



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

BERTRAND GUERRA DE CARVALHO

**REOLOGIA DAS ARGAMASSAS: uma revisão sistemática da literatura utilizando  
metanálise**

Recife  
2022

BERTRAND GUERRA DE CARVALHO

**REOLOGIA DAS ARGAMASSAS: uma revisão sistemática da literatura utilizando  
metanálise**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal de Pernambuco, como requisito parcial  
para obtenção do grau de Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro.

Recife  
2022

Catalogação na fonte:  
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago, CRB-4 / 1267

C331r Carvalho, Bertrand Guerra de.  
Reologia das argamassas: uma revisão sistemática da literatura  
utilizando metanálise / Bertrand Guerra de Carvalho. – 2022.  
83 f.: il., fig., e tabs.

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Recife, 2022.  
Inclui referências.

1. Engenharia civil. 2. Argamassas. 3. Reologia. 4. Metanálise.  
5. VOSviewer. I. Carneiro, Arnaldo Manoel Pereira (Orientador). II.  
Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2022-223

**FICHA CATALOGRÁFICA**

BERTRAND GUERRA DE CARVALHO

**REOLOGIA DAS ARGAMASSAS: uma revisão sistemática da literatura utilizando  
metanálise**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal de Pernambuco, como requisito parcial  
para obtenção do grau de Engenharia Civil.

Aprovado em: 05/05/2022.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Liliane de Allan Fonseca (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Pablo Borba de Barros Góes (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem ele eu não teria conseguido continuar essa longa jornada.

Sou grato aos meus pais, meu pai Saulo de Tarso, e minha mãe Soraia Leite que sempre me apoiaram em quaisquer decisões que viesse a tomar em minha vida, e foram fundamentais nas diversas escolhas difíceis que tiver de fazer ao longo do trajeto. As minhas irmãs por estarem ao meu lado em todos os momentos.

Agradecimentos em especial a minha tia avó Maria do Socorro (Popou), por me incentivar em todas as etapas da minha vida estudantil, desde os primeiros passos no maternal até a graduação. Agradecer também a todos os meus avós, em especial, as minhas avós Zoráide e Socorro por fornecer conselhos que apenas avós transmitem aos seus netos.

Agradecer a todos os familiares que de alguma forma puderam contribuir em minha jornada. Não esquecendo um agradecimento minha prima Ana Luiza por compartilhar emoções boas e ruins dessa excelente profissão que é a engenharia civil.

Agradeço aos meus amigos de faculdade por todo o compartilhamento de experiências e momentos ao longo do curso. A Equipe Concrebuco todo meu carinho por participar de intensos dois anos de projeto na qual adquiri muito conhecimento e aprendizado com as horas e horas no galpão, porém que, ao final, nos renderam boas conquistas.

E por fim, gostaria de agradecer a todo corpo docente do curso de engenharia civil pelos conhecimentos repassados, ao professor Arnaldo Carneiro por me orientar neste trabalho e por todos aqueles da UFPE que de alguma forma contribuíram ao longo dessa jornada.

## RESUMO

As argamassas correspondem a um dos principais materiais utilizados no ramo da construção civil, e, portanto, compreender sobre seu comportamento torna-se fundamental para o bom uso destes materiais. No objetivo de melhor entendimento sobre determinado assunto, a realização de uma revisão sistemática corresponde a uma excelente alternativa de estudo, pois tem como intuito reunir trabalhos semelhantes sobre determinado tema, avaliando-os criticamente e reunindo-os em uma análise estatística de forma a integrá-los e correlacioná-los. Em detrimento do abordado no parágrafo anterior, o presente trabalho de conclusão de curso aborda uma revisão sistemática da literatura sobre a reologia das argamassas utilizando a metanálise como uma das metodologias de análise, bem como outras duas serão abordadas: análise quantitativa e qualitativa no objetivo de qualificar a análise final com base na complementariedade e integratividade das metodologias. Primeiramente, é definido a base de dados do Web of Science para seleção dos artigos, em sequência utilizando a metodologia quantitativa os trabalhos são elegíveis em etapas, 1) aplicação das palavras chaves; 2) inserção de outros filtros; 3) seleção manual dos artigos conforme associação ao tema, finalizadas estas etapas, a base de artigos é consolidada. Na segunda parte, utilizaremos a base de artigos definida para realização da metodologia metanálise e qualitativa a partir da divisão dos artigos em grupos e, posteriormente, em subgrupos conforme o tema base abordado no respectivo trabalho, bem como a utilização da ferramenta de software VOSviewer para criação dos mapas de rede de integração entre os artigos a partir das unidades de análise definidas. Ao final, os aspectos reológicos associados aos grupos dos artigos e os mapas de rede criados pelo VOSviewer são analisados.

**Palavras-chave:** argamassas; reologia; metanálise; VOSviewer.

## ABSTRACT

The mortars are one of the main materials used in the construction industry, and therefore the understanding of their behavior becomes fundamental for the good use of these materials. In order to better understand a given subject, the realization of a systematic review corresponds to an excellent alternative study, as it aims to gather similar works on a given topic, critically evaluating them and bringing them together in a statistical analysis in order to integrate and correlate them. To the detriment of the above, this present paper includes a systematic review of the literature on the rheology of mortars using meta-analysis as one of the methodologies, since two others will be addressed: quantitative and qualitative analysis in order to qualify the final analysis based on the complementarity and integrativity of the methodologies. First, the Web of Science database for the selection of articles is defined, in sequence using the quantitative methodology the works are eligible in stages, 1) application of keywords; 2) insertion of other filters; 3) manual selection of articles according to their theme, when finished these steps, the article basis is consolidated. In the second part, we will use the article basis defined to carry out the meta-analysis and qualitative methodology separating the articles into groups and, later on, into subgroups according to the basic theme addressed in the respective work, as well as the use of the Vosviewer software tool for creating network integration maps between the articles from the defined analysis units. Finally, it analyzes the rheological aspects associated with the groups of articles, as well as the evaluation of the network maps created by Vosviewer.

**Keywords:** mortar; rheology; meta-analysis; VOSviewer

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo de Newton para determinar a relação entre a taxa de deformação do fluido, sob a ação de tensão aplicada .....	17
Figura 2 - Classificação dos fluidos em função de seu comportamento reológico .....	18
Figura 3 - Curvas de escoamento dos fluidos newtonianos e não newtonianos independentes do tempo .....	19
Figura 4- Variação da tensão de escoamento inicial ( $\tau_0$ ) e aumento da tensão de escoamento com o tempo decorrido ( $\Delta\tau_0$ ) para as misturas testadas à 18–30 °C .....	21
Figura 5 - Viscosidade plástica inicial ( $\mu$ ) e aumento da viscosidade plástica com o tempo decorrido ( $\Delta\mu$ ) para as misturas testadas à 18–30 °C .....	21
Figura 6 – Modelo de Bingham aplicado à reologia das argamassas com nanosílica.....	29
Figura 7 – Reômetro rotacional com geometria do tipo cilíndrico concêntrico ou coaxial .....	33
Figura 8 – Reômetro com o conjunto de palhetas em formato de cruz (Vane spindle) .....	33
Figura 9 - Exemplos de viscosímetros, o primeiro consiste em um viscosímetro de orifício e o segundo em um rotacional .....	34
Figura 10 – Fluxograma das metodologias do presente estudo.....	39
Figura 11 – Fluxograma de processos da metodologia quantitativa .....	41
Figura 12 - Mapa em rede integrada dos periódicos mais citados – Adolpfo, A.G (2020)....	44
Figura 13 - Mapa em rede integrada das instituições mais citados – Adolpfo, A.G (2020) ...	45
Figura 14 - Evolução cronológica dos artigos .....	47
Figura 15 - Evolução cronológica dos artigos do grupo “influência dos materiais na reologia das argamassas” .....	50
Figura 16 – Distribuição dos artigos nos subgrupos.....	50
Figura 17 - Evolução cronológica dos artigos do grupo “métodos e modelagens aplicados à reologia das argamassas” .....	57
Figura 18 -Distribuição dos artigos no grupo “métodos e modelagens aplicados às argamassas” nos subgrupos .....	58
Figura 19 - Evolução cronológica dos artigos do grupo “condições de produção e utilização das argamassas” .....	61
Figura 20 - Mapa de rede – Unidade de análise: Artigos mais referenciados .....	64
Figura 21 - Relação dos 19 artigos mais citados na base de artigos definida.....	65
Figura 22 - Mapa de rede da unidade de análise – Periódicos .....	67
Figura 23 – Periódicos com maior número de publicações.....	69

Figura 24 - Relação dos três países com maior número de autores em publicações da revista Construction and Building materials nos últimos 5 anos.....	71
Figura 25 – Mapa de rede da unidade de análise – Instituições .....	71
Figura 26 – Instituições com maior número de publicações .....	73

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Resumo dos grupos e subgrupos .....	48
Tabela 2 - Legenda sobre o mapa de rede da unidade de análise dos Artigos .....	64
Tabela 3 - Legenda sobre o mapa de rede da unidade de análise dos Periódicos.....	68
Tabela 4 - Legenda sobre o mapa de rede da unidade de análise das Instituições .....	72

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área cisalhante
F	Força de cisalhamento
$\tau$	Tensão de cisalhamento
$\gamma$	Taxa de cisalhamento
$\mu$	Viscosidade
$du/dy$	Variação da velocidade de escoamento do fluido em correlação com o delta de distância

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	13
1.1	JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO	14
1.2	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	15
<b>2</b>	<b>BIBLIOGRÁFICA</b>	16
2.1	REOLOGIA	16
2.1.1	<b>Deformação e taxa de cisalhamento</b>	16
2.1.2	<b>Tipos de comportamento reológico dos fluidos</b>	17
2.2	INTRODUÇÃO ÀS ARGAMASSAS	21
2.2.1	<b>Argamassas – Definição e materiais componentes</b>	22
2.2.1.1	<i>Definição</i>	22
2.2.1.2	<i>Materiais Componentes</i>	22
2.2.2	<b>Propriedades das argamassas no estado fresco</b>	23
2.3	REOLOGIA DAS ARGAMASSAS	25
2.3.1	<b>Síntese do estudo cronológico do comportamento reológico das argamassas</b>	25
2.3.2	<b>Modelos de comportamento reológico da Argamassas</b>	28
2.3.3	<b>Propriedades físicas que regem as características reológicas das argamassas</b>	30
2.3.4	<b>Ensaios para verificação das propriedades reológicas das argamassas</b>	32
2.4	A METODOLOGIA METANÁLISE APLICADA À REVISÃO SISTEMÁTICA COM USO DO VOSVIEWER	35
2.4.1	<b>Importância da revisão sistemática e a utilização da metodologia metanálise</b>	35
2.4.2	<b>VOSviewer aplicado à revisão sistemática</b>	37
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	39
3.1	METODOLOGIA QUANTITATIVA	40
3.2	METANÁLISE	42
3.3	METODOLOGIA QUALITATIVA	46
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	47
4.1	ANÁLISE GERAL	47
4.2	ANÁLISE QUALITATIVA SOBRE OS GRUPOS	48
4.2.1	<b>Resultado sobre o grupo: “influência dos materiais na reologia das argamassas”</b>	48
4.2.1.1	<i>Adições</i>	50
4.2.1.2	<i>Fibras e Polímeros</i>	52

4.2.1.3 <i>Aditivos</i> .....	53
4.2.1.4 <i>Agregados</i> .....	54
4.2.1.5 <i>Outros</i> .....	55
<b>4.2.2 Resultado do grupo: Métodos e modelagens aplicados à reologia das argamassas</b>	
.....	56
4.2.2.1 <i>Método construtivo 3D</i> .....	58
4.2.2.2 <i>Métodos de ensaio das argamassas</i> .....	59
4.2.2.3 <i>Modelagem em argamassas</i> .....	60
4.2.3 <i>Resultado do grupo: condições de produção e utilização das argamassas</i> .....	60
4.2.3.1 <i>Procedimentos e condições da argamassa</i> .....	61
4.2.3.2 <i>Reologia no uso das argamassas</i> .....	62
<b>4.3 RESULTADO DOS ARTIGOS MAIS CITADOS NAS UNIDADES DE ANÁLISE DO VOSviewer</b> .....	63
<b>4.3.1 Resultado da unidade de análise: Artigo</b> .....	63
<b>4.3.2 Resultado da unidade de análise: Periódicos</b> .....	66
<b>4.3.3 Resultado da unidade de análise: Instituições</b> .....	71
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	75
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	78

## 1 INTRODUÇÃO

No âmbito da construção civil sempre houve uma tendência a prevalência do conservadorismo e do tradicional em relação a inovação e contemporaneidade, em que os indivíduos atuantes nesta área, na maioria das vezes, tendiam a preferir a manutenção de sistemas de construção consolidados e a utilização dos materiais comumente empregados nas diferentes atividades relacionadas à construção civil. Porém, mediante as necessidades que surgiram ao longo do caminhar histórico, aliado a novas exigências e funcionalidades exigidas para as edificações, unidades de infraestrutura e demais construções associados ao âmbito civil, inevitavelmente houveram criações, desenvolvimentos e adaptações relacionados tanto ao modo de construir quanto aos itens que seriam utilizados para tal construção, permitindo assim, uma significativa e crescente evolução na conjuntura de infraestrutura e construções das sociedades.

Contudo, apesar das inovações e mudanças que ocorreram ao longo dos períodos históricos tanto no modo de construir como nos materiais que foram utilizados para tais construções, existem determinados insumos que desde os primórdios das primeiras habitações são utilizados e que ainda permanecem nos dias atuais, dos quais o gesso, argila, areia são alguns exemplos. Há ainda produtos que foram originados a partir desses e outros insumos, que, apesar de adaptações e melhorias, também são utilizados até os dias atuais, por consequência de diversos fatores como custo, funcionalidade, disponibilidade de matéria-prima, domínio em sua utilização e demais. Argamassas, blocos cerâmicos, blocos e peças de gesso, cimento e posteriormente o concreto, são alguns dos exemplos desses materiais que ainda se fazem presentes em diversas aplicações na construção civil.

Em referência aos materiais citados no parágrafo anterior, as argamassas, correspondem a um dos produtos mais antigos a serem utilizados nas civilizações e que perduram até hoje. Não se sabe ao certo o período exato de utilização das primeiras argamassas, contudo acredita-se que a mistura de cal com água e alguns outros materiais tenha sido os primeiros indícios de sua utilização. Apesar de não se saber um período definido dos primeiros usos das argamassas, sabe-se que estes compostos vêm sendo utilizados há milhares de anos, e, que ao longo de seu uso houve modificações tanto em suas propriedades no estado fresco quanto no estado endurecido, com o objetivo de atender as necessidades e garantir as funcionalidades que lhes foram sendo atribuídas.

No tocante as propriedades no estado fresco das argamassas, características como viscosidade, consistência, coesão, plasticidade, dentre outras foram intensamente modificadas

conforme pesquisas de desenvolvimento eram realizadas e novas finalidades lhes eram conferidas. Tais mudanças interferiram diretamente sobre a reologia das argamassas, enquanto considerada como fluido não-newtoniano.

Contudo, apesar das modificações ocorridas nas propriedades reológicas das argamassas ao longo de sua existência, poucos são os estudos que apresentam a finalidade de integrar e correlacionar os trabalhos que contribuíram para esta evolução, com o objetivo de reproduzir uma revisão bibliográfica acerca deste conteúdo. Com isso, o presente trabalho tem por objetivo contribuir ao tema em seu âmbito acadêmico, realizando uma revisão sistemática da literatura sobre a reologia das argamassas, utilizando a análise quantitativa e qualitativa para seleção dos trabalhos cabíveis e o software VOSviewer para compilar as informações presentes nestes conteúdos, resultando ao final em uma integração cronológica dos trabalhos selecionados.

## 1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

Não se limitando ao setor da construção civil, mas abrangendo todos os diferentes setores e áreas em estudo, o conhecimento sobre a construção cronológica e evolução acerca de um determinado tema de estudo é fundamental para compreendermos a conjuntura do desenvolvimento relacionado a determinado assunto. Em que podem ser identificados: os subtópicos e vieses que mais apresentaram evolução, detalhando a origem, o desenvolvimento e a consolidação relacionados às instituições, além de pesquisadores e demais envolvidos em um determinado tema; quais foram as contribuições do assunto para o âmbito acadêmico e, principalmente, social; quais as dificuldades de pesquisa e progresso; e dentre outros aspectos que são de suma importância para o conhecimento detalhado sobre o tema em estudo.

Mediante ao apresentado, pode-se perceber a extrema importância do conhecimento e estudo sobre o tema que deve ser analisado, para que seja possível, de forma mais lúcida, ter o compreendimento das nuances, dificuldades e aspectos a melhorar sobre a área em estudo.

Tratando-se de forma mais específica sobre o tema de reologia das argamassas, ainda que possam existir alguns estudos de revisão sistemática e cronológica sobre o tema, é de relativa importância a maior ênfase na produção destes tipos de trabalho, possibilitando ter um maior número de informações, análises e abrangência sobre a conjuntura e distribuição cronológica dos trabalhos que servirão de referências para embasamento de trabalhos futuros.

## 1.2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O presente trabalho tem por objetivo realizar uma revisão sistemática sobre toda a conjuntura bibliográfica acerca da reologia das argamassas considerando a base de dados estabelecida, a Web of Science, em que serão analisados os trabalhos desenvolvidos desde o primeiro elegível, pelos critérios de seleção estabelecidos, correspondendo a BANFILL (1990 e 1991) até os trabalhos publicados no ano de 2021, os quais estão relacionados ao tema do presente estudo, e, para tanto, utilizaremos o método da metanálise para integrar estatisticamente tais trabalhos de forma a apresentar resultados conjuntos sobre tendências cronológicas e aspectos em concordância.

