POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Mecanismos de colapso em estruturas de alvenaria sujeitas à sismos: análise dos multiplicadores de colapso

Original
Mecanismos de colapso em estruturas de alvenaria sujeitas à sismos: análise dos multiplicadores de colapso / Da Silva Brandão, F., Garda, E.M., Mangosio, M., Gadelha Diogenes, A., Chaves Sales, J.. - ELETTRONICO. - 1:(2015). (Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC 2015 – 72a SOEA, Fortaleza (BR) 15-18 settembre 2015).

Availability:
This version is available at: 11583/2628510 since: 2020-01-30T08:55:43Z

Publisher:
Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (Confea)

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

16 November 2026

MECANISMOS DE COLAPSO EM ESTRUTURAS DE ALVENARIA SUJEITAS À SISMOS: ANÁLISE DOS MULTIPLICADORES DE COLAPSO

FRANCISCO DA SILVA BRANDÃO[1(*)], EMILIA MARIA GARDA[2],
MARIKA MANGOSIO[3], ALDECIRA GADELHA DIOGENES[4],JUSCELINO CHAVES SALES[5]

[1(*)]Graduando em Engenharia Civil, UVA, Sobral-CE, Bolsista de Graduação Sanduíche no Exterior,CsF- CAPES, Politécnico de Turim-Itália. Fone: (88) 9950-3750, eng.franciscobrandao@hotmail.com
[2] Profa. Dra. Politécnico de Turim-Itália. Fone: (32) 0110905318/5318, emilia.garda@polito.it
[3] Profa. Dra. Politécnico de Turim- Itália. Fone: (32) 0110907455 / 7455, marika.mangosio@polito.it
[4] Profa. MSc. Departamento de Engenharia Civil, UVA, Sobral-CE. Fone: (85) 9628- 2476, aldeciragd@yahoo.com.br
[5] Prof. MSc. Departamento de Engenharia Civil, UVA, Sobral-CE. Fone: (85) 9996- 2720, juscelinochaves@hotmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC 2015
15 a 18 de Setembro de 2015 - Fortaleza-CE, Brasil

RESUMO: Quando estruturas em alvenaria são atingidas por terremotos, os danos e colapsos se manifestam de diversas formas, são os chamados mecanismos de colapso. Podem ser de 1º modo (fora do plano) ou de 2º modo (no plano). Este trabalho objetiva estudar os principais mecanismos de colapso de 1º modo no que se refere a análise dos multiplicadores de colapso. Para isso se fez uma ampla pesquisa bibliográfica, de onde foram extraídos os modelos cinemáticos que serviram para analisar estes multiplicadores. Essa análise é um ponto importante na avaliação de possíveis colapsos que essas estruturas venham a sofrer, e é relevante seja em fase de projetação ou intervenção na estrutura já existente.
PALAVRAS–CHAVE: alvenaria, sismos, mecanismos de colapso, segurança.

MECHANISMS OF COLLAPSE IN STRUCTURES MASONRY SUBJECT TO EARTHQUAKES: ANALYSIS OF COLLAPSE MULTIPLIERS

ABSTRACT: When masonry structures are affected by the earthquake the damages and collapses are manifested in various ways, they are called collapse mechanism. They can be 1° mode (off plan) or 2° mode (in the plan). This work objective to study the main mechanisms collapse mode 1°, regarding the analysis of the collapse multipliers. To this is made an bibliographic search, where the cinematic models that were used to analyze the collapse multipliers. This analysis is an important point in the evaluation of possible collapses that these structures will suffer, and is relevant is in the design stage or intervention in the existing structure.
KEYWORDS: masonry, seism, collapse mechanisms, security.

