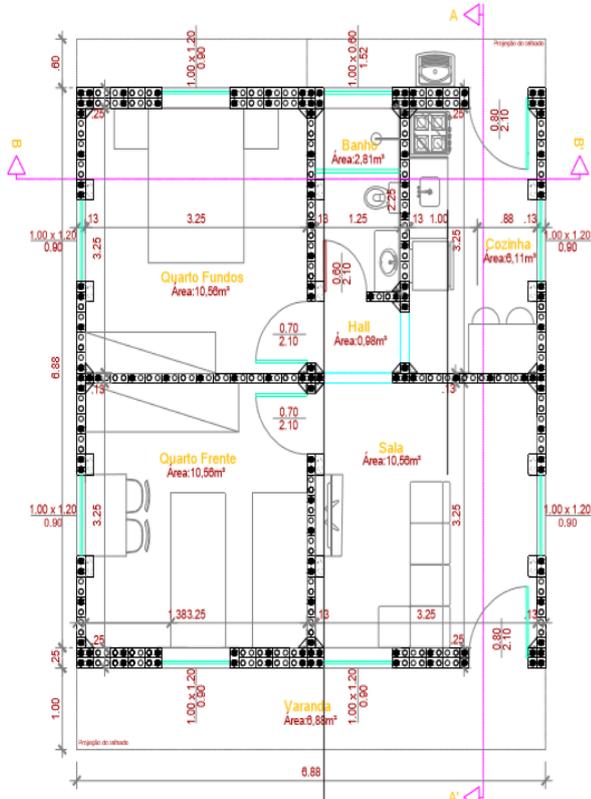
A fundação é executada em bloco corrido com largura variável em função do carregamento de cada parede.

A estrutura apresenta laje de teto apenas nos cômodos do banheiro e cozinha, onde foi alocada a caixa d'água.

A proposta convencional foi idealizada prevendo possíveis expansões da arquitetura, baseando-se na possibilidade de o morador optar, por exemplo, pela elevação da estrutura para um segundo pavimento. Portanto, toda a estrutura foi projetada para resistir também a esse acréscimo de tensões e solicitações.

4.1.2. Proposta sismo resistente

Figura 2 - Planta baixa da proposta sismo resistente



Fonte: Elaborada pelo autor

A arquitetura da proposta sismo resistente possui 48,98 m² de área interna. Essa diferença de áreas, entre a proposta sismo resistente e a convencional, se deve à diminuição da dimensão longitudinal da construção, a fim de alcançar um valor o mais próximo possível da dimensão transversal, promovendo uma estrutura mais compacta e regular e, conseqüentemente, evitando esforços diferenciais que provocam torções. As áreas de cada cômodo também sofreram alterações devido à redistribuição das paredes, feita com o objetivo de promover uma estrutura mais simétrica e homogênea.

Os cômodos assumem, portanto, as seguintes áreas: sala e quartos com 10,56 m², cozinha com 6,11 m², banheiro com 2,81 m² e hall com 0,98 m², além das varandas frontal e de fundos que mantiveram suas dimensões, com 6,88 m² e 4,13 m², respectivamente.

As definições das características das paredes seguem as mesmas para a proposta sismo resistente: tijolos prezando a amarração dos elementos, argamassa para assentamento dos tijolos e furos armados e grauteados nos encontros de parede, nas extremidades das aberturas e a cada 0,50 m.

Contudo, os níveis em cintas de concreto armado passam a ser mais numerosos, distribuindo-as a cada 0,50 m da elevação da estrutura e mantendo as cintas no nível da base, contravergas, vergas e bordadura. Essa providência confere maior rigidez à construção, aumenta a interação entre as paredes, contribuindo para a transferência de esforços e para o comportamento monolítico da estrutura, além de aumentar o confinamento da alvenaria. Durante os eventos sísmicos, as cintas em concreto armado terão papel crucial na resistência aos efeitos de flexão e serão solidárias à alvenaria das paredes ortogonais entre si, produzindo maior amarração e interação entre elas, ampliando o efeito de contraventamento.

A fundação, que anteriormente era em bloco corrido, recebe armaduras e torna-se sapata corrida, com o diferencial de apresentar, também, vigas de equilíbrio transversais. Essas vigas têm a função de associarem-se aos enrijecedores e às terças do telhado, fechando quadros na estrutura e gerando pórticos mais estáveis.