O presente trabalho tem como objetivo:

- Realizar uma revisão sistemática da literatura acerca do tema de reologia das argamassas.
- Analisar quantitativamente e qualitativamente todos os textos captados, em todos que possam ter relação com o tema.
- Identificar e discutir padrões gerais e distribuições de grupos sobre os trabalhos selecionados, a partir dos mapas de rede e metanálise com o auxílio do software VOSviewer.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Objetivando embasar e referenciar o assunto abordado neste trabalho, nos subtópicos seguir serão apresentados conceitos sobre a reologia dos fluídos, estudo das argamassas, a reologia aplicada às argamassas, e por fim, a utilização da metanálise aplicado à revisão sistemática de estudos.

### 2.1 REOLOGIA

Em âmbito geral, a reologia, como ciência, retrata o comportamento mecânico e deformacional dos fluidos quando submetidos à ação de tensões, presumindo determinadas condições termodinâmicas durante certo intervalo de tempo. Dentre os tipos de fluidos, destacam-se os gases, líquidos, suspensões de partículas e emulsões.

As argamassas, assim como demais pastas, estão inseridas no grupo de suspensões de partículas, no qual correspondem a misturas com mais de uma fase em sua composição (misturas heterogêneas), e são o objetivo de análise deste estudo.

#### 2.1.1 Deformação e taxa de cisalhamento

Em linhas gerais a deformação nos fluidos é originada a partir da atuação de uma força externa/aplicada. A atuação desta força origina uma força de intensidade similar, porém com sentido contrário denominada força de cisalhamento ( $F$ ), que é resultado das forças internas de coesão entre as camadas de fluido e a força de fricção/atributo entre o fluido e as paredes das placas. A tensão de cisalhamento pode ser descrita como:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Onde:  $\tau$  = tensão de cisalhamento ( $\text{N/m}^2$ ; SI);  $F$  = força de cisalhamento ( $\text{N}$ ; SI);  $A$  = área cisalhante ( $\text{m}^2$ ; SI).

Para os fluidos que obedecem à equação determinada por Newton, a relação entre a tensão de cisalhamento ( $\tau$ ) e a taxa de cisalhamento ( $\gamma$ ) é estabelecida por meio de uma relação linear, em que a constante de proporcionalidade do fluido corresponde a sua viscosidade ( $\mu$ ), que por sua vez consiste na tendência de resistência ao escoamento em

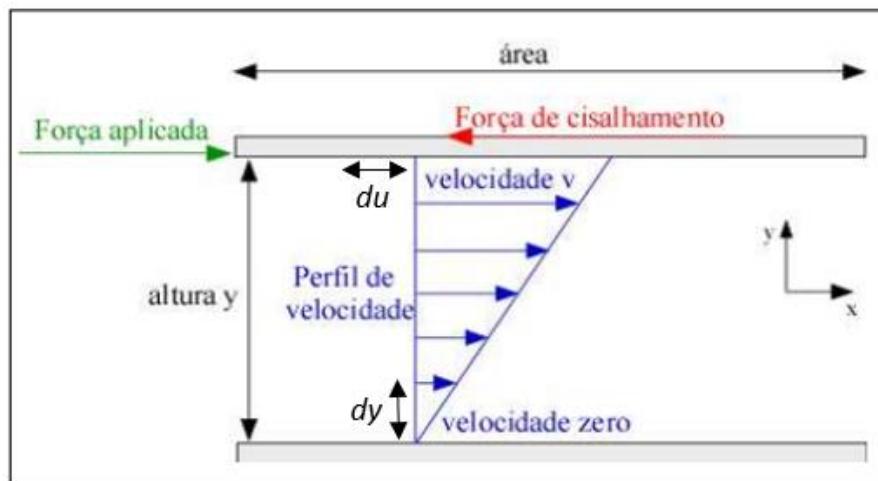
função do atrito interno entre suas moléculas provocado pela tensão de cisalhamento. Conforme apresentado pela equação abaixo:

$$\tau = F/A = \mu \frac{du}{dy} = \mu \gamma \quad (2)$$

Onde:  $\tau$ : tensão de cisalhamento, em Pa = N/m<sup>2</sup>;  $du/dy$ : gradiente de velocidade (taxa de cisalhamento);  $\gamma$ : taxa de cisalhamento, em s<sup>-1</sup>;  $\mu$ : viscosidade, em Pa.s.

Explanando melhor o abordado, a Figura 1 representa o Modelo de Newton para determinar a relação entre a taxa de deformação do fluido sob a ação de tensão aplicada.

Figura 1 - Modelo de Newton para determinar a relação entre a taxa de deformação do fluido, sob a ação de tensão aplicada



Fonte: Shiroma (2012)

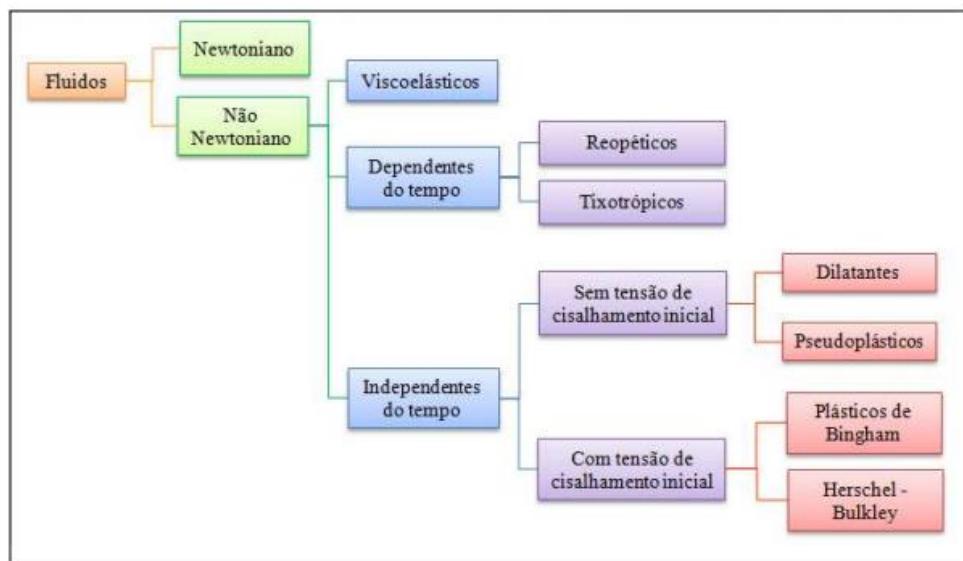
### 2.1.2 Tipos de comportamento reológico dos fluidos

Por meio da análise da relação entre a taxa de cisalhamento ( $\gamma$ ) e a tensão de cisalhamento ( $\tau$ ), os fluidos podem ser classificados em fluidos newtonianos para aqueles os quais seguem a Lei de Newton e os fluidos não newtonianos, em que a relação entre a taxa de deformação e a tensão cisalhante não é linear.

Nos fluidos não newtonianos, a relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação não é constante e podem ser classificados em viscoelásticos, dependentes e independentes do tempo, conforme pode ser observado na Figura 2.

a – Fluidos não Newtonianos independentes do tempo: Correspondem àqueles cujas propriedades reológicas independem do tempo de aplicação da tensão de cisalhamento. Podem ser divididos em duas classes em função da presença ou não de uma tensão de cisalhamento inicial mínima para propiciar o escoamento: fluidos não newtonianos sem tensão de cisalhamento inicial, em que se destacam os modelos Pseudoplásticos e Dilatantes, e os fluidos não newtonianos com tensão de cisalhamento inicial com os modelos de Bingham e Hershel-Bulkley.

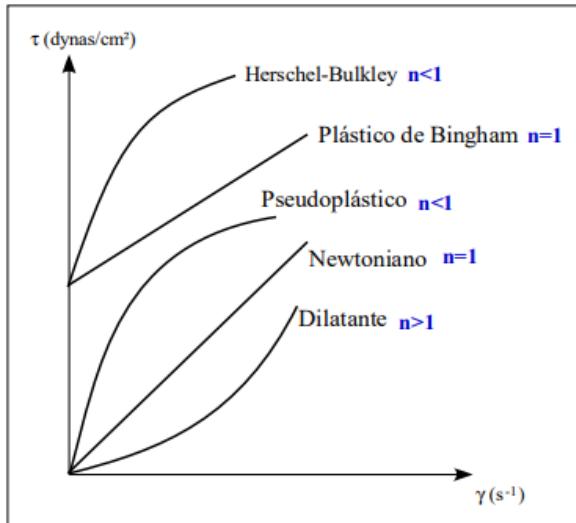
Figura 2 - Classificação dos fluidos em função de seu comportamento reológico



Fonte: baseado em Brodkey (1967)

A Figura 3, ilustra o comportamento reológico dos fluidos newtonianos e dos fluidos não newtonianos independentes do tempo.

Figura 3 - Curvas de escoamento dos fluidos newtonianos e não newtonianos independentes do tempo



Fonte: baseado em Skelland (1967)

b – Fluidos não Newtonianos dependentes do tempo: Estes fluidos apresentam propriedades que variam, além da tensão de cisalhamento, com o tempo de aplicação desta tensão, para uma velocidade de cisalhamento constante. Em geral estes fluidos podem ser divididos em dois tipos: Tixotrópicos ou Reopéticos.

c – Viscoelásticos: Correspondem aos fluidos que apresentam simultaneamente propriedades elásticas e viscósas quando sujeitos à deformação.

É válido salientar que existem diversos outros modelos reológicos para explicar o comportamento deformacional de fluidos não newtonianos quando submetidos a tensões externas, porém não é foco deste trabalho detalhar os modelos aqui citados ou relatar todos os modelos.

### 2.1.3 Diversidade e variáveis externas influentes nos fluidos

Conforme introduzimos um pouco em parágrafos anteriores, os fluidos correspondem a substâncias que podem deformar continuamente estando submetidos a uma força externa, pois não possuem estrutura cristalina, ou seja, apresentam capacidade de fluir ou escoar

quando submetidos a uma força. Tais substâncias, de modo geral, podem estar em dois estados físicos da matéria: fluidos líquidos e gases, contudo há um terceiro estado que pode ser considerado, os plasmas. Para os fluidos líquidos, estes ainda podem considerados como dispersões, que correspondem a misturas envolvendo um sólido (sóluto) diluído ou incorporado a um líquido (solvente), no qual pode ser classificado de três formas: soluções, dispersões coloidais e suspensões.

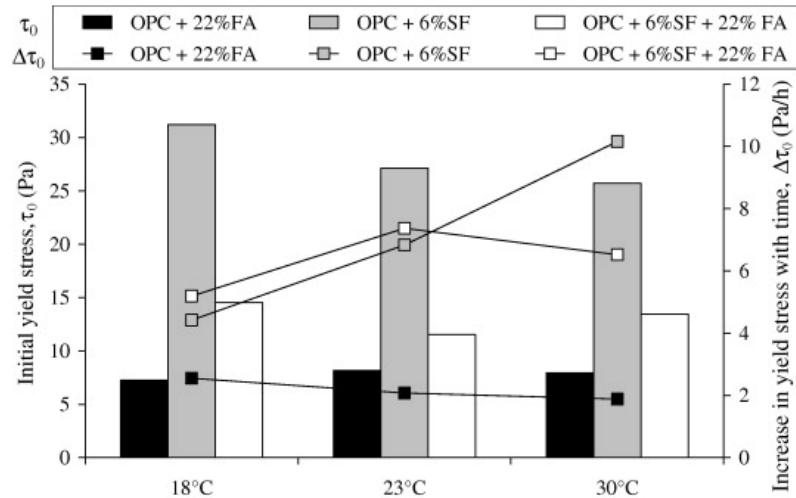
Seja uma substância um fluido em questão, compreender as características de qual tipo de fluido está sendo estudado é fundamental para a análise holística a cerca do objetivo em questão para que possa chegar as conclusões corretas, visto que seja um líquido, gás ou plasma a estrutura organizacional interna de suas moléculas e a interrelação entre elas interferirá diretamente no comportamento reológico da substância, pois, por exemplo, os fluidos gasosos de forma geral apresentam viscosidade inferior aos líquidos, uma vez que nestes as forças de interação entre suas partículas são maiores o que resulta em uma maior força de atrito entre suas camadas internas.

Não apenas o tipo de estado físico da matéria irá influenciar nas propriedades reológicas de determinado fluido, as forças de ligação entre as partículas, o tamanho das moléculas, o peso molecular correspondem a características internas que interferem, por exemplo, na viscosidade da substância.

Além do abordado, o tipo de fluido e suas variáveis internas intrínsecas influem no comportamento reológico, mas os fatores externos ou de contorno também interferem significativamente na reologia da substância, pois tais variáveis externas como, por exemplo, a temperatura, poderão alterar as características cinéticas e, até mesmo, estruturais das moléculas, resultando, portanto, em uma nova condição de organização estrutural.

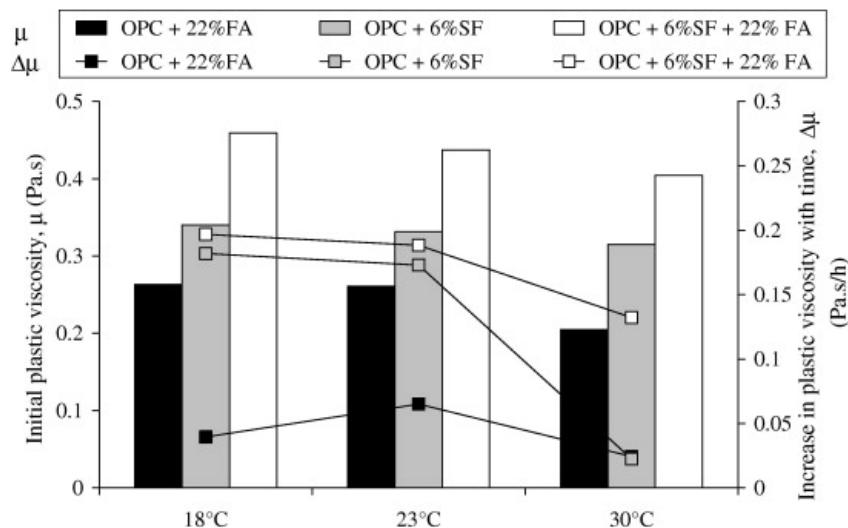
Retomando ao exemplo da variável da temperatura, seu efeito na maior parte dos fluidos líquidos é dado através de uma relação inversa à viscosidade, ou seja, quanto maior a temperatura da substância menor tenderá a ser a coesão entre suas moléculas, menor serão as forças de atrito internas. Como exemplo, nas argamassas, as quais são consideradas dispersões coloidais, e portanto um tipo de fluido líquido, Petit, Wirquin et Khayat (2010) verificaram que o aumento da temperatura tendia a uma diminuição na tensão de escoamento das misturas em análise conforme Figura 4, assim como uma diminuição na viscosidade conforme Figura 5.

Figura 4- Variação da tensão de escoamento inicial ( $\tau_0$ ) e aumento da tensão de escoamento com o tempo decorrido ( $\Delta\tau_0$ ) para as misturas testadas à 18–30 °C



Fonte: Petit, Wirquin et Khayat (2010)

Figura 5 - Viscosidade plástica inicial ( $\mu$ ) e aumento da viscosidade plástica com o tempo decorrido ( $\Delta\mu$ ) para as misturas testadas à 18–30 °C



Fonte: Petit, Wirquin et Khayat (2010)

Outros fatores condicionantes de entorno como pressão, umidade possivelmente exercem influência sobre o comportamento reológico dos fluidos em análise.

## 2.2 INTRODUÇÃO ÀS ARGAMASSAS

É inerente a todos os fluidos, sejam eles líquidos ou gasosos, apresentarem propriedades reológicas características e para cada um desses têm-se o modelo reológico que melhor representa o seu comportamento quando lhes são aplicadas tensões em sua estrutura. Sabe-se que alguns desses fluidos são constituídos por diferentes componentes e originados por uma gama de processos físico-químicos variável conforme o composto final, e, portanto, conforme veremos adiante, as argamassas estão incluídas neste grupo por serem formadas a partir de diferentes componentes líquidos e sólidos.

Nas argamassas as propriedades reológicas e o modelo reológico que melhor irá lhe explicá-las são diretamente influenciados pela composição, características e proporção dos materiais que lhe originam, logo nas argamassas essa relação não seria diferente. Portanto objetivando melhor compreender o que de fato são as argamassas, quais são suas propriedades no estado fresco, bem como quais materiais as compõe e como estes influenciam suas propriedades reológicas, no presente tópico será melhor explanado cada um dos aspectos levantados.

### **2.2.1 Argamassas – Definição e materiais componentes**

Como composto central objetivo deste trabalho, as argamassas serão apresentadas segundo sua definição base e os materiais mais comumente utilizados em sua confecção, bem como qual influência que cada um deste tem sobre o comportamento reológico das argamassas resultantes.

#### **2.2.1.1 Definição**

As argamassas correspondem a uma mistura homogênea de um ou mais aglomerantes (cimento, cal, gesso e outros), agregado miúdo (areia) e água. Podendo ainda ser adicionados alguns outros produtos (aditivos ou adições) com a finalidade de melhorar ou conferir determinadas propriedades ao conjunto.