INTRODUÇÃO

Os terremotos são fenômenos naturais que podem causar graves desastres como problemas estruturais, colapso de edifícios, perdas de vida. Após os eventos sísmicos, quando se observa os edifícios em alvenaria, percebe-se muitos tipos de danos ou mesmo de colapsos que se manifestam em várias formas. A forma como uma estrutura sofre um dano ou um colapso devido a um terremoto, é através dos mecanismos colapso. Estes podem ser de duas modalidades: os mecanismos de 1º modo (agentes fora do plano) e de 2º modo (agentes no plano). Os de 1º modo, identificam os mecanismos que agem nas paredes causando flambagem, tombamento simples e composto, flexão vertical e horizontal e cisalhamento. Os de 2º modo, causam danos como fissuração por cisalhamento e presso-flexão (Colombini, 2014). Este trabalho tem como objetivo estudar os principais mecanismos de colapso e seus respectivos multiplicadores das forças horizontais, ou seja, os multiplicadores de colapso, em estruturas de alvenaria, quando estas são afetados por ações sísmicas.

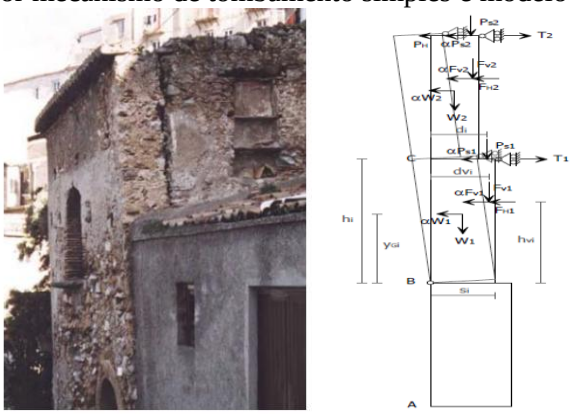
MATERIAL E MÉTODOS

O estudo se inicia com uma ampla pesquisa bibliográfica de onde se obtiveram os modelos cinemáticos para a análise dos multiplicadores de colapso. Esta análise é feita apenas para os mecanismos de colapso de 1° modo (fora do plano): tombamento de parede simples e composto e flexão vertical e horizontal, visto que são os mais relevantes. Para isso, deduzem-se as equações dos multiplicadores (α), calculando para cada tipo de mecanismo o momento estabilizante e o momento de tombamento, depois para a obtenção do multiplicador se igualam as equações. Vale ressaltar que esta pesquisa foi desenvolvido na Itália, um país que apresenta grande parte do seu construído em alvenaria e também é um dos países europeus com maior risco sísmico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Colombini (2014) o tombamento simples de parede, ocorre em um ou mais planos, e acontece quando a parede não está suficientemente presa nas lajes ou paredes ortogonais, por isso, na ausência de dispositivos de conexão como tirantes na parte superior da parede, essa pode vir a tombar. A Figura 1 apresenta um caso deste tipo de mecanismo e o modelo cinemático que serve para calcular o multiplicador de colapso para a estrutura.

Figura 1. Parede atingida por mecanismo de tombamento simples e modelo cinemático.



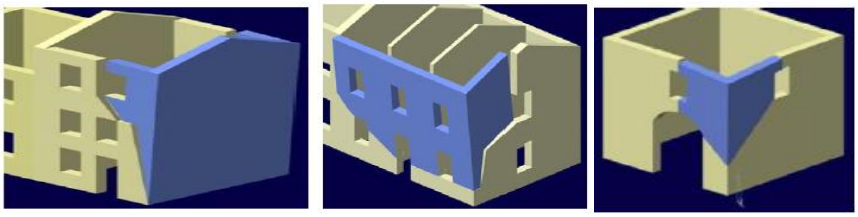
Fonte: Adaptado de Milano et al. (2009).

A análise do multiplicador de colapso é feita mediante o modelo cinemático de uma parede representado na Figura 3 . Igualando os dois momentos se encontra o multiplicador de colapso.

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i.\frac{S_i}{2} + \sum_{i=1}^{n} F_{Vi}\,.\,d_{Vi} + \sum_{i=1}^{n} P_{Si}\,.\,d_i + \sum_{i=1}^{n} T_i.h_i - \sum_{i=1}^{n} F_{Hi}\,.\,h_{Vi} - P_H.h_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i.y_{Gi} + \sum_{i=1}^{n} F_{Vi}\,.\,h_{Vi} + \sum_{i=1}^{n} P_{Si}\,.\,h_i} \qquad (1)$$

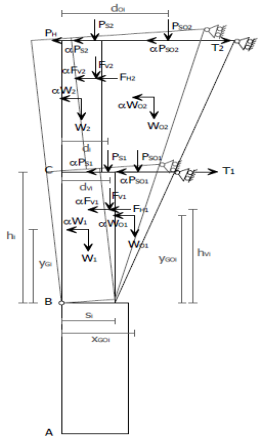
O tombamento composto de parede indica um conjunto de situações em que o tombamento da parede é acompanhado pelo arrastamento de uma ou mais porções da estrutura (Beolchini et al., 2005). Na Figura 2 são ilustrados os principais tipos de colapso devido à esse mecanismo e na Figura 3 se tem o modelo cinemático.