Para a fundação, prevê-se, inclusive, a construção de uma laje tipo radier sobre a fundação em sapata corrida que funcione como uma fundação reserva. Espera-se que ela seja solicitada caso a estrutura em sapata corrida colapse ou seja acometida pelos efeitos da liquefação no solo, fenômeno passível de ocorrer ao solo sob os efeitos das vibrações.

Os enrijecedores, anteriormente elaborados em tijolos de solo cimento com furos armados e grauteados para a estrutura convencional, agora são compostos por estrutura maciça de concreto armado, de dimensão 12,5 x 25 cm, de forma a reforçar os pórticos formados por eles em colaboração com o telhado e as vigas de equilíbrio.

Por sua vez, o telhado que anteriormente era assimétrico, acompanhando as mudanças de posicionamento das paredes, se apresenta, na proposta sismo resistente, com empena simétrica e reforçada por uma estrutura em Y em planta, que trabalhe no contraventamento das terças do telhado.

A proposta sismo resistente, amparada pela necessidade de uma estrutura compacta e leve, não considera a possibilidade de expansão para um segundo pavimento.

Portanto, nenhuma laje deve ser executada sobre os cômodos por uma questão de segurança, pois, caso a estrutura avance em ruptura, evita-se que grandes componentes estruturais caiam e atinjam usuários do ambiente. Por consequência disso, a caixa d'água deve ser instalada do lado de fora da edificação.

Providências simples, como a diminuição da quantidade de aberturas ou mesmo seus vãos, além de redistribuí-las nos panos das paredes também foram tomadas vislumbrando, novamente, maior simetria na estrutura e a preservação de cantos de paredes que sejam mais solicitados.

Atentando às grandes tensões atuantes nos encontros de paredes, realiza-se chanfros em concreto armado reforçando todos os cantos.

Além das providências simples, buscou-se inovar elaborando uma técnica que se aproxime dos efeitos dissipadores de energia dos isolamentos de base tecnológicos e custosos.

Propõe-se, portanto, um colchão de brita logo abaixo da fundação. A brita terá a função de rolar-se uma sobre a outra durante as oscilações, dissipando a energia do abalo. Espera-se que a construção acima do colchão de brita movimente-se de forma independente, não acompanhando totalmente os movimentos da base, uma vez que o colchão de brita transfira o menor efeito possível à estrutura.

4.2.Orçamentos

Os orçamentos, tanto da proposta convencional quanto do sismo resistente, foram elaborados para fins de comparação e

análise da viabilidade financeira da estrutura sismo resistente no contexto das habitações de interesse social.

Apoiando-se nas informações de projeto e nos desenhos de arquitetura desenvolvidos em AutoCAD, foi realizado o levantamento quantitativo dos insumos e serviços necessários à construção utilizando os métodos tradicionais de orçamentação.

As composições de preço foram embasadas nos índices de custos da tabela SINAPI. Os preços unitários das composições de custos originais do projeto foram corrigidos para julho de 2018.

4.2.1.Proposta convencional

O orçamento elaborado para a proposta convencional, a partir do levantamento de insumos e serviços necessários e das composições de custos adequadas ao projeto, estabeleceu um valor de R\$ 119.557,37.

Como deve-se propor para a estrutura sismo resistente tanto a fundação em sapatas corridas, quanto em radier, com o intuito de conjugar o desempenho de ambas de forma solidária e a favor da segurança estrutural, optou-se, também, por analisar os custos referentes à estrutura convencional caso sua fundação fosse executada em laje radier, para fins de investigação da solução mais econômica.

Atingindo um valor de R\$ 134.095,00, 13% maior que o custo da construção com fundação em bloco corrido, a opção da proposta convencional em laje radier foi descartada.

Esta diferença se deu ao acréscimo de armadura nas fundações, pois o levantamento quantitativo aponta para uma utilização de aço por volta de 14 vezes maior na laje radier que nos blocos corridos.

Os custos, associados à cada tipo de serviço considerado na orçamentação da proposta, estão elencados na Tabela 1.

4.2.2.Proposta sismo resistente

Para a proposta sismo resistente, desenvolveu-se três orçamentos distintos: o primeiro considerando apenas a fundação em

laje radier, o segundo considerando apenas a fundação em sapatas corridas e o terceiro considerando o uso conjugado das duas técnicas, conforme proposto em projeto.

Os três orçamentos consideram todos os reforços elaborados para contribuir no desempenho da construção quando sujeita a cargas sísmicas, em consonância com as especificações descritas no item 4.1.2.