#### **2.2.1.2 Materiais Componentes**

Conforme abordamos na introdução deste parágrafo, a composição e proporção dos materiais que compõem as argamassas interfere diretamente nas propriedades e comportamento reológico do composto final produzido. Diante desta conjuntura, a seguir, abordaremos a influência de cada tipo de material no comportamento reológico das argamassas originadas.

**Ligantes:** Por serem caracterizados pela alta finura de suas partículas, correspondendo a material passante na malha #200, estes materiais contribuem para resultar em argamassas com maior trabalhabilidade e maior retenção de água. Ademais, as argamassas resultantes provavelmente irão apresentar maior coesão e plasticidade.

**Água:** A quantidade de água utilizada nas argamassas interfere diretamente na reologia e características no estado fresco. Em suma, o aumento do teor de água nas argamassas resulta em: maior será sua trabalhabilidade, consistência, plasticidade, conteúdo de ar incorporado. Contudo, menor será sua massa específica e a aderência inicial

**Agregados:** Sabe-se que os agregados têm uma forte influência no comportamento das argamassas, em que há vários fatores, como por exemplo: sua origem, a dureza, forma dos grãos, granulometria, porosidade que afetam o comportamento e características das argamassas tanto no estado fresco quanto endurecido.

**Adições:** As adições são utilizadas nas argamassas no objetivo de aprimorar determinada propriedade física no estado fresco ou endurecido sobre o composto. No estado fresco, as adições, por serem particulados muito finos (materiais passantes na peneira #200) propiciam às argamassas um aumento em sua coesão, consistência e plasticidade.

**Aditivos:** Estes componentes são utilizados para propiciar melhor plasticidade à composição; diminuir a retração por secagem; aumentar o teor de ar incorporado, possibilitando o aumento da trabalhabilidade; diminuir a velocidade de hidratação do cimento, ocasionando maior tempo de utilização; aumentar a retenção de água e entre outras.

## 2.2.2 Propriedades das argamassas no estado fresco

As propriedades das argamassas no estado fresco são inerentes ao estudo da reologia das argamassas e seu comportamento como material homogêneo. Baseado em CINCOTTO *et.al* (1995) a seguir serão apresentadas as propriedades das argamassas no estado fresco.

- Consistência e retenção de consistência: Propriedade associada à resistência à deformação das argamassas quando submetidos a tensões aplicáveis. A manutenção de sua consistência com o tempo está relacionada à capacidade da argamassa em manter-se resistente à deformação em função do tempo de atuação do esforço.
- Coesão: Diz respeito a capacidade com que compostos heterogêneos apresentam de manter seus constituintes homogêneos, ou seja, sem que haja segregação.
- Tixotropia: Propriedade associada a variação da viscosidade de um fluido em função da condição de aplicação de tensões de agitação.
- Plasticidade: Propriedade na qual o fluido deforma-se ao sofrer aplicação de tensões atuantes e, posteriormente ao fim do esforço assume uma nova posição de equilíbrio.
- Retenção de água: Diz respeito a capacidade do composto de resistir a saída de água quando lhes são conferidas solicitações que provoquem perda de água.
- Massa específica: Corresponde à relação entre a massa dos particulados e componentes da argamassa dividido pelo seu volume do material sólido ou total (incluindo seus vazios).
- Conteúdo de ar incorporado: Propriedade relacionada ao teor de vazios nas argamassas, resultante de ar aprisionado/incorporado ou espaços vazios originados pós evaporação da água.
- Adesão inicial: Propriedade associada ao comportamento do conjunto base-revestimento quanto ao seu desempenho de aderência.
- Trabalhabilidade: Em termos práticos a trabalhabilidade consiste na facilidade do manuseio e movimentação das argamassas em seu estado fluido. A trabalhabilidade não se constitui como uma propriedade concreta e definitiva, visto que depende do julgamento subjetivo por parte de quem irá utilizar, bem como das características que se deseja ao material em sua aplicação.

Conforme apresentado em tópicos anteriores, o comportamento reológico das argamassas está relacionado, não somente, mas também pelos materiais e suas proporções que resultaram no composto final. Contudo, o conhecimento de como, não apenas dos materiais utilizados, mas da metodologia de confecção, ensaio e uso das argamassas foi desenvolvido e sendo aprimorado ao longo de décadas de experimentações que, por exemplo, verificaram que na maior parte dos estudos e trabalhos o comportamento reológico das argamassas era melhor representado pelo modelo de Bingham. Logo, apresentada a reologia dos fluidos de forma geral e somado ao tópico de argamassas aqui abordado, no próximo tópico será abordado a cronologia de estudo do comportamento reológico das argamassas, bem como quais modelos melhores representam estes materiais.

## 2.3 REOLOGIA DAS ARGAMASSAS

O estudo reológico das pastas e argamassas é fundamental para compreender o comportamento destes compostos quando seu sistema sofre perturbações externas de tal forma que possam interferir em sua estabilidade no estado fresco, e, portanto, alterar as condições de uso destes compostos, considerando também suas diversas aplicações. Para tanto compreendermos o processo cronológico de estudo do comportamento reológico das argamassas a partir de como ensaios e análises de suas propriedades eram influenciadas por variáveis em estudo é relevante e fomenta uma visão holística acerca do tema abordado. A partir da síntese cronológica construída sobre os estudos da reologia das argamassas verificaremos quais foram os modelos que melhor explicaram o comportamento destes materiais quando submetidos a esforços. Por fim, também será verificado como e quais as propriedades físicas regem as características reológicas destes compostos.

### 2.3.1 Síntese do estudo cronológico do comportamento reológico das argamassas

Desde o início com as primeiras pastas, e posteriormente, com a introdução de agregados para dar origem as argamassas, um dos principais objetivos de estudo destes compostos, senão o principal, correspondia em aprimorar suas propriedades físicas as utilidades e aplicações desejadas. Contudo em detrimento da relativa precariedade dos ensaios sobre estes

compostos, as análises e modificações eram realizadas de forma empírica e rudimentar, dificultando a evolução do compreendimento sobre estes materiais.

Porém com o avanço tecnológico e maior conhecimento sobre as pastas e argamassas, principalmente a partir do século XX, o compreendimento sobre as propriedades reológicas destes materiais foi e vêm sendo de grande relevância para o aprimoramento das aplicações e usos conforme necessidades construtivas da sociedade. Nos parágrafos a seguir serão apresentadas de forma sucinta um pouco da evolução das pastas e argamassas sobre as propriedades reológicas e suas características no estado fresco a partir dos trabalhos mais citados e com relevante consideração no ramo em análise.

No final do século XX, BANFILL (1990); BANFILL (1991) observou e analisou o comportamento reológico de argamassas frescas e verificou que a curva do fluxo do material sob ação de esforços de tensão cisalhante melhor se adaptava ao modelo de Bingham, ou seja, correspondem a fluidos não-newtonianos independentes do tempo e que necessitam de uma tensão inicial mínima para que ocorra o início da deformação. O compreendimento e associação ao modelo reológico que melhor representa determinada pasta ou argamassa é fundamental para verificar o comportamento destes materiais quando sujeitos à esforços cisalhantes e como irá interferir em seus estados frescos e endurecidos.

Na primeira década do século XXI, alguns autores voltaram-se para melhor compreensão e eficiência do uso de superplastificantes nas pastas e argamassas com o objetivo de modificar suas propriedades físico-químicas no estado fresco, e consequentemente inferir no comportamento reológico destes compostos. J. Gołaszewski and J. Szwabowski (2004) verificaram a influência de superplastificantes quimicamente não usuais nas propriedades reológicas de argamassas e concluíram que o comportamento reológico das argamassas teste variaram conforme a constituição química do superplastificante e reação com os grãos de cimento, assim como a temperatura da reação exotérmica de hidratação do cimento influencia as propriedades das argamassas com tais aditivos de tal forma que a viscosidade plástica diminuiu conforme aumento da temperatura. Já F. Winnefeld *et al.* (2007) verificaram que a estrutura molecular de superplastificantes interfere na reologia das argamassas de tal forma que um aumento na cadeia de polímeros destes aditivos proporciona um aumento na tensão cisalhante limite e viscosidade dos compostos. Além dos aditivos superplastificantes, outros tipos de aditivos foram melhor aprimorados e ganharam relevância no uso em pastas e argamassas, como o modificador de viscosidade, em que A. Leemann and F. Winnefeld (2007) estudaram o efeito da inserção de modificadores de viscosidade em argamassas e verificaram

que tais aditivos retardam o escoamento das argamassas, o que por consequência, resulta no aumento do tempo de escoamento, somando-se a este efeito o aumento na tensão de escoamento e na viscosidade plásticas dos compostos foi observada.

A utilização de polímeros como adições em pastas e argamassas foi cada vez mais sendo explorada, e um dos trabalhos com maior relevância no tema foi o de G. Barluenga and F. Hernández-Olivares (2004) que estudaram a reologia e comportamento mecânico de argamassas modificadas com a introdução de polímeros tipo látex SBR, e concluíram que o aumento do percentual de látex na argamassa significou uma redução da água necessária para obter a consistência desejada, assim como permitiu a redução nos tempos de pega das argamassas. Contudo, a inserção desse polímero resultou em um menor desempenho mecânico no estado endurecido, diminuindo a resistência a compreensão. Pode-se perceber que a utilização de polímeros pode aumentar a eficiência das pastas e argamassas por propiciar alterações em suas propriedades reológicas possibilitando otimizar a composição e custos finais dos compostos.

A introdução de ligantes ativados, como a escória ativada foi sendo vez mais utilizada com o objetivo de possibilitar diminuir os custos de produção do produto final, seja a pasta, argamassa ou concreto, a partir da inserção de materiais de reutilização, além de contribuir para maior sustentabilidade no ramo da construção civil. Contudo no caso em específico dos compostos formados a partir da escória de alto forno, alguns desafios puderam ser observados para sua utilização como ligante, sendo os principais: o custo e disponibilidade do ativador básico necessário para desencadear as reações químicas, bem como a instabilidade do sistema como um todo associado ao rápido enrijecimento e curtíssimo tempo de pega. Corroborando com os fatos apresentados, Puertas et al (2014) verificaram que o tempo de pega e endurecimento das pastas com álcalis ativados foram muito menores do que aqueles observados nas pastas de cimento, evidenciando o rápido enrijecimento e sendo um empecilho para uso e aplicação destes materiais, assim como concluíram que o comportamento reológico das pastas dependia da natureza química do ativador, em que alguns ativadores propiciaram um tempo de pega maior e melhores condições de plasticidade e consistência final. No intuito de consolidar novas possibilidades de materiais como álcalis ativadores M. Torres-Carrasco et al (2015) verificaram o comportamento reológico de cimentos de escória ativados por álcalis usando resíduos de vidro e concluíram que os álcalis de vidro se mostraram como boa alternativa frente aos ativadores tradicionais, assim como as pastas apresentaram fluidez razoável, bons parâmetros de tensão de cisalhamento e viscosidade plástica.

Em função dos avanços tecnológicos em diversos setores somados a necessidade constante de otimização de custos, aumento da eficiência e agilidade construtiva, a introdução dos produtos impressos tornou-se cada vez mais tema de estudo e aprimorado como novo modelo construtivo do setor da construção civil. A tecnologia 3D impressa foi proposta primeiramente por Joseph Pegna em 1997, e posteriormente desenvolvida por Khoshnevis em 2003 com o intuito de construir objetos 3D de grande escala com geometria complexa. Alguns trabalhos detalham as dificuldades e virtudes desse novo modelo construtivo, como B.Panda, M. Jean Tan et al (2019). Eles verificaram que um dos principais desafios na produção de uma mistura imprimível é o desenho de um material tixotrópico que possa ser facilmente extrudável durante o processo de impressão, mantendo sua forma original após a deposição. Contudo, com a introdução de nanosílica nas misturas foi observado uma melhora na tixotropia do composto minimizando o efeito negativo das impressões 3D. Panda et al (2019) apresentaram o comportamento reológico de misturas 3D com alto volume de cinza volante, o que indicou uma melhora na tensão de escoamento contribuindo para uma melhor capacidade construtiva. Zhan et al (2019) avaliaram a fluidez, as propriedades reológicas (viscosidade, tensão de escoamento, tixotropia) e o tempo de pega como propriedades críticas para controlar o bombeamento, extrudabilidade e construtibilidade dos compostos analisados. Além dos aspectos levantados nos trabalhos apresentados o modelo construtivo de impressão 3D de materiais cimentícios propiciam maior eficiência na utilização de recursos, menores custos, diminuição de resíduos, redução da mão de obra e modelo mais sustentável, contudo alguns aspectos no estado fresco ainda precisam ser aprimorados para sua inserção no ramo da construção civil ser consolidado.

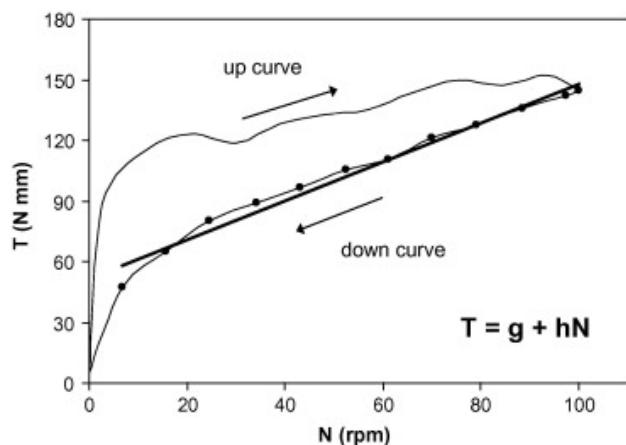
Conforme brevemente apresentado, a evolução dos estudos sobre as propriedades reológicas das pastas e argamassas possibilitou a otimização de propriedades reológicas no estado fresco, como: coesão, consistência, plasticidade, viscosidade e outras, que possibilitaram a aplicação e uso destes compostos de forma mais eficiente. Como exemplo, a redução de custos e com objetivo de solucionar ou melhorar problemáticas apresentadas no âmbito da construção civil, a exemplo da introdução de uma nova construtiva, as impressões 3D, no qual ainda precisam ser aprimoradas, contudo já podem ser notadas algumas vantagens frente a produção e uso tradicional.

### **2.3.2 Modelos de comportamento reológico da Argamassas**

O modelo reológico de um fluido corresponde ao comportamento do escoamento do composto conforme lhes são aplicadas tensões de cisalhamento, em que o modelo de arranjo das partículas e fricção interna são determinantes no comportamento do fluido. Nas argamassas, o arranjo de suas partículas e suas características internas podem variar conforme os materiais que lhes formam e suas proporções, portanto, este fluido pode apresentar mais de um modelo reológico que melhor lhe represente em virtude da pluralidade de materiais e composições.

Na literatura referência, alguns autores, a partir de seus ensaios e análises, buscaram definir qual modelo reológico melhor explicava o comportamento reológico obtido. TATTERSALL (1973) realizou ensaios nos quais denominou de “teste de dois pontos”, em que apresentavam o intuito de determinar o comportamento reológico das misturas de concreto em estudo. Os resultados coletados justificaram a conformidade do comportamento das misturas em análise com o modelo de Bingham. Mais recentemente, SENFF et. al (2009) introduziu nano sílica em pastas e argamassas de cimento com o objetivo de avaliar o efeito dessa adição no comportamento reológico desses compostos. Realizando o ensaio do “*flow table*” e utilizando o reômetro, eles verificaram que o comportamento reológico daquelas misturas foi representado pela equação de Bingham. A Figura 6 representa o modelo de Bingham aplicado aos ensaios das argamassas em análise, em que neste caso o modelo é dado por ( $T = g + hN$ ), onde  $g$  e  $h$  são diretamente proporcionais à tensão de escoamento e viscosidade plástica, respectivamente.

Figura 6 – Modelo de Bingham aplicado à reologia das argamassas com nanosílica



Fonte: SENFF et. al (2009)

Corroborando com a hipótese do comportamento reológico das argamassas ser mais bem representado no modelo de Bingham, WINNIFIELD et. al (2007), cujo trabalho apresenta como objetivo a verificação dos efeitos da conjuntura molecular de aditivos superplastificantes sobre seu desempenho em compostos cimentícios, obtiveram os resultados para as tensões de escoamento aparente e viscosidade plástica através da avaliação do modelo de Bingham.

Pode-se perceber que, objetivando a identificação do comportamento reológico das argamassas por meio da melhor associação e representação da variação da tensão de cisalhamento em correlação à taxa de deformação, vinculando a um modelo de comportamento do fluido, os estudos produzidos e a literatura apresentada convergem quanto à similaridade do comportamento das argamassas ao modelo de Bingham – Fluido Não-Newtoniano independente do tempo e com tensão de cisalhamento inicial. BANFILL e SAUNDERS (1981) afirmam que, para verificação de qual modelo reológico melhor representa determinado fluido dois parâmetros são requeridos nas propriedades de fluxo de argamassas: o limite de escoamento e viscosidade plástica. Estes por sua vez são afetados diretamente pela origem dos insumos, como cimento, areia, água e aditivos adicionados na mistura.

Contudo, apesar destes estudos indicarem uma similaridade da reologia das argamassas ao modelo de Bingham, ressalta-se que as argamassas também podem apresentar comportamento que varia desde um fluido Newtoniano viscoso até um sólido pseudoplástico conforme afirmam CINCOTTO e RAGO (1995).

### **2.3.3 Propriedades físicas que regem as características reológicas das argamassas**

Na análise de determinado fluido é imprescindível a compreensão dos fenômenos físicos que estão associados às propriedades reológicas e qual a magnitude de correlação entre tais fenômenos e o comportamento reológico do fluido, visto que pequenas variações sobre suas propriedades podem tender a alterar o comportamento e o modelo reológico.