Figura 2. Tipos de mecanismos de tombamento composto de parede.



Fonte: Adaptado de Zuccaro & Papa (2001).

Figura 3. Modelo cinemático para o mecanismo de tombamento composto de parede.



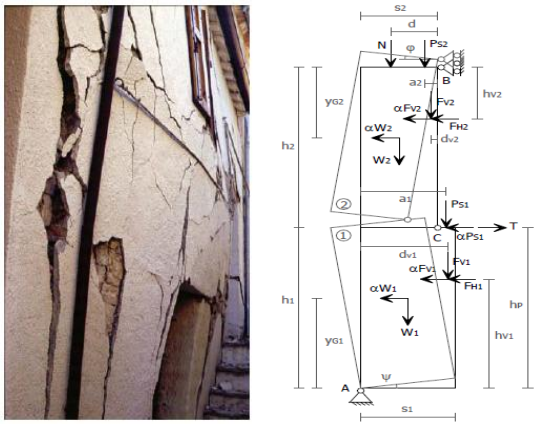
Fonte: Milano et al. (2009).

Calculando o multiplicador de colapso:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i.\frac{S_i}{2} + \sum_{i=1}^{n} F_{Vi}\,.\,d_{Vi} + \sum_{i=1}^{n} W_{Oi}\,.\,x_{GOi} + \sum_{i=1}^{n} P_{Si}\,.\,d_i + \sum_{i=1}^{n} P_{SOi}\,.\,d_{Oi} + \sum_{i=1}^{n} T_i.h_i - \sum_{i=1}^{n} F_{Hi}\,.\,h_{Vi} - P_H.h_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i.y_{Gi} + \sum_{i=1}^{n} W_{Oi}\,.\,y_{GOi} + \sum_{i=1}^{n} F_{Vi}\,.\,d_{Vi} + \sum_{i=1}^{n} P_{Si}\,.\,h_i + \sum_{i=1}^{n} P_{SOi}\,.\,h_i} \quad (2)$$

O mecanismo de flexão vertical se manifesta em paredes externas e pode afetar qualquer área da parede. A flexão vertical ocorre quando a parede é bem presa nas extremidades, ligeiramente presa nos lados e livre na zona central (D'Ambra, 2011).

Figura 4. Estrutura atingida por mecanismo de flexão vertical de parede e modelo cinemático.



Fonte: Adaptado de Milano et al. (2009).

O multiplicador de colapso será:

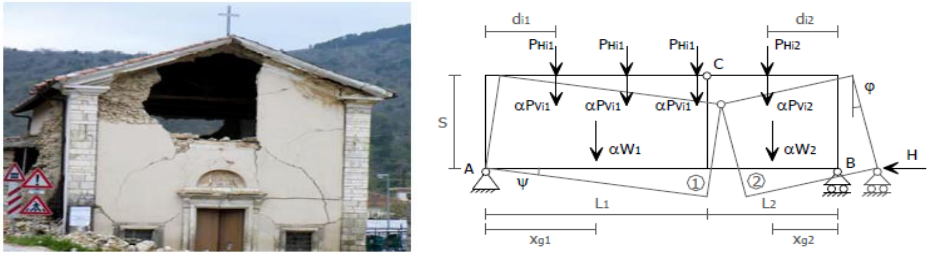
$$\alpha = \frac{\mathrm{E}}{W_1.y_{\mathrm{G1}} + F_{\mathrm{V1}}.h_{\mathrm{V1}} + P_{S1}.h_P + (W_1.y_{\mathrm{G2}} + F_{\mathrm{V2}}.h_{\mathrm{V2}}).\frac{\mathrm{h_1}}{\mathrm{h_2}}} \quad (3)$$