Os valores obtidos a partir da aplicação dos custos unitários das composições de custos nas quantidades levantadas são os seguintes:

- para estrutura sismo resistente em fundação de laje radier: R\$ 152.812,64;
- para estrutura sismo resistente em fundação de sapatas corridas: R\$ 140.010,93;
- para estrutura sismo resistente em fundação de sapatas corridas associadas à laje radier: R\$ 164.015,73.

Nota-se que a estrutura reforçada com as fundações conjugadas representa um aumento de 7% no custo da estrutura com fundação em radier e 17% no custo da estrutura com fundação em sapatas corridas, entretanto, esse gasto se torna justificado pela necessidade de prevenção aos efeitos de liquefação do solo quando sujeito às vibrações e, conseqüentemente, na segurança da estrutura e seus usuários.

Os custos associados à cada tipo de serviço considerado na orçamentação da proposta sismo resistente estão elencados na Tabela 2.

As adaptações sugeridas com a finalidade de impactar no comportamento da estrutura frente aos efeitos sísmicos influenciaram diretamente nos custos de determinadas insumos e serviços. Este tema será abordado no item subsequente.

4.2.3. Análise Comparativa

Na Tabela 3 são resumidos os custos das propostas adotadas em função das soluções para a fundação: estrutura convencional em fundação de blocos corridos e estrutura sismo resistente em fundação de sapatas corridas associadas à laje radier.

Conforme citado nas seções anteriores, o custo da proposta convencional é de R\$ 119.557,37 e o custo da proposta sismo resistente é de R\$ 164.015,73. Verifica-se um aumento de 37% no custo da construção, que se resume à escolha da fundação conjugada e aos reforços adaptados à estrutura.

Analisando a Tabela 3, observa-se que os serviços e insumos que mais penalizaram os custos foram as armaduras, o concreto estrutural, as formas e o lastro de brita.

As armaduras representaram um custo 6 vezes maior que o performado pela proposta convencional. Isso se deveu, principalmente, à adoção de enrijecedores de concreto armado que, na proposta convencional, são elevados em tijolos de solo cimento. Entretanto, a armação das sapatas corridas, que anteriormente recebiam bastante menos aço por serem blocos corridos, contribuiu expressivamente para esse aumento, em conjunto com a adoção das vigas de equilíbrio distribuídas transversalmente na planta da casa. Vale ressaltar que não somente a quantidade de barras foi aumentada, como também a bitola do aço empregado nessas peças estruturais, providência necessária em se tratando de situações extremas resultantes em grandes efeitos diferenciais, de flexão e de momento.

A quantidade de armaduras e concreto estrutural foi levemente abatida pela inexistência de lajes na estrutura. Porém, a adoção de enrijecedores de concreto armado e chanfros nos encontros das paredes foi decisiva no impacto dos custos de concretagem e cofragem.

No âmbito da inovação, a decisão construtiva de adaptar um isolamento de base através do colchão de brita gerou um custo a mais de R\$ 4.244,12. Contudo, considerando um bom desempenho na dissipação de energia e diminuição da transmissão de oscilações sísmicas para a estrutura, verifica-se um gasto coerente e econômico quando comparado ao custo de tecnologias com o mesmo intuito.

A diminuição da dimensão longitudinal da arquitetura e a retirada da laje sobre o banheiro e a cozinha alterou discretamente os custos da construção.

Outra análise também pode ser conduzida a partir dos custos totais de construção das propostas quando realizadas em fundação de laje radier. A partir dessa comparação, é possível avaliar o impacto no orçamento dos reforços realizados apenas na superestrutura da habitação.

Uma vez que ambas consideram a mesma fundação, com apenas a diferença de bitolas entre elas, pode-se quantificar os custos referentes às pequenas modificações na arquitetura e decisões construtivas que têm potencial para atuar de forma favorável no comportamento da estrutura.

Comparando-se, portanto, os custos de cada uma delas (R\$ 134.593,45 para a proposta convencional e R\$ 152.812,64 para a proposta sismo resistente), tem-se 14% de acréscimo no custo total, o que representa um índice baixo comparado aos benefícios associados a ele.

Através da Tabela 4, que contempla os valores de custos totais das propostas em fundação de laje radier, também é possível inferir que, de fato, a adoção de enrijecedores de concreto armado é o protagonista no incremento dos custos tanto de armação, quanto de concreto e de formas.

4.3.Considerações Finais

O empenho na direção de elaborar e validar técnicas e métodos que oportunizam a reconstrução pós desastres, principalmente de forma compatível com o cenário, seja no âmbito cultural, social ou financeiro é de grande necessidade e gradualmente assimilado pela sociedade atual.