Nas pastas e argamassas não é diferente, por possuírem propriedade físicas complexas faz-se necessário o estudo sobre estas propriedades e como estas estão correlacionadas com o respectivo comportamento reológico. Logo, segundo BOMBLED (1967) ao se estudar as

características reológicas desses materiais, devem ser considerados três propriedades físicas ou aspectos principais: coesão, viscosidade e atrito interno.

### **a) Coesão**

A coesão pode ser associada a união/aglutinação entre as partículas da pasta aglomerante com os agregados ou partículas sólidas presentes na argamassa, tendo em vista a caracterização como uma suspensão das argamassas, ou seja, corresponde a um composto que apresenta uma ou mais fases. Esta propriedade está diretamente correlacionada com os constituintes mais finos, em que quanto maior o teor de finos em sua composição maior tenderá a ser o nível de aglutinação do composto, ou seja, maior a coesão.

Segundo BOMBLED (1967) a coesão pode ser alterada variando-se a superfície específica dos sólidos e a quantidade de água presente na mistura. Além destes dois fatores, sabe-se que inseridos compostos adicionais como aditivos e adições pode-se também modificar a coesão do produto final.

### **b) Viscosidade**

Segundo COSTA et al. (2006) a viscosidade pode ser definida como a tendência do fluido em resistir ao escoamento em função da fricção interna provocada pela tensão de cisalhamento. Nas argamassas a viscosidade está vinculada, principalmente, a sua pasta, em que o teor de água e superfície específica são determinantes no grau de viscosidade. Além da pasta, os agregados também exercem influência nesta propriedade, principalmente quando associado à sua origem mineralógica, dimensão e forma.

A relação entre viscosidade e consistência é direta: quanto maior a viscosidade do material, maior será sua consistência.

Observa-se esta mesma relação com a coesão das argamassas, quanto menor forem as forças físicas de atração entre a pasta aglomerante e os particulados sólidos, menor será a resistência ao deslocamento do composto e mais facilmente conseguirá escoar.

### **c) Atrito interno**

O atrito interno corresponde às características friccionais entre as partículas do material. Ao contrário da coesão, o atrito interno está relacionado principalmente aos grãos mais grossos, e as características desse agregado como: disposição na mistura, forma, estado da superfície (lisa ou rugosa), e principalmente, dimensão do grão influem consideravelmente no atrito interno das partículas do composto. Além das características dos grãos mais grossos, também interferem nesta propriedade o volume de pasta e a quantidade de água presente.

BOMBLED (1967) menciona a coesão e o atrito interno como determinantes para o limite de escoamento, no qual representa a resistência ao cisalhamento. Contudo como as argamassas são compostas basicamente por particulados sólidos de pequena dimensão, o limite de escoamento é influenciado bem mais significativamente pela coesão que pelo atrito interno.

Estas três propriedades apresentadas acima influem diretamente em características reológicas das pastas, argamassas e concretos, bem como em outras propriedades no estado fresco desses materiais, vale-se ressaltar que outras propriedades físicas também interferem no comportamento reológico desses fluidos, contudo, conforme abordado e verificado na literatura estes correspondem aos principais.

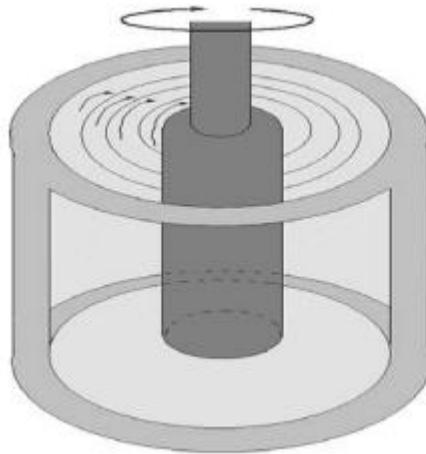
### **2.3.4 Ensaios para verificação das propriedades reológicas das argamassas**

Objetivando-se mensurar as propriedades relacionadas à reologia das argamassas há uma diversidade de métodos que podem ser utilizados para tal finalidade, nos quais irão determinar, por exemplo, a tensão de escoamento ou limite de escoamento; viscosidade plástica; consistência; velocidade do grau de deformação e dentre outras propriedades associadas ao estudo da reologia das argamassas. Dentre os tipos de ensaios existentes iremos destacar os reômetros e viscosímetros por serem os mais utilizados na comunidade acadêmica como um todo.

**Reômetro rotacional:** Por meio deste método pode-se determinar o torque de escoamento, nível de torque e na viscosidade plástica da amostra em análise. Para determinar a viscosidade plástica e tensão de escoamento utiliza-se dois princípios básicos de funcionamento: 1) aplicação do torque ao fluido ou suspensão e medida do cisalhamento resultante ou 2) o cisalhamento aplicado é controlado sendo avaliado o torque necessário para

tal (PILEGGI, 2001). Aplicando-se este torque a níveis constantes têm-se como resultado a resistência do material ao escoamento, em que é possível associar a tensão de cisalhamento e correlacionar com a viscosidade do composto.

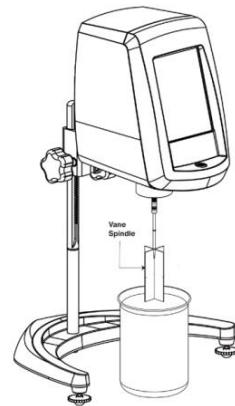
Figura 7 – Reômetro rotacional com geometria do tipo cilíndrico concêntrico ou coaxial



Fonte: Nascimento (2007)

**Reômetro de palhetas (Vane Spindle):** Ensaio utilizado para mensurar o limite de escoamento e viscosidade plástica. O método consiste na introdução da palheta no material em análise, seguindo da rotação lenta da palheta, por meio de uma mola calibrada (Figura 8) de acordo com uma velocidade angular predeterminada. À medida que há a rotação da palheta, ocorre a deflexão da mola, na qual pode-se analisar a resistência ao movimento do fluido. O início do escoamento é caracterizado quando o torque atinge seu máximo valor, e consequentemente, causa o cisalhamento do material ao entorno da palhet.

Figura 8 – Reômetro com o conjunto de palhetas em formato de cruz (Vane spindle)



Fonte: AMETEK Brookfield

Viscosímetro – Basicamente corresponde ao equipamento utilizado para aferição da viscosidade dos fluidos. Dentre os tipos de viscosímetros existentes podemos citar o viscosímetro de orifício, capilar, pistão, vibracionais e rotacional, em que a determinação sobre qual tipo de viscosímetro será o mais apropriado ao uso dependerá de alguns fatores como: faixa de viscosidade, precisão, volume da amostra, controle de parâmetros externos (ex: temperatura) e dentre outros.

Figura 9 – Exemplos de viscosímetros, o primeiro consiste em um viscosímetro de orifício e o segundo em um rotacional



Fonte: Blog SP Labor – Acesso 23/04/2022

Ambos os equipamentos, o reômetro e viscosímetro, tem como objetivo a aferição de parâmetros reológicos similares, contudo há algumas diferenças entre ambas as classes que são relevantes na determinação de qual equipamento seja o mais adequado para certas características do fluido e das condições em análise. Baseado em Marsh (2020), um viscosímetro pode ser uma solução em fluidos, processo ou produção que requerem análise de escoamento mais simples, como, por exemplo, relacionados a fluidos newtonianos, contudo em ensaios ou processos que exijam uma condição de maior complexidade na análise do escoamento do fluido a classe dos reômetros oferece uma caracterização muito mais ampla dos fenômenos de fluxo, deformação e viscosidade de um material, seja ele newtoniano ou não newtoniano, em contrapartida os viscosímetros geralmente proporcionam maior mobilidade para testes e são menos dispendiosos. Ou seja, em resumo, os viscosímetros podem ser mais indicados em testes com fluidos e processos mais simples, enquanto os

reômetros permitem uma maior gama de possibilidades nos ensaios, contudo são mais dispendiosos e apresentam menor mobilidade se comparado aos viscosímetros.

Além dos ensaios citados acima, há diversos outros utilizados para mensurar as propriedades reológicas das argamassas, a exemplo o *Squeeze Flow* (também denominado escoamento por compressão axial) que consiste em medir o esforço necessário para comprimir uma célula de carga cilíndrica no fluido em análise localizado sob um molde de placas, e a partir disso determinar o limite de escoamento do fluido. O *Flow table* (mesa de consistência) é utilizada para aferir a consistência de pastas e argamassas em seu estado fresco conforme detalhamento da NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Outros ensaios que podem ser destacados correspondem ao “*Slump test*” (“ensaio de abatimento ou tronco de cone”) e “*Slump flow*” (“ensaio de espalhamento”) em que o primeiro tem por objetivo avaliar a consistência do composto analisado, enquanto o segundo apresenta o intuito de avaliar principalmente a coesão, exsudação e segregação, assim como verificar a condição de plasticidade do material.

## 2.4 A METODOLOGIA METANÁLISE APLICADA À REVISÃO SISTEMÁTICA COM USO DO VOSVIEWER

Objetivando estudar a metodologia metanálise aplicado à revisão sistemática, e o software VOSviewer, este tópico decorrerá sobre a importância dessa metologia na realização de estudos síntese sobre determinados temas, somado a utilização do VOSviewer em estudos de revisão sistemática.

### 2.4.1 Importância da revisão sistemática e a utilização da metodologia metanálise

Conhecer e analisar estudos já realizados sobre determinado tema é fundamental para que se possa visualizar as metodologias adotadas, desafios encontrados, resultados apresentados, conclusões elaboradas e entre outros aspectos que compõem a elaboração de um estudo. Pois, uma revisão sistemática fornece ao autor informações relevantes para elaboração de seu estudo, bem como melhor condiciona sua análise crítica acerca de experiências com

êxito, aquelas que não atingiram o resultado desejado e possíveis contradições entre resultados de estudos diferentes quando adotados métricas e premissas similares. Em resumo, a referência literária-científica sobre trabalhos anteriores associados ao tema que se pretende discorrer é imprescindível para o desenvolvimento de um bom trabalho.

Mediante a importância da leitura e análise de estudos anteriores na elaboração de um novo trabalho, a revisão da literatura apresenta-se como um importante processo de busca, análise e seleção de estudos associados a um tema em questão no objetivo de conseguir uma resposta específica ou de atingir quaisquer outros propósitos.

Ao se realizar uma revisão da literatura deve-se determinar o método a ser adotado, variando entre: revisão narrativa, sistemática ou integral, em que o método de escolha será definido pelo autor do estudo em concordância com as características de seleção e análise do seu trabalho. Atualmente, a revisão sistemática corresponde a mais utilizada dentre os métodos possíveis, pois apresenta um elevado rigor de critérios e análise metodológica que contribuem para um melhor resultado sobre a revisão literária em questão.

Na realização de uma revisão sistemática algumas estruturas e metodologias são adotadas, como por exemplo a metanálise, que consiste em uma metodologia estatística que analisa os dados e informações, em que objetiva integrar e resumir características, dados, resultados e dentre outras informações presentes nos documentos selecionados como *inputs* da análise. A metanálise contribui para propiciar um melhor tratamento aos dados e informações dos estudos selecionados e, com isso, fornece melhores condições para uma análise concisa e coerente acerca do tema.

Sabe-se que a metodologia da metanálise é amplamente utilizada em diversas áreas do conhecimento científico-tecnológico, em que por propiciar maior confiança nos resultados apresentados, possibilita uma melhor análise do tema em estudo e, com isso, contribui e vem contribuindo para uma importante evolução destes domínios, sendo amplamente utilizada, por exemplo, na área da saúde.

Explanando brevemente sobre a metodologia da metanálise e sua aplicação na revisão sistemática da literatura, o presente trabalho consiste na realização de uma revisão sistemática do tema: reologia das argamassas, em que a metodologia adotada será constituída por três etapas. Em resumo, são: Análise quantitativa através da seleção de trabalhos por meio de filtros de busca na base Web of Science, sobre os estudos filtrados será aplicada uma seleção

manual e escolhidos aqueles que tiverem correlação com o tema. Aplicação da metodologia da metanálise utilizando a ferramenta do software VOSviewer. Por fim a análise quantitativa será dividida em duas partes, a primeira com a subdivisão em áreas sobre os trabalhos filtrados para posterior explanação de características, associações e correlações entre eles.

Na segunda parte, serão desenvolvidos os mapas de interligação e correlação criados pelos VOSviewer de acordo com a unidade de análise selecionada.

#### **2.4.2 VOSviewer aplicado à revisão sistemática**

O VOSviewer corresponde a uma ferramenta de *software* utilizada para criar mapas baseados em dados de rede inseridos, possibilitando originar redes bibliométricas. Para finalidade e uso no presente trabalho foi realizado o *dowloand* da versão gratuita do *software* (Download VOSviewer 1.6.18 for Microsoft Windows systems) através de seu site oficial. Baseado no VOSviewer Manual (2020), de forma geral as funcionalidades do VOSviewer pode ser resumidas em:

- Criação de mapas com base em dados de rede: Um determinado mapa pode ser originado com base em uma rede que já está disponível, como também é possível construir primeiro uma rede com base nos dados de rede para posteriormente formação do mapa.

O VOSviewer pode ser usado para construir, por exemplo, redes de publicações científicas, veículos de publicação, pesquisadores, instituições de pesquisa, organizações de pesquisa, países, palavras-chave ou termos. Quanto aos itens presentes nestas redes, estes podem ser conectados por coautoria, coocorrência, citação, acoplamento bibliográfico ou links de cocitação, bem como para extrair os trabalhos necessários para a construção da rede, são utilizados arquivos de bancos de dados bibliográficos, em que neste estudo foi empregado o Web of Science como único banco de dados, contudo há outros como: Scopus, Dimensions, entre outros.

- Visualização e exploração de mapas: Há três tipos de visualizações: A visualização de rede, de sobreposição e densidade, em que cada uma permite uma perspectiva

diferente dos mapas gerados e com isso análises diferentes sobre a mesma base de dados.

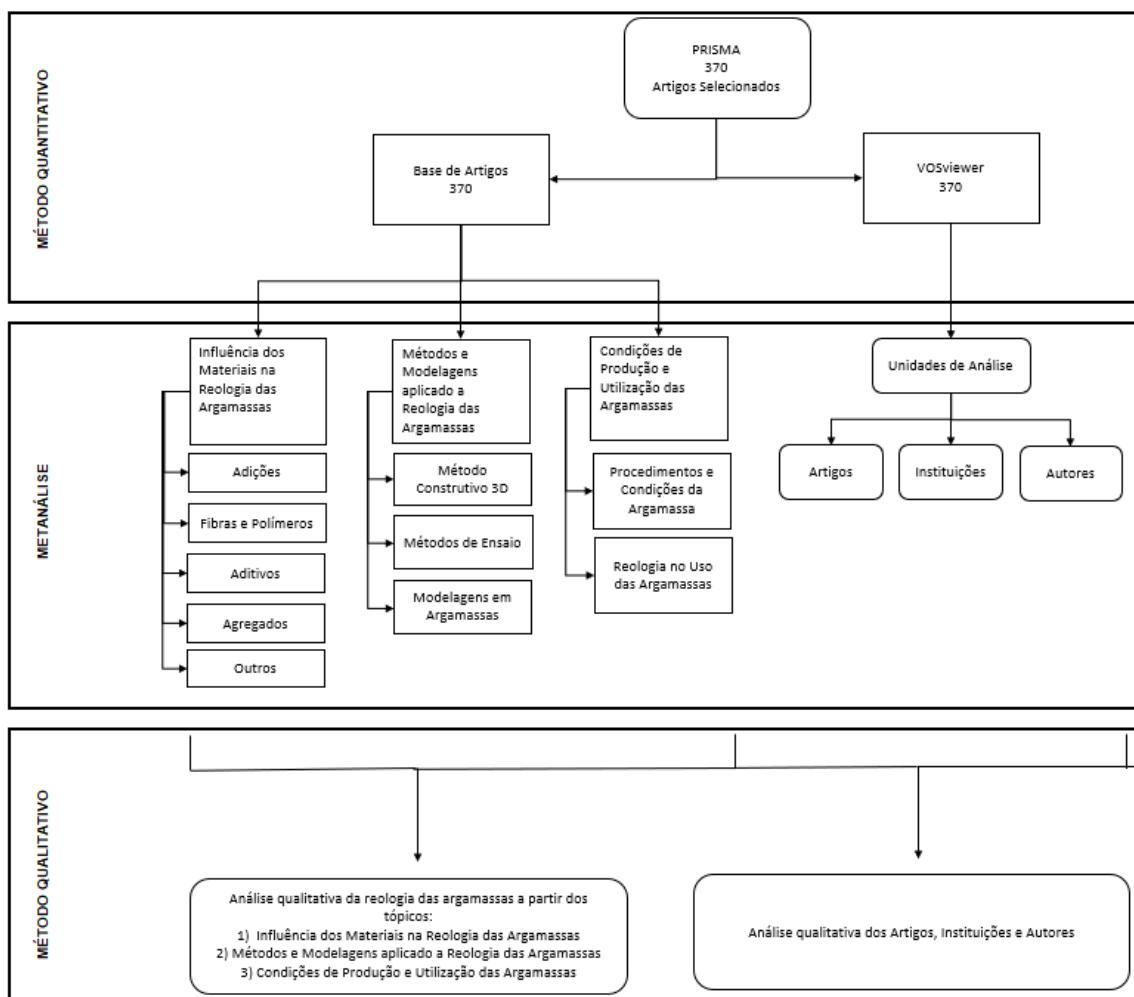
- Mineração de Texto: Esta funcionalidade é útil para construção e visualização de coocorrência de termos importantes extraídos de um exemplar de literatura científica.