Sendo o termo *E* igual a:

$$E = \frac{W_1}{2}.S_1.+F_{V1}.d_{V1} + (W_2 + P_{S2} + N + F_{V2}).S_2 + \frac{\mathrm{h}_1}{\mathrm{h}_2}.$$
$$\left(\frac{\mathrm{W}_2}{2}.\mathrm{S}_2 + P_{S2}.a_2 + N.d + F_{V2}.d_{V2} - \mathrm{F}_{H2}.\mathrm{h}_{V2}\right) + P_{S1}.a_1 - F_{H1}.d_{V1} + T.\mathrm{h}_P \quad (4)$$

O mecanismo de flexão horizontal se manifesta com a formação de cunhas formadas por macroelementos descolamento que giram rigidamente em torno cilíndrico dobradiças colocado na sua base, até o colapso da parede (D'Ambra, 2011).

Figura 5. Estrutura atingida por mecanismo de flexão horizontal de parede e modelo cinemático.



Fonte: Adaptado de Milano et al. (2009).

O multiplicador será:

$$\alpha = \frac{\mathrm{H.s.}\left(1 + \frac{\mathrm{L}_1}{\mathrm{L}_2}\right) - \sum_{\mathrm{i}} P_{\mathrm{Hi}1}.d_{\mathrm{i}1} - \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} P_{\mathrm{Hi}2}.\frac{\mathrm{L}_1}{\mathrm{L}_2}.d_{\mathrm{i}2}}{\mathrm{W}_1.\mathrm{x}_{\mathrm{G}1} + \mathrm{W}_2.\frac{\mathrm{L}_1}{\mathrm{L}_2}.\mathrm{x}_{\mathrm{G}2} + \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} P_{\mathrm{Vi}1}.d_{\mathrm{i}1} + \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} P_{\mathrm{Vi}2}.\frac{\mathrm{L}_1}{\mathrm{L}_2}.d_{\mathrm{i}2}} \quad (5)$$

CONCLUSÕES: O estudo dos mecanismos de colapso bem como a análise do multiplicador das forças horizontais, ou seja, o multiplicador do colapso, que podem afetar os edifícios de estruturas em alvenaria, tanto a nível local ou a nível global, é um ponto indispensável para a avaliação do nível de segurança e serve também para permitir a definição de quaisquer melhorias consistentes com a natureza da estrutura seja na fase projetual da estrutura ou mesmo na definição de eventuais intervenções que melhoram a resposta sísmica da estrutura.

REFERÊNCIAS

Beolchini, G.C; Milano, L.; Anconacci, E. (A cura di). Repertorio dei meccanismi di danno, delle techiche di intervento e dei relativi costi negli edifici in muratura-Definizione di modelli per l'analisi struttrurale delgi edifici in muratura, Volume II-Parte 1ª. Convenzione di Ricerca con la Regione Marche; Consiglio Nazionale delle Ricerche- Istituto per la Tecnologia delle Costruzioni-Sede di L'Aquila; Dipartamento di Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del Terreno (DISAT)- Università degli Studi di L'Aquila. L'Aquila, 2005.

Colombini, S. Vulnerabilità sismica di edifici esistenti in cemento armato e in muratura. Roma: EPC Editore, 2014.479p.

D'Ambra, C. Vulnerabilità e miglioramento sismico di edifici in aggregato: il caso studio di Piazza della Prefettura a L'Aquila. Nápolis: Università degli Studi di Napoli Federico II, 2011. 295f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais e Estruturas).

Milano, L.; Mannella, A.; Morisi, C.; Martinelli, A. Schede illustrative dei principali meccanismi di collasso locali negli edifici esistenti in muratura e dei relativi modelli cinematici di analisi. Anexo da linha guia para a reparação e o reforço de elementos estruturais, revestimentos e divisórias. Áquila: RELUIS, 2009.

Zuccaro, G.; Papa, F. CD Multimediale MEDEA–Manuale di Esercitazione sul danno ed agibilità per edifici ordinari in muratura. Roma: CAR Progetti S.R.L, 2001.