A proposta do uso do solo cimento como matéria prima para a reconstrução de habitações populares tem fundamento sustentável, além das características facilitadoras que reafirmam sua versatilidade e adequabilidade. Entretanto, como material de construções destinadas a regiões sismicamente ativas, ele demanda por reforços que prezem pela boa performance da edificação frente aos abalos, alvos de estudos que se fazem necessários para a análise da viabilidade técnica desse sistema.

Neste trabalho, analisou-se a viabilidade econômica de uma proposta de estrutura em solo cimento reforçada para, alegadamente, suportar a cargas sísmicas, destinada à função de habitação de interesse social.

Os preços alcançados através de levantamentos quantitativos e composições de custo, baseadas nos índices da SINAPI, para fins de comparação, indicam para a possível validação da proposta, não somente do ponto de vista técnico, como também do financeiro.

A proposta sismo resistente apresentou-se com custo de R\$ 164.015,73, valor 37% maior que a proposta convencional, de R\$ 119.557,37.

O índice de aumento é justificado, principalmente, pelos grandes reforços, como os pórticos dispostos transversalmente na estrutura, compostos pelos enrijecedores, telhado e vigas de equilíbrio, e pela adoção de fundação em sapatas corridas solidárias à estrutura de laje radier, que trabalha como uma fundação reserva para resistir aos efeitos dos abalos, como por exemplo, a liquefação do solo, distribuindo as cargas da edificação em uma área maior.

Reforços simples, como os chanfros nos encontros de paredes, acréscimo de cintas confinando a alvenaria, aumento de bitolas do aço além de rearranjos como distribuição simétrica de paredes e aberturas e retirada de lajes, podem representar um acréscimo de 14% no custo da construção.

Qualquer acréscimo nos custos de uma construção de interesse social representa um entrave para seu público alvo. Contudo, em se tratando de eventos sísmicos, o desembolso do custo extra pode ser a garantia de resiliência e economia durante as circunstâncias críticas de desastres e pós desastres.

Portanto, alinhando-se as considerações tanto no âmbito das habitações sociais quanto no âmbito do potencial destrutor dos eventos sísmicos, reputa-se a viabilidade construtiva, técnica ou financeira, de executar-se a proposta sismo resistente no cenário estudado.

5. Referências Bibliográficas

- [1] CASTRO, Nuna Filipa da Silva. **Reconstrução pós-desastres de habitação**. 2013. 110 p. Dissertação (Mestrado)-Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2013.
- [2] MUNICH RE. **Pressemitteilung**. Munique, 2018. Disponível em: <<https://www.munichre.com/en/media-relations/publications/press-releases/2018/2018-01-04-press-release/index.html>> Acesso em: 8 ago. 2018.
- [3] ODRC — Owner Driven Reconstruction. **Background: Why a Forum on Owner Driven Reconstruction?**. Disponível em: <<http://odreconstruction.net/background/odrvsnonodrpage>>. Acesso em: 08 ago. 2018.
- [4] EPC & TGCI — Environmental Planning Collaborative & TGC International. **Participatory Planning Guide for Post-Disaster Reconstruction**. 2004. Disponível em: <<http://eird.org/cd/-recovery-planning/docs/10-additional-resources/TCGI-DisasterGuide.pdf-f>> Acesso em: 08 ago. 2018.
- [5] LLOYD-JONES, T. **Mind the Gap! Post-disaster reconstruction and the transition from humanitarian relief**. 2006. Disponível em: <<http://developmentfromdisasters.net/sites/default/files/MindtheGapFullreport.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2018.
- [6] TOLGA ÖZDEN, A. **Constituing a Sustainable Community After Disasters: The Role of Architect(ure)**. 2007. Disponível em: <<http://fabserver.utm.my/download/-Conference-Semiar/JAB2007J1d9No3AR01.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2018.
- [7] LEERSUM, A. **Implementing seismic resistant construction in post-disaster settings Insights from Owner Driven Reconstruction in Pakistan**. 2009. Disponível em: <<http://alexandria.tue.nl/extra2/afstversl/tm/van%20Leersum%202009.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2018.
- [8] ARCHER, D; BOONYABANCHA, S. **Seeing a Disaster as an Opportunity Harnessing the energy of disaster Survivors for Change, Global Assessment Report on Disaster risk Reduction**. 2010. Disponível em: <<http://eau.sagepub.com/content/early/2011/06/21/0956247811410011.full.pdf+html>>. Acesso em: 12 ago. 2018.
- [9] BERTONE, P.; MARINHO, C. **Gestão de riscos e resposta a desastres naturais: a visão do planejamento**. In: CONGRESSO CONSAD DE GESTÃO PÚBLICA. 6. 2013. Brasília: Centro de Convenções Ulysses Guimarães, 2013.
- [10] SCHILDERMAN, T. **Putting people at the centre of Reconstruction**. In Lyons, M., Schilderman, T., e Boano, C., (Eds.), **Build Back Better: Delivering people-centred housing reconstruction at scale**. 2010. Warwickshire, UK, Pratical Action, pp. 414–426. Disponível em: <<http://practicalaction.org/access-to-services/docs/ia3/buildingback-better-lyons-schilderman.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2018.
- [11] BARENSTEIN, J. D.; IYENGAR, S. **India: From a culture of housing to a philosophy of reconstruction**. In Lyons, M., Schilderman, T., e Boano, C., (Eds.), **Build Back Better: Delivering people-centred housing reconstruction at scale**. 2010. Warwickshire, UK, Pratical Action, pp. 163-188. Disponível em: <<http://practicalaction.org/access-to-services/docs/ia3/building-back-better-lyons-schilderman.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2018.
- [12] CHANG, Y. et al. **Resourcing challenges for post-disaster housing reconstruction: a comparative analysis**. 2010. *Building Research & Information*, v. 38, n. 3, pp. 247-264. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09613211003693-945>>. Acesso em: 12 ago. 2018.
- [13] UN — United Nations. **Report of the World Summit on Sustainable Development Johannesburg**. 2002. Disponível em: <http://www.johannesburgsummit.org/html/documents/summit_docs/-131302_wssd_report_reissued.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2018.
- [14] GOMES, Idalia; BRITO, Jorge de; LOPES, Mário. **Modelação de Construções com Terra Crua Sujeitas à Acção Sísmica**. Lisboa, 2010.