Diante das funcionalidades apresentadas pode-se perceber a utilidade da ferramenta VOSviewer na realização de uma revisão sistemática sobre determinado tema abordado, possibilitando a originação de uma rede interligada e integrada com a base de dados inserida. Revisões sistemáticas estão cada vez mais sendo desenvolvidos pela comunidade acadêmica, pois possibilitam, de forma concisa e coerente, sintetizar e interligar diversos estudos sobre determinado tema proposto, e com isso corroboram para o maior conhecimento e consolidação do tema.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho consiste em uma revisão da literatura na área de materiais da construção civil correspondente à reologia das argamassas. A metodologia adotada foi conduzida em três fases conforme apresentado na Figura 10 a primeira como sendo uma análise quantitativa que corresponde a identificação, triagem e seleção dos artigos presentes na base de dados adotada, a Web of Science; em sequência uma etapa de metanálise em que os artigos selecionados serão agrupados para análise biométrica manual dos conjuntos definidos e outra análise utilizando o VOSviewer, e a etapa de análise qualitativa onde apresenta duas análises diferentes, a primeira resultante a partir da divisão dos periódicos em três grupos: “influência de materiais na reologia das argamassas”, “métodos e modelagens aplicado à reologia das argamassas” e “condições de produção e utilização das argamassas”, e a segunda análise realizada a partir das redes integradas geradas pelo VOSviewer.

Figura 10 – Fluxograma das metodologias do presente estudo



Fonte: adaptado de Adolpho (2020).

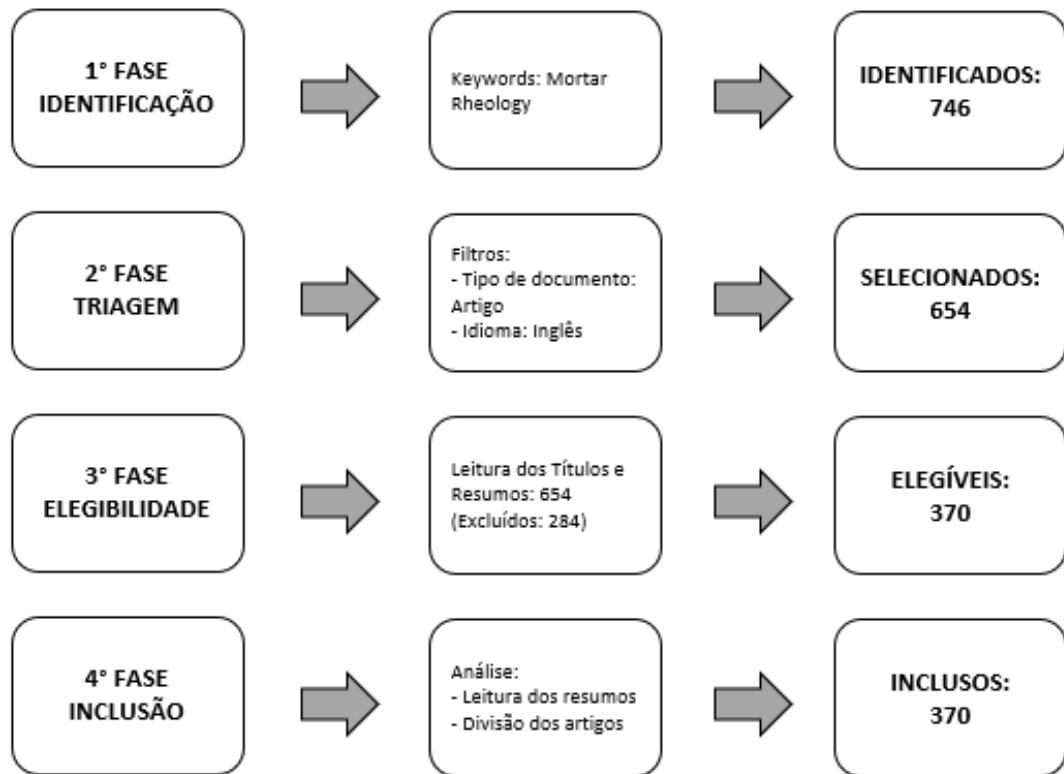
A utilização da metodologia mista, ou seja, integrando etapas de análise quantitativa e qualitativa, em revisões biométricas é significativa para ampliar meios distintos de avaliação sobre os trabalhos selecionados. Pois, por possuírem técnicas diferentes de análise, podem propiciar complementaridade e resultar estruturas de saída (*outputs*) mais consolidados e robustos se comparado a adoção de análise individual dos tipos que a compõem. Referenciando as virtudes da metodologia mista, Gough (2015) afirma que a integração de diferentes formas de pesquisa permite múltiplos níveis e perspectivas, além de integrar o desenvolvimento de teorias a avaliações.

Diante do exposto e conforme a pluralidade de variáveis que interferem na reologia das argamassas somado às virtudes da adoção de análises distintas e integradas, foi utilizada a metodologia mista para realizar a revisão sistemática aplicada à reologia das argamassas.

### 3.1 METODOLOGIA QUANTITATIVA

A metodologia quantitativa consiste na identificação, filtragem e seleção dos artigos que estejam condizentes ao estudo da reologia das argamassas para composição da base de artigos que será utilizada na etapa de metanálise e metodologia qualitativa. Para tanto os artigos foram extraídos a partir da base de dados Web of Science compreendendo o período entre 1945 até 2021. Para o primeiro critério de filtragem foram definidas as palavras-chave como: a reologia das argamassas (“mortar rheology”) resultando em 746 trabalhos identificados, em que o primeiro artigo foi publicado em 1990. Baseando-se na metodologia apresentada para revisões sistemáticas em Moher et. al (2010) filtrou-se os artigos selecionados neste trabalho a partir da metodologia Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA). As atividades realizadas em cada uma das etapas da metodologia quantitativa podem ser observadas na Figura 11.

Figura 11 – Fluxograma de processos da metodologia quantitativa



Fonte: Adaptado de Adolpho (2020).

Utilizando a metodologia PRISMA o processo de extração de artigos é realizado em quatro etapas: 1<sup>a</sup>) Identificação; 2<sup>a</sup> Triagem; 3<sup>a</sup> Elegibilidade e 4<sup>a</sup> Inclusão. Na fase de identificação foi inserido o primeiro filtro na base de dados Web of Science utilizando as palavras-chaves “mortar rheology”, no qual resultou em 746 trabalhos, relembrando que foram excluídos os periódicos publicados no ano de 2022. Todos os trabalhos identificados nesta etapa foram avaliados para a segunda etapa da metodologia quantitativa. Na segunda etapa, a triagem foi realizada sobre os trabalhos identificados a partir da inserção de novos filtros: o tipo de documento, considerando apenas artigos e apenas trabalhos publicados no idioma inglês, o que correspondeu a um total de 654 trabalhos selecionados. Na etapa de elegibilidade os artigos selecionados da etapa anterior foram analisados a partir do título e resumo do trabalho com o objetivo de verificar se estes apresentam relação com o tema proposto de estudo sobre a reologia das argamassas. Ao final do processo de análise, 370 artigos foram elegíveis para a última fase a inclusão. Todos estes artigos foram incluídos para a base a ser utilizada nas próximas fases de metanálise e análise qualitativa.

### 3.2 METANÁLISE

Consolidada a base de artigos, contendo 370 unidades, a etapa de metanálise irá utilizar esta base a partir de uma tabela adaptada gerada diretamente do Web of Science contendo informações que incluem título, autores, periódicos e ano de publicação. Os artigos inclusos foram distribuídos em três grupos:

O primeiro grupo “influência dos materiais na reologia das argamassas” corresponde aos artigos que tiveram como objetivo principal analisar como os materiais componentes influenciavam nas propriedades reológicas das argamassas em estudo. Este grupo foi dividido em alguns subgrupos com intuito de diferenciar os materiais por classificação e função exercida em uma pasta ou argamassa, são eles: adições, fibras e polímeros, aditivos, agregados e outros, em que para este último foram inseridos todos aqueles que não se encaixavam em nenhum dos demais subgrupos ou tinham como intuito principal avaliar dois ou mais destes subgrupos, ou seja, uma análise conjunta de diferentes grupos, logo não sendo possível atribuir a um grupo em específico.

No segundo grupo “métodos e modelagens para estudo da reologia das argamassas” estão inseridos os trabalhos que apresentam como objetivo o uso de métodos construtivos, métodos de ensaio ou modelos que estejam relacionados ao estudo das argamassas. Este conjunto é formado por três grupos: 1) “metodologia construtiva em 3D”, que correspondem aos trabalhos com intuito principal de avaliar o comportamento reológico das argamassas utilizando este método construtivo; 2) “métodos de ensaio” que integram aqueles artigos, cujo objetivo principal consiste em identificar e caracterizar a reologia de pastas e argamassas a partir da realização de ensaios; 3) “modelagens em argamassas” correspondem aos artigos que tratam sobre a elaboração de modelos teóricos e experimentais para avaliar propriedades reológicas das argamassas.

Por fim no último e terceiro grupo “condições de produção e uso das argamassas” que correspondem a todos aqueles artigos cujo intuito principal consiste em avaliar como as condições de preparo e processos de confecção da argamassa interferem em seu comportamento reológico ou como a reologia destes compostos influenciam no seu uso e aplicação.

Os 370 artigos selecionados foram inseridos como base de dados a ser analisada pelo *software* VOSviewer para criar um mapa em rede interligando os artigos mais relevantes e,

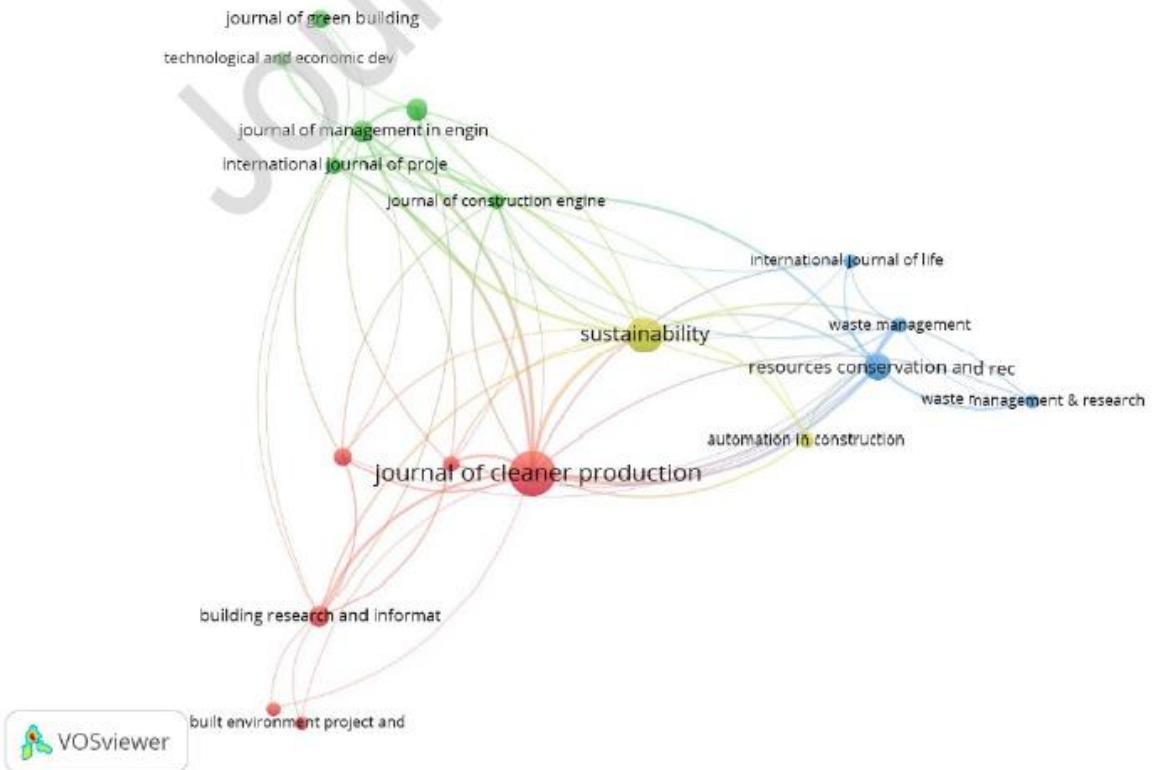
conforme a estrutura de unidade selecionada, cujos os trabalhos são representados por círculos e as linhas representam a integrações existentes. Os mapas criados permitem identificar os trabalhos mais importantes de acordo com a unidade de análise selecionada, em que no presente trabalho, serão adotadas duas unidades: periódico e autor, que mais contribuíram com trabalhos sobre o tema de reologia das argamassas.

O *software* VOSviewer é utilizado como ferramenta técnica estatística para criar mapas de correlação a partir de uma base de dados inserida, em que o tamanho do círculo representa a relevância do dado na conjuntura total, ou seja, quanto maior seu tamanho maior será a importância e influência para com os artigos selecionados, e a cor do círculo determina a qual cluster (grupo) está vinculado, visto que no mapa há clusters correspondentes ao grupo de termos com grande correlação. As linhas representam a ligação entre termos e quanto maior a quantidade de linhas que determinado círculo tem, maior a influência e integração sobre este dado no mapa de rede, a distância entre os círculos representa a força de relação entre atributos analisados.

Exemplificando a utilização do VOSviewer e apresentando o trabalho que serviu de base metodológica para o presente estudo, ARAUJO, A.G (2020) realizou uma revisão sistemática da literatura com metanálise para investigar estudos sobre as metodologias de sustentabilidade na construção, em que foram originados mapas de rede integrada em função de duas unidades de análise: os periódicos e instituições.

1) Resultado da unidade de análise de referência: Periódicos

Figura 12 - Mapa em rede integrada dos periódicos mais citados – Adolpfo, A.G (2020)

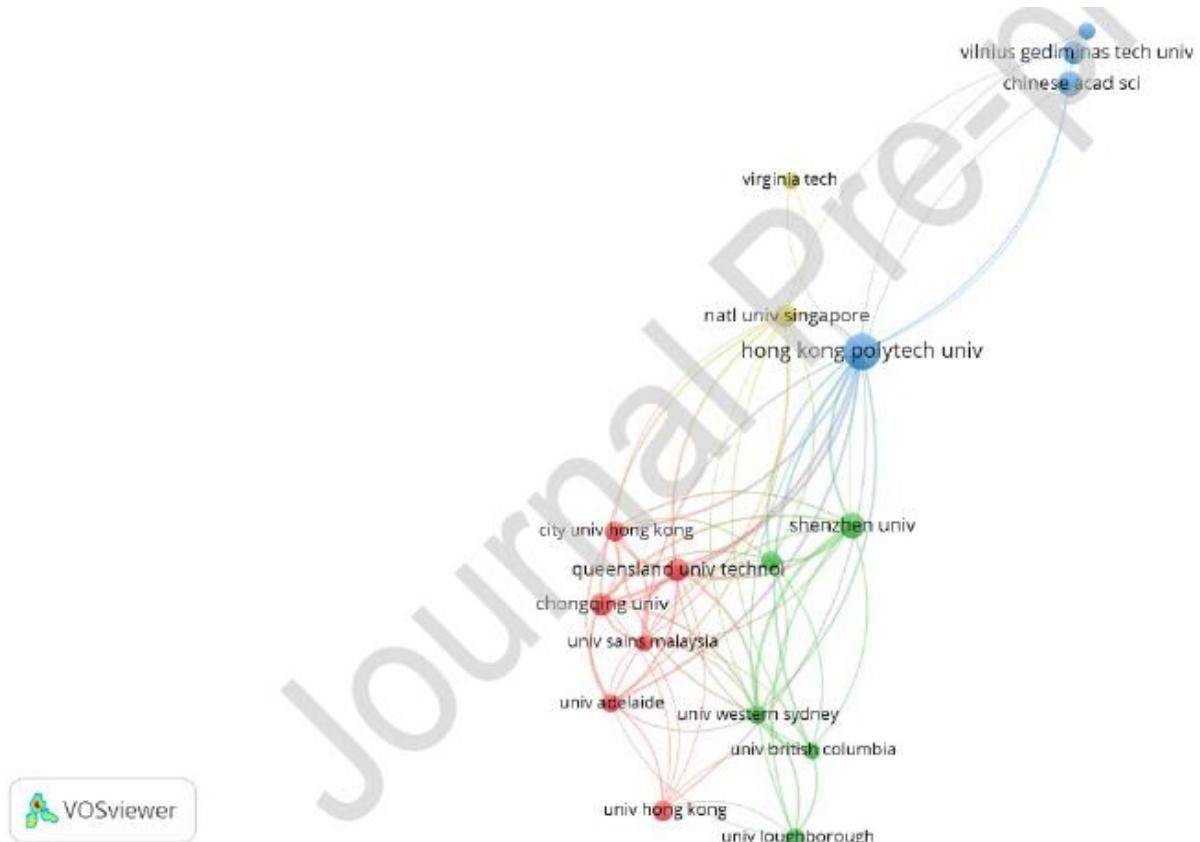


Fonte: adaptado de Adolpfo (2020)

Conforme Figura 12 pode-se perceber como o software VOSviewer conecta a base de dados de entrada a partir da relevância e integração que os trabalhos apresentam, em que no caso deste estudo, os periódicos estão inseridos em quatro grupos, apresentando um periódico como de maior relevância perante os demais conforme a sua rede de conexões por citações e referências, traduzindo-se em um maior número de links de conexão e tamanho da sua forma em identificação. No presente trabalho, os periódicos mais referenciados na base de dados do Web of Science foram o Construction and Building Materials, Cement and Concrete Research e Cement & Concrete Composites cujos detalhes que serão melhor explanados nos resultados observados.

2) Resultado da unidade de análise de referência: Instituições

Figura 13 - Mapa em rede integrada das instituições mais citados – Adolpfo, A.G (2020)



Fonte: adaptado de Adolpho (2020)

Utilizando as instituições como unidade de análise de referência, Adolpho, A.G (2020) definiu 18 instituições mais citadas para formação da rede integrada, em que tais instituições foram distribuídas em cinco clusters, contudo o quinto não mostrou links de conexão e, portanto, não está inserido no mapa de rede integrada. Na Figura 13 pode-se observar que algumas instituições apresentam maior relevância seja pela quantidade de artigos publicados, mas principalmente pelo número de referências que outros trabalhos citaram em seus artigos. Importante destacar também a rede de conexões criadas, que somada aos clusters formados percebe-se conexões mais fortes entre as unidades da rede. No presente trabalho relacionado ao tema de reologia das argamassas, as principais instituições quanto ao número referências e quantidade de artigos produzidos foram: Universidade de Aveiro, Universidade Federal de Santa Catarina e Universidade de Hong Kong.

### 3.3 METODOLOGIA QUALITATIVA

A metodologia qualitativa foi utilizada neste trabalho com objetivo de elucidar e melhor explicar a construção da revisão sistemática da reologia das argamassas, e se complementará as análises quantitativa e metanálise possibilitando apresentar melhores resultados por justamente aplicar a metodologia mista e integrada.

A partir da base de artigos consolidada na etapa de análise quantitativa, duas análises diferentes foram utilizadas para qualificar os artigos. Na primeira análise será avaliado a conjuntura e aspectos relevantes dos artigos sobre o tema reologia das argamassas a partir da divisão da base de artigos em três grupos, conforme definido anteriormente: “influência de materiais na reologia das argamassas”, “métodos e modelagens aplicado a reologia das argamassas” e “condições de produção e utilização das argamassas”. Já na segunda etapa, a análise foi realizada em função dos mapas de rede gerado a partir da ferramenta de software VOSviewer, em que foram definidas três unidades de análise: artigos, periódicos e autores.

## 4 RESULTADOS

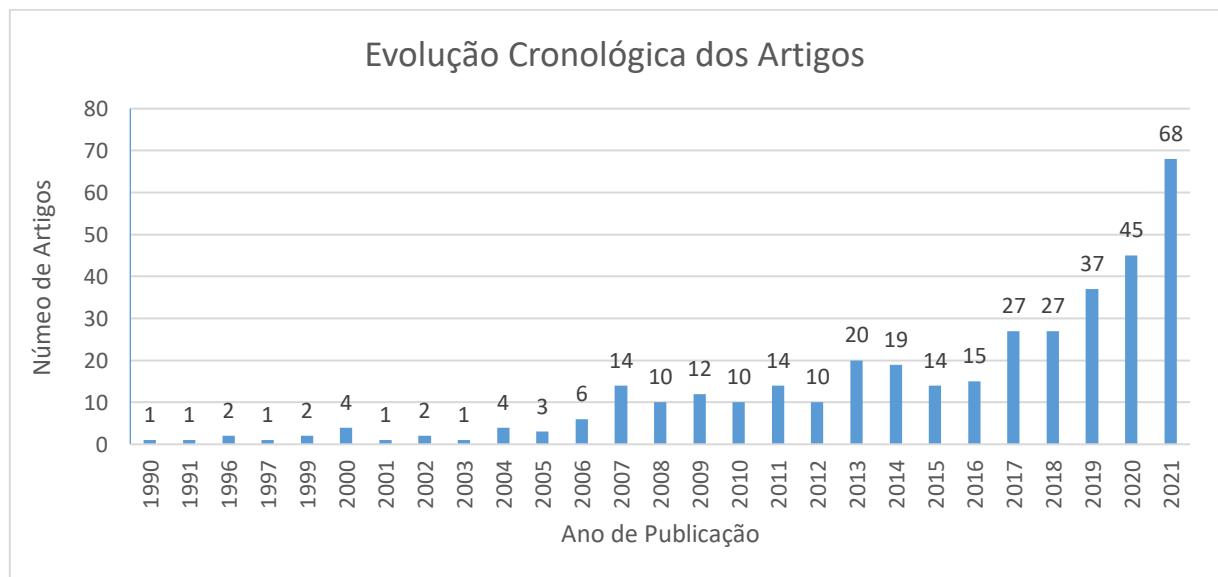
A partir da metodologia qualitativa adotada e extraíndo a base de dados dos artigos selecionados serão apresentados os resultados e análises para cada grupo definido, bem como os mapas de rede construindo a partir do VOSviewer.

### 4.1 ANÁLISE GERAL

Posteriormente a seleção da base de artigos definida na etapa de análise quantitativa, a Figura 9 apresenta a distribuição cronológica de publicações dos 370 artigos selecionados a partir da base de dados Web of Science, os quais tratam sobre estudos relacionados à reologia das argamassas.

Os primeiros artigos associados ao tema do presente estudo e publicados na base de dados selecionada foram trabalhos desenvolvidos por BANFILL (1990) e (1991), no qual o primeiro objetiva análise e estudo do comportamento e modelo reológico representado pelas argamassas a partir de ensaios, utilizando um viscosímetro de velocidade variável, já no segundo foram estudados como os procedimentos de mistura e ensaio, bem como as proporções relativas nos materiais influem no comportamento reológico das argamassas. Logo pode-se perceber o intuito inicial nos primeiros trabalhos em tentar compreender melhor qual o comportamento reológico das argamassas.

Figura 14 - Evolução cronológica dos artigos



Fonte: O autor (2022)

Observando a disposição temporal sobre a publicação dos artigos presentes no Web of Science conforme Figura 14, fica evidente um maior crescimento do número de publicações a partir de 2007 possivelmente vinculado à maior necessidade de aumentar a eficiência no uso e aplicação de pastas e argamassas, em que para tanto, um melhor compreendimento do comportamento reológico a partir do uso de novos materiais, desenvolvimento de modelagens e métodos somado a novos modelos construtivos foi amplamente estudado.

Nos tópicos posteriores duas análises foram abordadas, sendo a primeira a análise qualitativa sobre os grupos definidos na etapa de análise quantitativa, em que para cada grupo será explorado a nível de seu subgrupo as características e comportamento do processo de construção bibliográfica dos artigos publicados. A Tabela 1 apresenta um quadro resumo dos grupos e subgrupos com seu respectivo número de artigos associados. Na segunda estrutura de análise serão abordados quais foram as tendências e vertentes de estudo mais analisadas pelos autores, já na segunda análise foi utilizando a ferramenta do VOSviewer para elaboração dos mapas de rede sobre a base de artigos selecionada, no qual três unidades de análise foram exploradas: autores, jornal (veículo de publicação) e instituição.

Tabela 1 - Resumo dos grupos e subgrupos

Tabela Resumo - Grupos e Subgrupos				
Grupo	Subgrupo	Nº de artigos	% sobre a base total de artigos	Nº de artigos por grupo
Influência dos materiais na reologia das argamassas	Adições	122	32,97%	279
	Fibras e Polímeros	69	18,65%	
	Aditivos	40	10,81%	
	Agregados	31	8,38%	
	Outros	17	4,59%	
Métodos e modelagens aplicado à reologia das	Métodos de ensaio	25	6,76%	53
	Modelagem em argamassas	18	4,86%	
	Método construtivo 3D	10	2,70%	
Condições de produção e uso das	Procedimentos e condições da argamassa	31	8,38%	38
	Reologia no uso das argamassas	7	1,89%	

Fonte: O autor (2022)

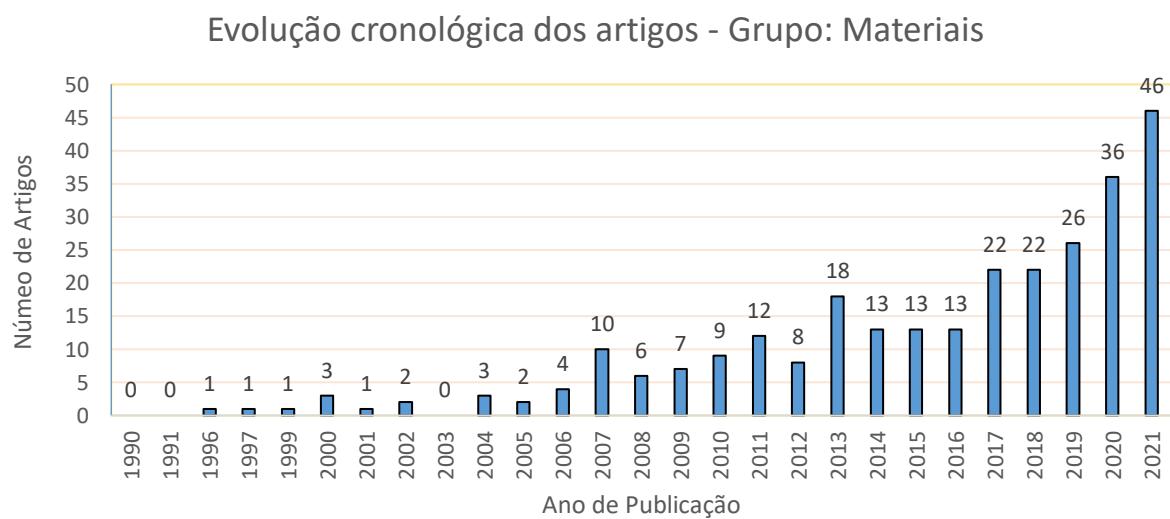
## 4.2 ANÁLISE QUALITATIVA SOBRE OS GRUPOS

Este tópico apresentará os resultados sobre a análise qualitativa de cada grupo definido anteriormente sobre a base de artigos, bem como de maneira simplificada abordará os principais pontos de destaque dos subgrupos que compõem cada grupo.

### 4.2.1 Resultado sobre o grupo: “influência dos materiais na reologia das argamassas”

Considerando a base de artigos definida contendo 370 artigos, o subconjunto de análise “influência dos materiais na reologia das argamassas” apresentou um total de 279 artigos distribuídos cronologicamente por ano de publicação conforme a Figura 15, o que significa um percentual de 75% sobre a base de artigos, e com isso evidencia a tendência dos autores no enfoque do estudo sobre o comportamento reológico das pastas e argamassas a partir dos materiais utilizado.

Figura 15 - Evolução cronológica dos artigos do grupo “influência dos materiais na reologia das argamassas”



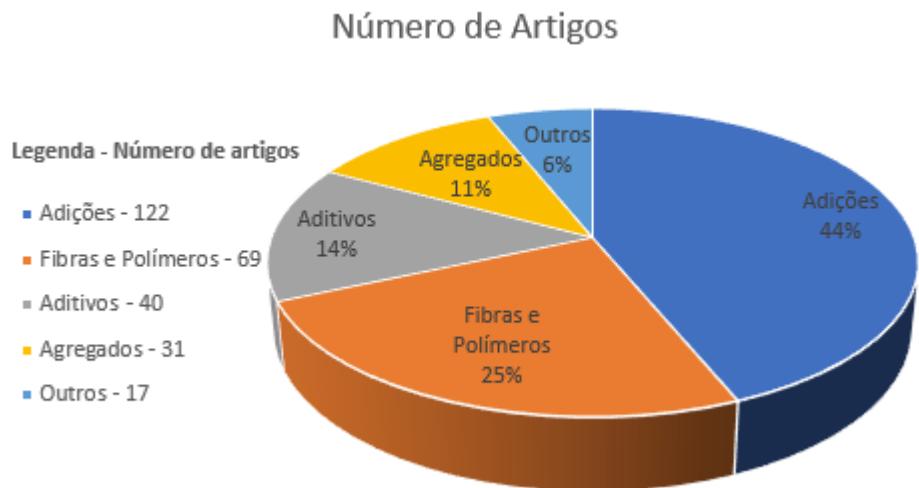
Fonte: O autor (2022)

Em consonância com a distribuição cronológica da base de artigos geral, referente ao grupo dos materiais componentes da argamassa conforme apresentado na Figura 15 também apresentou dois momentos de aumento significativo do número de artigos publicados, sendo o primeiro em 2007 e em um segundo momento em 2019, possivelmente refletindo a maior necessidade em buscar novas soluções mais eficientes e financeiramente viáveis de uso dos materiais conservando ou potencializando as propriedades reológicas das argamassas de acordo com sua aplicação.

Neste conjunto de artigos formados por aqueles que apresentam como objetivo principal avaliar a influência de algum material componente na argamassa confeccionada em seu comportamento reológico, houve a divisão nos seguintes subgrupos: 1) adições; 2) fibras

e polímeros; 3) aditivos; 4) agregados e 5) outros. Na Figura 16 é observada a distribuição dos artigos por subgrupos:

Figura 16 – Distribuição dos artigos nos subgrupos



Fonte: O autor (2022)

#### 4.2.1.1 Adições

O subconjunto dos artigos que tratam sobre adições correspondeu ao de maior participação com 44% dos trabalhos abordando este tema, representando um total de 122 artigos, em que particularmente este grupo de materiais apresenta uma importante relevância no comportamento reológico das argamassas pois por se apresentarem em particulados finos, as adições serão os compostos ligantes somado ao aglomerante base da mistura, e portanto, influem diretamente na coesão, consistência, plasticidade e em outras características reológicas.

A partir da evolução temporal dos artigos publicados vinculados ao tema adições, observa-se que inicialmente houve uma tendência dos autores em analisar o comportamento reológico das argamassas a partir de algumas adições em específico como o calcário e sílica ativa ou nanosílica, a exemplo, Nehdi (1997) investigaram o efeito da substituição de cimento por microcargas de calcário nas propriedades reológicas de pastas de cimento de baixa relação

a/c, e verificaram que a adição de calcário resultou no aumento da viscosidade do composto final a partir de análise utilizando um viscosímetro de cilindro coaxial. Yahia et al. (2005) concluíram que a adição de enchimento de calcário resultou em um aumento substancial na viscosidade quando inserida além da dosagem crítica, no entanto se adicionada dentro de uma determinada faixa não afeta a fluidez da mistura. Inserindo a sílica ativa como adição de enfoque na análise do comportamento reológico Senff et al (2009) verificaram que a inserção de nanosílica como substituição em 2,5% do cimento resultou em um aumento de 157% da tensão de escoamento, bem como a redução de 19,6% do diâmetro de espalhamento, contudo a viscosidade plástica aumentou apenas 3,6%, os autores ainda pontuaram que um aumento ainda maior do percentual de nanosílica pode potencializar ainda mais os efeitos na reologia do composto.

Nos últimos anos materiais ligantes como escória e argila corresponderam a duas das adições mais analisadas quanto aos efeitos resultantes na reologia de pastas e argamassas, em que Hammat et al (2021) concluíram que o efeito da finura da escória é mais significativo do que se comparado ao nível ou a quantidade de escória ativada inserida, pois o aumento da finura resultou em uma melhora mais significativa na trabalhabilidade, contudo em ambos os casos a tensão de escamento e a viscosidade plástica diminuíram. Sonebi et al (2021) verificaram que a utilização de lama vermelha em substituição ao cimento pode ser apropriada para argamassas impressas 3D, contudo possivelmente pode resultar na diminuição de sua resistência no estado endurecido, bem como integraram um aditivo modificador de viscosidade à base de nanoargila e resultou em misturas com melhor coesão, estabilidade e construtibilidade.

Por tratar-se de um material usual em aplicações com argamassas, alguns autores objetivaram estudar pastas e argamassas à base de gesso com a introdução de algum material complementar para verificar o comportamento reológico do composto resultante, a exemplo Senff et al (2018) que constatou uma correlação aproximadamente linear entre o espalhamento das argamassas de gesso e a introdução de fibra de celulose (1mm-2mm), bem como observou um forte incremento nos valores de tensão de escoamento ao longo do tempo. Já outros autores analisaram a influência de biocarvão como adição em argamassas: Gupta et Kua (2019) obtiveram resultados que indicam a influência do biocarvão na trabalhabilidade e correlação positiva com a viscosidade plástica dos compostos ensaiados. Os mesmos autores, Gupta et Kua (2021) analisaram os efeitos da substituição em até 40% em peso de sílica ativa

por biocarvão e a introdução desta adição aumentou significativamente a viscosidade plástica e a tensão de escoamento de pastas com dosagem relativamente alta.

Houve também a verificação de adições alternativas para substituição de outras consideradas mais usuais, como a análise da polzolanicidade de resíduos de banana, em que Kanning et al. (2014) verificaram que a adição de resíduos de banana demonstrou níveis satisfatórios de polzolanicidade com força de  $(7.900 + 0.098 \text{ MPa})$ , bem como apresentaram bom desempenho nos parâmetros do estado fresco. Na busca por melhorar a eficiência dos compostos outros materiais também foram utilizados como adições como por exemplo: xisto calcinado ilítico, resíduos de magnetita, rejeitos de cobre, diatomita, sepiolita, nanografite e dentre outros.

#### 4.2.1.2 Fibras e Polímeros

No tocante ao subgrupo dos artigos que apresentaram como objetivo principal a avaliação da influência de fibras e polímeros na reologia das argamassas, tal conjunto representou o segundo com maior número de publicações do grupo “influência dos materiais na reologia das argamassas” com 25% do total de artigos, representando 69 artigos. Neste subgrupo houve a divisão dos artigos que tratam explicitamente sobre fibras e aqueles sobre polímeros com objetivo de melhor analisar de forma distinta cada tema.