- [15] GOMES, Idalia; BRITO, Jorge de; LOPES, Mário. **Segurança das Construções em Terra Crua Face à Acção Sísmica**. Lisboa, 2008.
- [16] FIGUEROLA, V. **Alvenaria de solo-cimento**. Técnica, São Paulo: PINI, 2004, n.85, pp.30- 35.
- [17] TORGAL, Fernando Pacheco; JALALI, Said. **Toxicidade de materiais de construção: uma questão incontornável na construção sustentável**. 2010. Ambiente Construído, v. 10, n. 3, pp. 41-53. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ac/v10n3/a03.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2018.
- [18] PECORIELLO, L. A. **Recomendações práticas para uso do tijolo furado de solo-cimento na produção de alvenaria**. 2003. 86 p. Dissertação (Mestrado)- IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo), São Paulo, 2003.
- [19] CARVALHO, A.R.O.; POROCA, J.S. **Como fazer e usar tijolos prensados de solo estabilizado**. Brasília: IBICT, 1995, 38 p.
- [20] GOMES, Idalia; BRITO, Jorge de; LOPES, Mário. **Comportamento das Construções em Terra Quando Sujetas a um Sismo**. Lisboa, 2007.
- [21] BLONDET, M.; GARCÍA, G.; SVETLANNA, B. **Construcciones de adobe resistentes a los terremotos: Tutor**. California, 2003.
- [22] RESESCO. **Reglamento Para la Seguridad Estructural de las Construcciones**. 1997. Folleto Complementario: Lineamiento para Construcción en Adobe. Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos (ASIA), El Salvador, 36 p.
- [23] MORALES, R.; CABREJOS, R.; RENGIFO, L.; CANDIOTTI, C. **Manual para la construcción de viviendas de adobe**. Lima, 1993.
- [24] PARREIRA, D. **Análise sísmica de uma construção em taipa**. 2007. Dissertação (Mestrado)- Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007.
- [25] PEÑA, F.; LOURENÇO, P. **Estruturas em terra: comportamento e patologias**. 2007. Universidade do Minho, Minho, 2007.
- [26] PINTO, M.; PAYALICH, E.; WAMSLER, C. **Proyecto de reconstrucción con inclusión de la gestión de riesgo - elementos técnicos y estrategia institucional para la disminución del riesgo y de la dimensión de futuros desastres**. Peru, 2003.
- [27] APPLETON, J. **Reabilitação de edifício antigos - Patologias e tecnologias de intervenção**. Lisboa, 2003.
- [28] SIMAS, Carolina; MONTAGNOLI, Clara. **Desastres ambientais impactam de acordo com a estrutura local**. 2010. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/comciencia/handler.php?section=8&edicao=55&id=700&print=true>>. Acesso em: 25 ago. 2018.
- [29] MATTOS, Aldo Dórea. **Planejamento e Controle de Obras**. 1ª Edição, 4ª Tiragem, São Paulo: Editora PINI, 2010.
- [30] BRASIL. Caixa Econômica Federal. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI**. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 25 ago. 2018.

6. Anexos

Tabela 1 – Resumo do orçamento da proposta convencional

Serviços/Insumos	Aplicações e Considerações	Estrutura Convencional	
		Radier	Bloco Corrido
Reaterro	Regularização do solo e reaterro (para a opção de bloco corrido)	R\$ 263,05	R\$ 897,48
Alvenaria e Rejuntamento	Paredes e Enrijecedores	R\$ 39.490,64	R\$ 39.490,64
Aplicação de Resina	Duas demãos de resina, com excessão das paredes revestidas	R\$ 5.632,51	R\$ 5.632,51
Armaduras	Radier, blocos corridos, laje, colunas grauteadas e cintas	R\$ 13.242,85	R\$ 3.963,77
Azulejos	Banheiro e áreas molhadas (pia e tanque)	R\$ 747,36	R\$ 747,36
Chapisco e Emboço	Banheiro	R\$ 828,20	R\$ 828,20
Concreto Estrutural	Radier, blocos corridos e laje	R\$ 9.581,79	R\$ 2.711,20
Concreto Magro	Ambientes e blocos corridos	R\$ -	R\$ 150,98
Contrapiso Argamassado	Ambientes	R\$ 1.919,43	R\$ 1.919,43
Escavações	Radier e blocos corridos	R\$ 1.206,97	R\$ 1.361,79
Esquadrias de Alumínio	Janelas	R\$ 4.445,32	R\$ 4.445,32
Esquadrias de Madeira	Portas	R\$ 1.308,64	R\$ 1.308,64
Estrutura do Telhado	Estrutura convencional em madeira	R\$ 5.693,33	R\$ 5.693,33
Ferragens	Fechaduras e Dobradiças	R\$ 459,84	R\$ 459,84
Formas	Radier e blocos corridos	R\$ 1.829,11	R\$ 2.660,56
Geral	-	R\$ 3.049,97	R\$ 3.049,97
Grauteamento	Colunas e cintas	R\$ 1.246,91	R\$ 1.246,91
Impermeabilização	Banheiro e áreas molhadas (pia e tanque)	R\$ 314,69	R\$ 314,69
Instalações de Água	-	R\$ 3.169,14	R\$ 3.169,14
Instalações de Esgoto	-	R\$ 13.168,01	R\$ 13.168,01
Instalações Elétricas	-	R\$ 12.110,79	R\$ 12.110,79
Laje	Sobre o banheiro e cozinha	R\$ 1.454,26	R\$ 1.454,26
Lastro de Brita	Radier	R\$ 392,60	R\$ -
Lona Plástica	Radier	R\$ 265,51	R\$ -
Louças e Metais	-	R\$ 1.407,58	R\$ 1.407,58
Pisos Cerâmicos	Ambientes	R\$ 2.543,95	R\$ 2.543,95
Preparação e Pintura de Portas	-	R\$ 201,83	R\$ 201,83
Rodapés	-	R\$ 862,21	R\$ 862,21
Selamento e Pintura em Parede	Teto do banheiro	R\$ 159,54	R\$ 159,54
Soleiras e Peitoris	-	R\$ 630,03	R\$ 630,03
Telhado	Em telhas cerâmicas	R\$ 6.967,41	R\$ 6.967,41
TOTAL		R\$ 134.593,45	R\$ 119.557,37