Dentre os artigos que analisaram a influência da fibra nas argamassas, a fibra de polipropileno obteve o maior número de publicações, 7 ao todo, dentre os 33 artigos relacionado ao tema, em que tal fato pode estar associado ao baixo custo relativo dessa fibra, bem como por ser um material que não oferece danos à saúde em sua fabricação e manuseio. Sobre as fibras de polipropileno, Mehdipour et al (2013) verificaram que as fibras de polipropileno mais curtas apresentaram menor fluidez que aquelas de fibra longa possivelmente devido ao maior número de fibras curtas, ou seja, apresentando maior área superficial. Mehdipour et al (2013) também concluiu que o aumento do fator de fibra introduzido favorece a coesão e resistência à segregação dos compostos até determinado teor, contudo ultrapassando este teor a tendência se inverte e há condição de segregação das misturas piora. A fibra de aço também foi bastante explorada em estudos, como Kuder et al (2007) que utilizando um reomômetro de paletas verificou um aumento de 25% na viscosidade quando adicionado 2% de fibra de aço ao composto base, e um aumento de 100% na tensão

de escoamento adicionados os mesmos 2%, corroborando com a perspectiva inicial de aumento da coesão e resistência interna das partículas das argamassas quando adicionado fibras. Artigos sobre fibras naturais como: açaí, borracha, coco e celulose também foram desenvolvidos possivelmente por apresentarem como uma alternativa com menores custos totais, reaproveitamento de materiais e melhor ecologicamente.

A respeito dos artigos relacionados aos impactos de polímeros na reologia das argamassas, no geral houve uma grande variedade nos polímeros ensaiados, contudo os polímeros superabsorventes e aqueles formados por látex foram os que apresentaram maior quantidade de publicações. Em um dos artigos mais referenciados sobre polímeros absorventes, Mechtcherine et al (2015) comparou dois tipos de polímeros absorventes, um composto por um único monômero primário, o ácido acrílico, denominado de SAP-B e o outro compostos por dois monômeros primários o ácido acrílico e acrilamida, denominado de SAP-D, e ao final dos ensaios verificaram que este último interferia de forma mais rápida e em maior nível na viscosidade se comparado ao SAP-B, em que as tensões de escoamento variaram em proporção similar à viscosidade, logo pode-se perceber que a estrutura dos monômeros componentes do polímero interferem diretamente na reologia do composto argamassado produzido. Já Barluenga e Olivares (2004) analisaram o comportamento reológico das argamassas modificadas com a introdução de polímeros Látex, e verificaram que quanto maior o teor de polímero adicionado menor foi o espalhamento no ensaio de flow table, traduzindo-se em uma maior viscosidade plástica e coesão do composto produzido. Além destes, diversos outros polímeros e fibras foram analisadas como introdução às pastas e argamassas, a exemplo: biopolímeros, nanotubos de grafeno, de carbono e de celulose, álcool polivinílico e outros.

Em suma a adição de fibras e polímeros em argamassas impacta consideravelmente em seu desempenho reológico, em que com pequenos percentuais de adição observa-se, em geral, um aumento na viscosidade plástica e tensão de escoamento dos compostos analisados, muito em virtude do aumento na coesão e atrito interno da pasta formada contendo tais materiais.

#### 4.2.1.3 Aditivos

Os aditivos correspondem a importantes componentes químicos inseridos nas pastas e argamassas com intuito de modificarem seu comportamento reológico de acordo com o

propósito em seu uso e aplicação, fato este corroborado com a participação de 14% dos artigos do grupo “materiais” como associado aos efeitos da inserção dos aditivos químicos nas propriedades das argamassas.

Dentre os 40 artigos relacionados ao tema de adições, mais da metade destes se dedicaram a analisar os efeitos de aditivos superplastificante. A composição química e estrutura molecular de composição não apenas dos aditivos superplastificantes, mas para toda classe de aditivos, interfere diretamente no comportamento reológico do composto argamassado como um todo, e sobre este tema Winnefeld et al (2007) fizeram um relevante trabalho analisando diferentes comprimentos e densidade de cadeias laterais, bem como diferentes pesos moleculares, e ao final concluíram que a diminuição da densidade das cadeias laterais melhora a trabalhabilidade, enquanto o comprimento das cadeias e peso molecular influenciaram da mesma forma porém em menor magnitude.

Os aditivos modificadores de viscosidade também foram bastante explorados, em que Leemann et Winnefeld (2007) verificaram que a inserção de aditivos modificadores de viscosidade diminui o escoamento da argamassa e aumenta o tempo de escoamento, resultando em um aumento da tensão de escoamento e da viscosidade plástica das argamassas ensaiadas. Outras classes de aditivos foram analisadas como aditivos incorporadores de ar, dispersantes, retardadores de pega e demais.

Pode-se perceber que os aditivos são componentes fundamentais na constituição de pastas e argamassas, pois conforme afirma Maybury et Binhowimal (2017) a introdução de aditivos possibilitam o aumento na fluidez do composto, melhora a fluidez e atua modificando suas propriedades para atender determinadas condições, contudo é necessário sua quantidade precisa ser bem estipulada, pois muitos destes podem causar segregação e espessamento ao cisalhamento, prejudicando a consistência e trabalhabilidade do concreto.

#### 4.2.1.4 Agregados

Os artigos que tiveram como objetivo principal analisar a influência dos agregados e suas características nos efeitos sobre as propriedades reológicas das argamassas representaram um total de 11%, representando 31 artigos sobre um total de 279.

A inserção dos agregados ao ser somado a pasta de argamassa apresenta funções essenciais nas propriedades físicas e químicas do composto resultante, e com isso, sabe-se que as características físicas, como: origem, forma granulometria, porosidade e demais desses materiais influem diretamente nas propriedades do produto final resultante, e objetivando justamente analisar a influência das características do agregado miúdo nas propriedades reológicas de argamassas que Westerholm et al (2008) verificou uma maior tensão de cisalhamento e viscosidade plástica nas argamassas contendo agregados miúdos triturados, ou seja, com maior quantidade de finos e por isso uma maior superfície de contato. Neste mesmo artigo estes autores apuraram que a maior viscosidade das argamassas também está relacionada ao efeito de forma das partículas, bem como a inserção de agregados com granulometria mal graduada aumenta a necessidade de água na mistura. Hafid et al (2016) verificaram que características morfológicas como aspecto de forma e convexidade dos agregados ensaiados apresentam relevante influência no comportamento reológico das argamassas, contudo o parâmetro morfológico predominante foram as condições de empacotamento das partículas.

A classe de agregados materiais arenosos ou compostos com alto teor de quartzo correspondeu ao tipo de material mais analisado, contudo outros materiais como: agregados leves – Senff et al (2011); polímeros de granito – Chen et Kwan (2020); borracha de pneu – Di Mundo et al (2020), representando como alguns outros agregados ensaiados no intuito de analisar os efeitos na reologia das pastas e argamassas.

#### 4.2.1.5 Outros

No subgrupo “Outros” foram inseridos todos aqueles artigos que de alguma forma apresentam como cerne principal a avaliação dos efeitos de materiais os quais não estão inseridos nos demais subgrupos anteriores. Perante ao total de artigos descritos no grupo – “Materiais”, pode-se perceber a baixa relevância representando apenas 6% dos artigos, sendo 17 artigos publicados na Web of Science considerando os filtros aplicados. Foi observado também que a relevância dos artigos quanto às referências citadas foram relativamente baixas se compararmos a de outros subconjuntos, em que possivelmente está associado à especificidade e análises de materiais não habituais ou com menor grau de influência nas propriedades reológicas das argamassas.

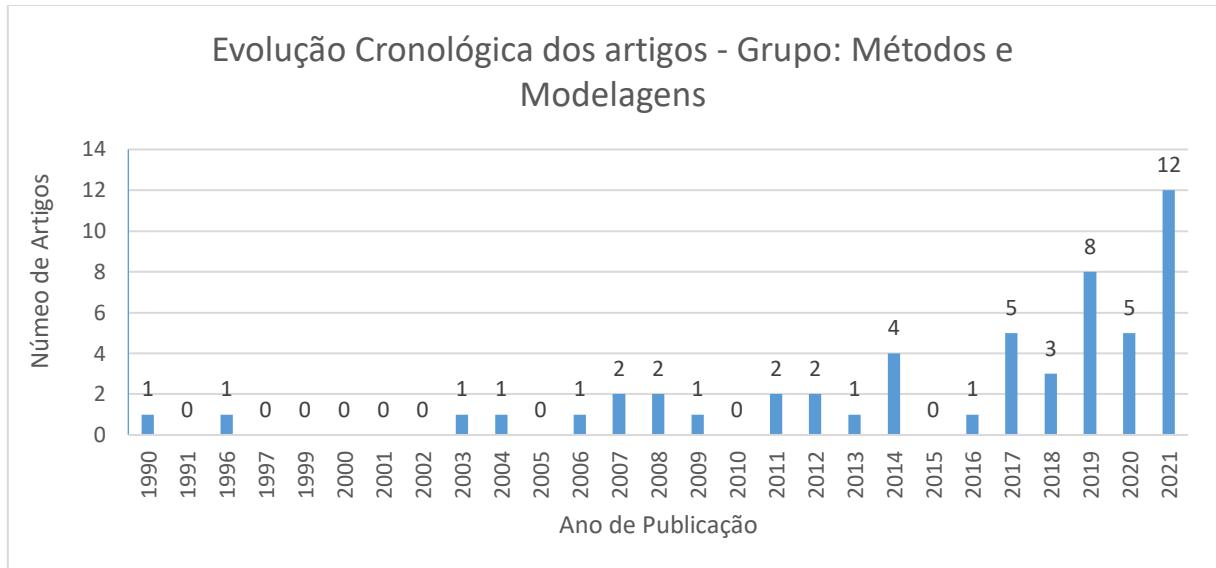
Houve uma relativa diversidade de materiais abordados, contudo análises sobre aspectos da água na confecção das pastas e argamassas apresentou destaque quanto a quantidade de publicações e relevância dos artigos. Wong et Kwan (2008) verificou que o aumento na proporção água/materiais cimentícios, elevando o excesso de água na composição, aumentaria a fluidez da pasta formada, contudo observou que para uma razão pequena de excesso de água em relação a área de superfície sólida contribua para resultar em uma baixa permeabilidade da pasta resultante decorrente também da alta proporção de finos resultante. Outros autores como Kwan et Li (2012) e Kwan et al (2010) também analisaram a influência de parâmetros da água na reologia de pastas e argamassas.

Em suma o subgrupo outros está vinculado a materiais pouco usuais e especificidades em análises que não apresentam tanto interesse da comunidade acadêmica, contudo o volume destes estudos pode aumentar devido à busca por novos materiais que possam contribuir em algum aspecto nas pastas e argamassas finais produzidas.

#### **4.2.2 Resultado do grupo: Métodos e modelagens aplicados à reologia das argamassas**

Neste grupo são abordados todos os artigos nos quais apresentam como objetivo principal do trabalho avaliar ou desenvolver algum método ou modelagem aplicado à reologia de pastas e argamassas. Dos 370 artigos que compõem a base de artigos definida, 53 estão associados ao presente grupo, representando um percentual de quase 15% sobre o total, em que tais trabalhos estão distribuídos ao longo do tempo conforme o ano de publicação conforme Figura 17.

Figura 17 - Evolução cronológica dos artigos do grupo “métodos e modelagens aplicados à reologia das argamassas”

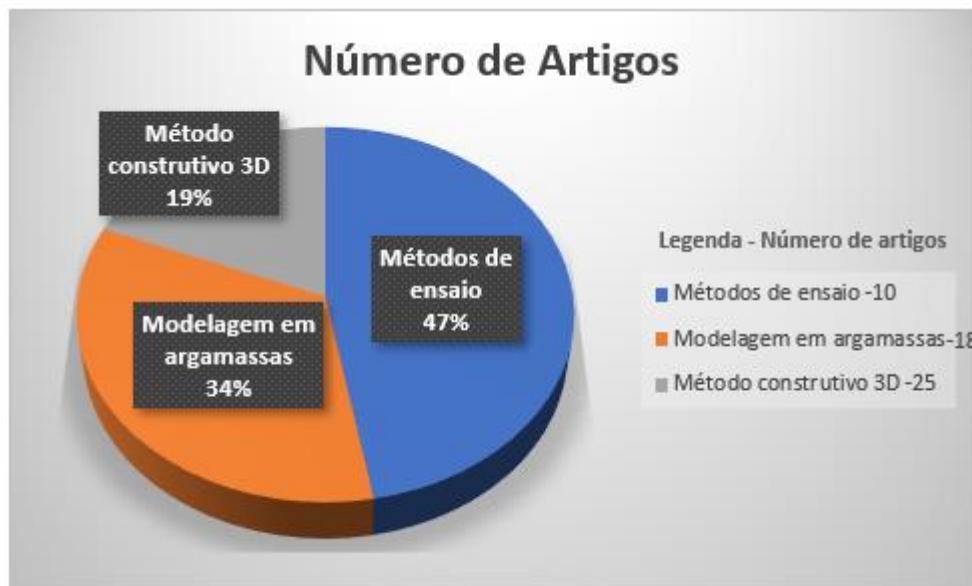


Fonte: O autor (2022)

Avaliando a distribuição de publicação dos artigos pode-se perceber que assim como no grupo dos Materiais, bem como na distribuição da base total de artigos, observa-se uma tendência de maior crescimento no número de publicações a partir do ano de 2017. Um fator evidente ao observarmos o gráfico de distribuição corresponde a irregularidade na distribuição dos artigos publicados na base de dados Web of Science.

No presente grupo, os artigos foram divididos em três subgrupos em função do tema tratado no respectivo artigo: 1) Método construtivo 3D; 2) Métodos de ensaio da reologia das argamassas; e 3) Modelagem em argamassas, em que estes subgrupos serão abordados a seguir com enfoque nos principais trabalhos e evolução acerca do tema. A distribuição dos artigos presentes no grupo – Métodos e modelagens em seus subgrupos podem ser observados na Figura 18.

Figura 18 - Distribuição dos artigos do grupo "métodos e modelagens aplicados às argamassas" nos subgrupos



Fonte: O autor (2022)

#### 4.2.2.1 Método construtivo 3D

Destina-se aqui um subgrupo apenas para abordar o tema da metodologia construtiva através da impressão 3D de pastas e argamassas, que se somado aos estudos também com concreto, corresponde um dos modelos construtivos mais desenvolvidos nos últimos anos como uma alternativa eficiente e mais ágil aos métodos tradicionais. Os artigos que apresentam o enfoque na avaliação da metodologia 3D na reologia das argamassas representaram 19% do total de 53 artigos integrantes do grupo métodos e modelagens aplicados à reologia das argamassas. Importante reforçar que outros artigos abordaram o acerca do método construtivo em impressão, contudo o objetivo principal não consistiu em avaliar os efeitos deste método na reologia das argamassas, mas sim outros parâmetros e, portanto, foi inserido em outros grupos.

Segundo Buswell et al (2008) processos de impressão de concreto 3D estão em desenvolvimento nos últimos 10 anos e vêm sendo cada vez mais estudado em virtude das vantagens que podem ser atribuídas como, por exemplo, Baz et al (2021) utilizou referências para verificar que a impressão 3D tem sido amplamente desenvolvida no campo da construção civil, apresentando benefícios consideráveis como maior liberdade geométrica das peças produzidas, além de uma produção mais rápida e menor custo.

No tocante aos impactos que esta metodologia resulta no comportamento reológico das argamassas, Buswell et al (2008) afirmam que garantir ou propiciar indicadores de qualidade das pastas e argamassas como bombeamento, aspectos construtivos e, principalmente, extrudibilidade consiste em um desafio a ser desenvolvido nas aplicações utilizando este método. Panda et al (2019) verificou que o aumento da viscosidade com a inserção de adições nas argamassas teste permitiu uma maior capacidade de construção e menor deformação das misturas preparadas durante o processo de impressão 3D. A fluidez da pasta, combinada com a relação linear entre a fluidez da pasta e o teor ótimo de agregados da argamassa, é um parâmetro útil na orientação do projeto do material do 3DPC Zhang et al (2019).

#### 4.2.2.2 Métodos de ensaio das argamassas

O conjunto de artigos que compõem o subgrupo dos métodos de ensaio das argamassas representou cerca de 47% do total pertencente a seu grupo, no caso, aqueles que abordam o tema métodos e modelagens aplicados às argamassas. Foram inseridos nessa classe aqueles artigos que apresentaram como principal objetivo a realização de métodos de ensaio e caracterização reológica de pastas e argamassas, contudo é importante salientar que senão em todos, mas na maioria dos demais artigos, houve a realização de algum tipo de método de ensaio, contudo o enfoque consistia na avaliação de outras variáveis e não da metodologia de ensaio.

Considerando-se os 370 artigos que compõem a base de artigos definida anteriormente, o subgrupo dos métodos de ensaio em argamassas representa em 7% sobre o todo, correspondendo a 25 artigos publicados, em que é possível observar a importância atribuída ao desenvolvimento de métodos de ensaio que possam propiciar melhorias a análise e avaliação das argamassas, seja por exemplo na precisão dos resultados oferecidos, seja por possibilitar maior praticidade, rapidez ou qualidade nos ensaio, ou mesmo tornar possível a análise de parâmetros mais minuciosos, e dentre outros. Neste contexto, por exemplo, Peng et al (2014) analisaram as curvas reológicas de compostos cimentícios asfálticos utilizando um viscosímetro de cilindro coaxial rotativo, bem como utilizou os modelos reológicos: Bingham, Bingham modificado, Herschel–Bulkley e Casson para melhor avaliar o comportamento reológico dos compostos estudados.