Fonte: Autor

Tabela 2 – Resumo do orçamento da proposta sismo resistente

Serviços/Insumos	Aplicações e Considerações	Estrutura Sismo Resistente		
		Radier	Sapata Corrida	Radier + Sapata Corrida
Reaterro	No contorno das sapatas corridas e vigas de equi	R\$ 258,51	R\$ 945,61	R\$ 945,61
Alvenaria e Rejuntamento	Paredes	R\$ 37.539,94	R\$ 37.539,94	R\$ 37.539,94
Aplicação de Resina	Dois demãos de resina, com excessão das parede	R\$ 5.770,14	R\$ 5.770,14	R\$ 5.770,14
Armaduras	Radier, sapatas corridas, vigas de equilibrio, colu	R\$ 25.626,09	R\$ 15.497,77	R\$ 28.597,83
Azulejos	Banheiro e áreas molhadas (pia e tanque)	R\$ 753,12	R\$ 753,12	R\$ 753,12
Chapisco e Emboço	Banheiro	R\$ 701,28	R\$ 701,28	R\$ 701,28
Concreto Estrutural	Radier, sapatas corridas, vigas de equilibrio e arr	R\$ 10.093,84	R\$ 4.163,92	R\$ 12.939,10
Concreto Magro	Ambientes, sapatas corridas e vigas de equilibrio	R\$ -	R\$ 165,82	R\$ 165,82
Contrapiso Argamassado	Ambientes	R\$ 1.863,85	R\$ 1.863,85	R\$ 1.863,85
Escavações	Radier, sapatas corridas e vigas de equilibrio	R\$ 1.198,52	R\$ 1.651,93	R\$ 2.133,57
Esquadrias de Alumínio	Janelas	R\$ 5.674,87	R\$ 5.674,87	R\$ 5.674,87
Esquadrias de Madeira	Portas	R\$ 1.308,64	R\$ 1.308,64	R\$ 1.308,64
Estrutura do Telhado	Estrutura convencional e contraventada em made	R\$ 5.901,34	R\$ 5.901,34	R\$ 5.901,34
Ferragens	Fechaduras e Dobradiças	R\$ 459,84	R\$ 459,84	R\$ 459,84
Formas	Radier, sapatas corridas, vigas de equilibrio e arr	R\$ 5.385,50	R\$ 7.982,48	R\$ 8.974,95
Geral	-	R\$ 3.049,97	R\$ 3.049,97	R\$ 3.049,97
Grauteamento	Colunas e cintas	R\$ 1.323,18	R\$ 1.323,18	R\$ 1.323,18
Impermeabilização	Banheiro e áreas molhadas (pia e tanque)	R\$ 340,31	R\$ 340,31	R\$ 340,31
Instalações de Água	-	R\$ 3.169,14	R\$ 3.169,14	R\$ 3.169,14
Instalações de Esgoto	-	R\$ 13.168,01	R\$ 13.168,01	R\$ 13.168,01
Instalações Elétricas	-	R\$ 12.110,79	R\$ 12.110,79	R\$ 12.110,79
Laje	Estrutura sem laje	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Lastro de Brita	Radier e colchão de brita	R\$ 4.244,12	R\$ 3.858,29	R\$ 4.244,12
Lona Plástica	Radier	R\$ 260,94	R\$ -	R\$ 260,94
Louças e Metais	-	R\$ 1.405,46	R\$ 1.405,46	R\$ 1.405,46
Pisos Cerâmicos	Ambientes	R\$ 2.688,91	R\$ 2.688,91	R\$ 2.688,91
Preparação e Pintura de Porta	-	R\$ 201,83	R\$ 201,83	R\$ 201,83
Rodapés	-	R\$ 853,21	R\$ 853,21	R\$ 861,87
Selamento e Pintura em Pared	-	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Soleiras e Peitoris	-	R\$ 601,39	R\$ 601,39	R\$ 601,39
Telhamento	Em telhas cerâmicas	R\$ 6.859,89	R\$ 6.859,89	R\$ 6.859,89
TOTAL		R\$ 152.812,64	R\$ 140.010,93	R\$ 164.015,73

Fonte: Autor

Tabela 3 – Comparativo de custos entre a proposta convencional e a proposta sismo resistente

Serviços/Insumos	Estrutura Convencional	Estrutura Sismo Resistente	Aumento
Reaterro	R\$ 897,48	R\$ 945,61	5%
Alvenaria e Rejuntamento	R\$ 39.490,64	R\$ 37.539,94	-5%
Aplicação de Resina	R\$ 5.632,51	R\$ 5.770,14	2%
Armaduras	R\$ 3.963,77	R\$ 28.597,83	621%
Azulejos	R\$ 747,36	R\$ 753,12	1%
Chapisco e Emboço	R\$ 828,20	R\$ 701,28	-15%
Concreto Estrutural	R\$ 2.711,20	R\$ 12.939,10	377%
Concreto Magro	R\$ 150,98	R\$ 165,82	10%
Contrapiso Argamassado	R\$ 1.919,43	R\$ 1.863,85	-3%
Escavações	R\$ 1.361,79	R\$ 2.133,57	57%
Esquadrias de Alumínio	R\$ 4.445,32	R\$ 5.674,87	28%
Esquadrias de Madeira	R\$ 1.308,64	R\$ 1.308,64	0%
Estrutura do Telhado	R\$ 5.693,33	R\$ 5.901,34	4%
Ferragens	R\$ 459,84	R\$ 459,84	0%
Formas	R\$ 2.660,56	R\$ 8.974,95	237%
Geral	R\$ 3.049,97	R\$ 3.049,97	0%
Grauteamento	R\$ 1.246,91	R\$ 1.323,18	6%
Impermeabilização	R\$ 314,69	R\$ 340,31	8%
Instalações de Água	R\$ 3.169,14	R\$ 3.169,14	0%
Instalações de Esgoto	R\$ 13.168,01	R\$ 13.168,01	0%
Instalações Elétricas	R\$ 12.110,79	R\$ 12.110,79	0%
Laje	R\$ 1.454,26	R\$ -	-100%
Lastro de Brita	R\$ -	R\$ 4.244,12	
Lona Plástica	R\$ -	R\$ 260,94	
Louças e Metais	R\$ 1.407,58	R\$ 1.405,46	0%
Pisos Cerâmicos	R\$ 2.543,95	R\$ 2.688,91	6%
Preparação e Pintura de Portas	R\$ 201,83	R\$ 201,83	0%
Rodapés	R\$ 862,21	R\$ 861,87	0%
Selamento e Pintura em Paredes e Tetos	R\$ 159,54	R\$ -	-100%
Soleiras e Peitoris	R\$ 630,03	R\$ 601,39	-5%
Telhamento	R\$ 6.967,41	R\$ 6.859,89	-2%
TOTAL	R\$ 119.557,37	R\$ 164.015,73	37%

Fonte: Autor

Tabela 4 – Comparativo de custos para as propostas considerando fundação em laje radier

Serviços/Insumos	Estrutura Convencional	Estrutura Sismo Resistente	Aumento
Reaterro	R\$ 263,05	R\$ 258,51	-2%
Alvenaria e Rejuntamento	R\$ 39.490,64	R\$ 37.539,94	-5%
Aplicação de Resina	R\$ 5.632,51	R\$ 5.770,14	2%
Armaduras	R\$ 13.242,85	R\$ 25.626,09	94%
Azulejos	R\$ 747,36	R\$ 753,12	1%
Chapisco e Emboço	R\$ 828,20	R\$ 701,28	-15%
Concreto Estrutural	R\$ 9.581,79	R\$ 10.093,84	5%
Concreto Magro	R\$ -	R\$ -	
Contrapiso Argamassado	R\$ 1.919,43	R\$ 1.863,85	-3%
Escavações	R\$ 1.206,97	R\$ 1.198,52	-1%
Esquadrias de Alumínio	R\$ 4.445,32	R\$ 5.674,87	28%
Esquadrias de Madeira	R\$ 1.308,64	R\$ 1.308,64	0%
Estrutura do Telhado	R\$ 5.693,33	R\$ 5.901,34	4%
Ferragens	R\$ 459,84	R\$ 459,84	0%
Formas	R\$ 1.829,11	R\$ 5.385,50	194%
Geral	R\$ 3.049,97	R\$ 3.049,97	0%
Grauteamento	R\$ 1.246,91	R\$ 1.323,18	6%
Impermeabilização	R\$ 314,69	R\$ 340,31	8%
Instalações de Água	R\$ 3.169,14	R\$ 3.169,14	0%
Instalações de Esgoto	R\$ 13.168,01	R\$ 13.168,01	0%
Instalações Elétricas	R\$ 12.110,79	R\$ 12.110,79	0%
Laje	R\$ 1.454,26	R\$ -	-100%
Lastro de Brita	R\$ 392,60	R\$ 4.244,12	981%
Lona Plástica	R\$ 265,51	R\$ 260,94	-2%
Louças e Metais	R\$ 1.407,58	R\$ 1.405,46	0%
Pisos Cerâmicos	R\$ 2.543,95	R\$ 2.688,91	6%
Preparação e Pintura de Portas	R\$ 201,83	R\$ 201,83	0%
Rodapés	R\$ 862,21	R\$ 853,21	-1%
Selamento e Pintura em Paredes e Tetos	R\$ 159,54	R\$ -	-100%
Soleiras e Peitoris	R\$ 630,03	R\$ 601,39	-5%
Telhamento	R\$ 6.967,41	R\$ 6.859,89	-2%
TOTAL	R\$ 134.593,45	R\$ 152.812,64	14%

Fonte: Autor