#### 4.2.2.3 Modelagem em argamassas

Neste subgrupo foram inseridos todos aqueles da base de artigos definida que apresentaram como enfoque principal a utilização de alguma modelagem seja estatística, computacional, experimental ou outras na análise do comportamento reológico de pastas e argamassas em estudo. De um total de 53 artigos presentes do tema: métodos e modelagens aplicados às argamassas, 18 artigos ou um percentual de 34% correspondem a utilização de modelagens em argamassas.

A utilização de modelagem e métodos computacionais/estatísticos vem sendo abordadas cada vez mais em diversas áreas de estudo em virtude da possibilidade em propiciar simulações de possíveis cenários ou situações ótimas no objetivo desse estudo. Nas pastas e argamassas tais modelagens podem ser utilizadas para simular os efeitos na reologia desses materiais a partir de inputs inseridos ou, por exemplo, utilizar uma base de dados de testes ou ensaios passados para tentar chegar a um padrão ou conclusão aceitável sobre determinada tese, ou seja, diversas são as formas de inserir modelos analíticos aplicado às argamassas.

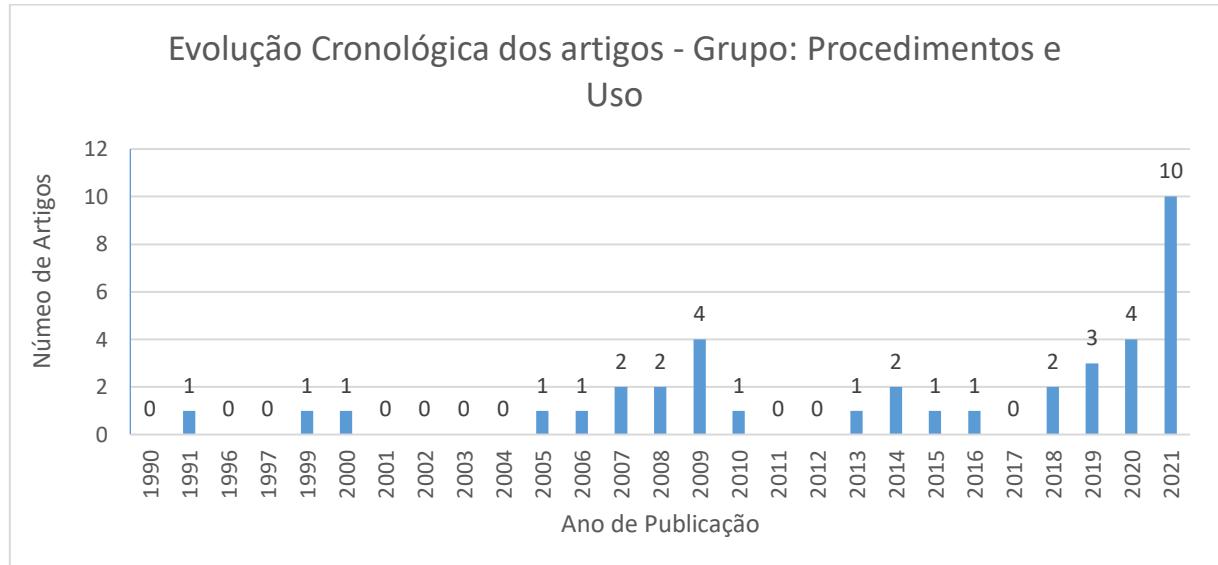
Neste âmbito Ferrara et al (2012) utilizou modelagem fluidodinâmica computacional para verificação das propriedades reológicas sobre compostos cimentícios. Qian et Kawashima (2016) propôs um modelo de tixotropia/migração exponencial de duas exponenciais modificado para quantificar o decaimento de tensões de argamassa fresca sob taxa de cisalhamento constante. Cao et Li (2018) desenvolveram novos modelos para prever trabalhabilidade e tenacidade de compósitos à base de cimento reforçados com fibras híbridas.

#### 4.2.3 Resultado do grupo: condições de produção e utilização das argamassas

Por fim, neste último grupo estão inseridos os artigos que têm como cerne principal verificar como condições e procedimentos de confecção das pastas e argamassas interferem em suas características reológicas, somando-se a outros trabalhos que apresentaram como o comportamento e propriedades no estado fresco das argamassas influenciam no uso e aplicação desses materiais. Considerando o conjunto de 370 artigos publicados elegíveis, 38 estão associados a este grupo: condições de produção e utilização das argamassas,

representando um percentual de pouco mais 10% sobre o todo. A Figura 19 apresenta a distribuição temporal de publicação destes trabalhos na base do Web of Science.

Figura 19 - Evolução cronológica dos artigos do grupo “condições de produção e utilização das argamassas”



Fonte: O autor (2022)

Assim como os demais grupos, neste também foi observado tanto a irregularidade na frequência e quantidade de artigos publicados, quanto é possível notar um aumento considerável no número de publicações no último ano, no caso 2021, podendo ser um indicativo de crescimento no número de trabalhos produzidos a cerca deste tema. Neste grupo, os artigos foram divididos em dois subgrupos: 1) Procedimentos e condições das argamassas; 2) Reologia no uso das argamassas, em que os quais serão abordados nos tópicos a seguir.

#### 4.2.3.1 Procedimentos e condições da argamassa

Os artigos que compõem este subgrupo são todos aqueles os quais apresentem como ensejo principal do trabalho a análise dos efeitos no comportamento reológico das argamassas quando variados os procedimentos de confecção destes produtos, como por exemplo, tempo de mistura, etapas de preparo, misturador e máquinas utilizadas e entre outros, bem como as consequências das condições de preparo destes compostos, como alguns dos exemplos: efeito

da temperatura, do teor de ar, do campo magnético e entre outros. A partir da base de 370 artigos elegíveis considerados, 31 destes correspondem a este subgrupo, representando um percentual de pouco mais de 8% do todo.

O conhecimento dos efeitos dos procedimentos e condições de produção de pastas e argamassas sobre seu comportamento reológico é fundamental para controlar e estabelecer os níveis de magnitude e interferência sobre o resultado destes compostos tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Neste âmbito, BANFILL (1990) estudou os efeitos do procedimento de mistura e ensaio, e proporções relativas dos materiais constituintes na reologia da argamassa fresca. A análise da temperatura de concretagem na reologia de argamassas correspondeu a um tema bastante abordado, como a exemplo: Petit et al (2007) que propôs um método para verificar os efeitos dos parâmetros temperatura de concretagem e tempo sobre a tensão de cisalhamento e viscosidade dos compostos, chegando à conclusão da correção entre parâmetros de entrada e saída através de equações propostas. Anteriormente, em outro trabalho, Petit et al (2006) também abordou os efeitos conjugados da temperatura e tempo da confecção das argamassas sobre seu comportamento reológico.

Outros temas também foram abordados e podem ser relevantes para estudos futuros, como: que estudou os efeitos de procedimentos manuais de mistura e influência do operador nas propriedades frescas e endurecidas das argamassas Hosseinzadeh et al (2019); Kang et al (2021) estudaram as alterações nas propriedades reológicas de argamassas contendo escórias e fibras de aço por campo magnético; Sadr momtazi et al (2019) analisaram a influência do tempo de transporte nas propriedades reológicas de argamassas autoconsolidantes. Em suma, diversos temas foram abordados associados a procedimentos e condições de argamassas que já são ou podem ser úteis em aplicações e uso destes compostos.

#### 4.2.3.2 Reologia no uso das argamassas

Por fim, este subgrupo aborda aqueles artigos que tiveram como intuito maior a verificação da influência do comportamento reológico das argamassas confeccionadas em sua aplicação e uso, em que foram identificados 7 artigos do conjunto total, nos quais abordam sobre este tema. Assim como nos demais subgrupos, o seu tema foi abordado em outros trabalhos, contudo mantivemos o critério de qualificação em determinado grupo a partir do propósito principal abordado no trabalho.

As pastas e argamassas são materiais com diversas utilidades em obra, e para cada finalidade suas propriedades reológicas devem se adequar a necessidade exigida, pois não há trabalhabilidade, coesão, consistência ou outras, de forma ótima, mas sim a adequação de sua magnitude e características ao tipo de aplicação. Neste âmbito, Petrou et al (2000) analisou a influência da reologia de argamassas no assentamento de peças; Nedhi et al (1997) examinou a os efeitos da reologia no bombeamento e pulverização de argamassas; Kwasny (2015) avaliou o efeito das propriedades reológicas das argamassas à base de cimento na qualidade do seu acabamento superficial.

O entendimento sobre as propriedades reológicas das argamassas é fundamental para uso ótimo e adequado destes produtos em suas finalidades na construção civil, em que ter o conhecimento das variáveis que influem no comportamento reológico, e por conseguinte, vincular os efeitos gerados deste composto em seu estado fresco faz-se necessário.

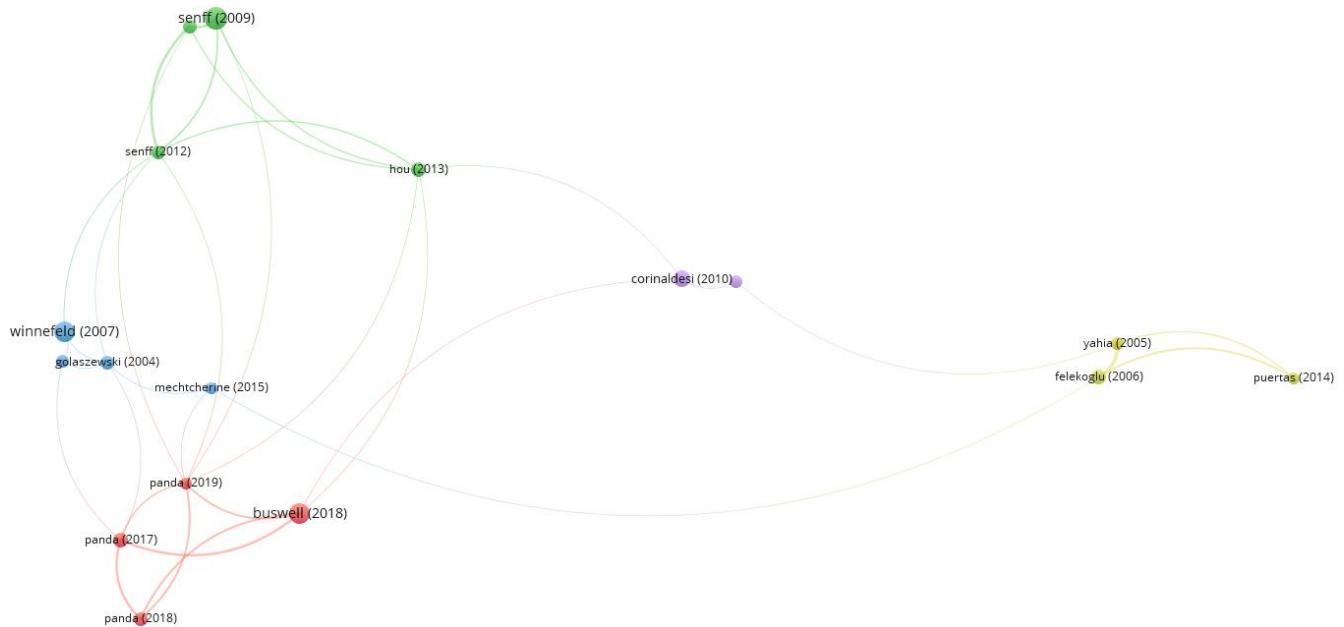
#### 4.3 RESULTADO DOS ARTIGOS MAIS CITADOS NAS UNIDADES DE ANÁLISE DO VOSviewer

Na segunda parte da metodologia qualitativa, foi utilizada a ferramenta de software VOSviewer que criou os mapas de redes contendo a base de artigos contendo 370 artigos com base nas unidades de análise definidas: artigos mais referenciados, periódicos e instituições. Tais unidades de análise serão apresentadas separadamente a seguir. A Figura 21 ilustra o mapa de rede criado a partir dos links de conexão entre os periódicos, divididos em cinco grupos.

##### 4.3.1 Resultado da unidade de análise: Artigo

Utilizando a ferramenta do VOSviewer e a partir da base de artigos selecionada, uma análise detalhada foi realizada dos 19 trabalhos mais referenciados detectados pelo software, em que o critério estabelecido determina que o artigo seja referenciado por outros trabalhos em pelos menos 100 referências. A Figura 20 ilustra o mapa de rede criado a partir dos links de conexão entre os artigos, divididos em cinco grupos.

Figura 20 - Mapa de rede – Unidade de análise: Artigos mais referenciados



Fonte: VOSviewer

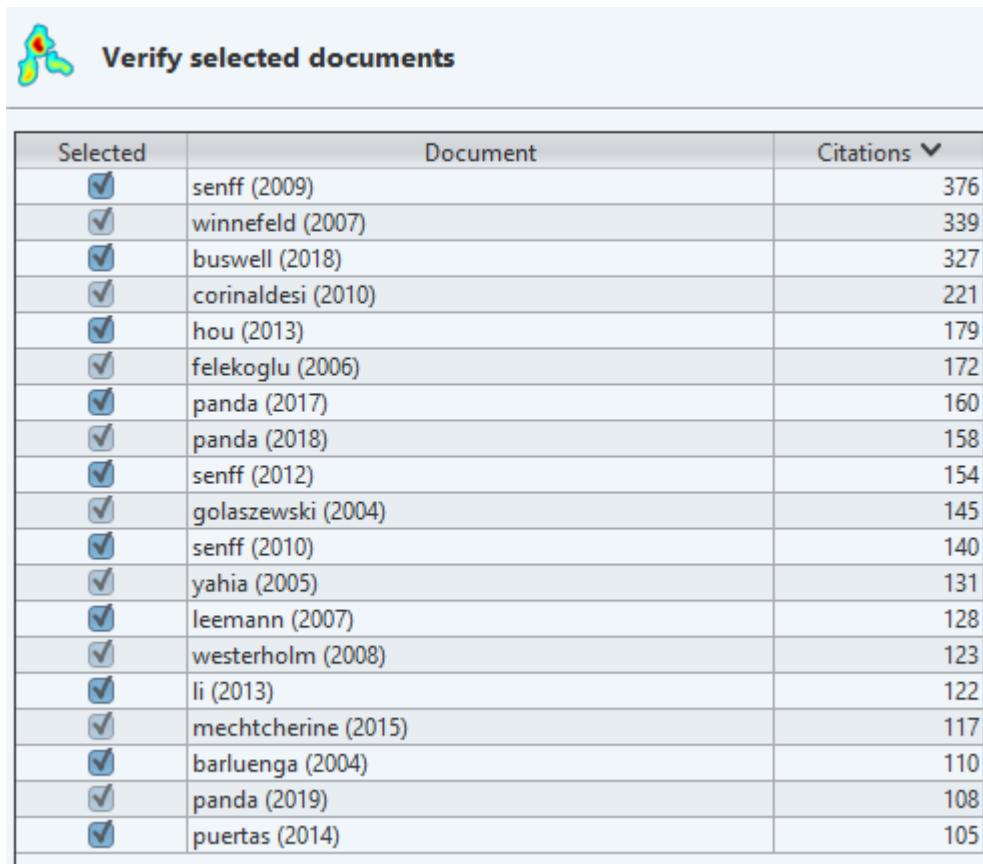
Tabela 2 - Legenda sobre o mapa de rede da unidade de análise dos Artigos

LEGENDA - UNIDADE DE ANÁLISE:ARTIGOS			
Cluster	Artigos	Ano de Publicação	Força de interação
Vermelho	Buswell	2018	327
	Panda	2017	160
	Panda	2018	158
	Westerholm	2008	123
	Panda	2019	108
Azul	Winnefeld	2007	339
	Golaszewski	2004	145
	Li	2013	122
	Mechtcharine	2015	117
	Barluenga	2004	110
Roxo	Corinaldesi	2010	221
	Leemann	2007	128
Verde	Senff	2009	376
	Hou	2013	179
	Senff	2012	154
	Senff	2010	140
Amarelo	Felekoglu	2006	172
	Yahia	2005	131
	Puertas	2014	105

Fonte: O autor (2022)

Dentre os 19 artigos mais referenciados conforme Figura 21, observa-se que 18 destes estão relacionados ao grupo “influência dos materiais no comportamento reológico dos materiais”, apenas 1 condiz ao grupo “métodos e modelagens aplicados à reologia das argamassas”, e nenhum associado ao grupo “condições de produção e utilização das argamassas”. A partir destes números somado ao fato de que, conforme apresentando anteriormente, 75% dos artigos estão relacionados a influência dos materiais na reologia das argamassas, sugere que os autores e a comunidade acadêmica apresentou e ainda vêm apresentando enfoque no estudo dos materiais que compõem as argamassas, e em menor proporção em métodos construtivos ou de ensaio, modelagens, condições de uso e aplicação das argamassas. Contudo conforme apresentamos ao longo dos parágrafos anteriores todos estes temas influem, e portanto, são relevantes para ao comportamento reológico das argamassas.

Figura 21 - Relação dos 19 artigos mais citados na base de artigos definida



Selected	Document	Citations
<input checked="" type="checkbox"/>	senff (2009)	376
<input checked="" type="checkbox"/>	winnefeld (2007)	339
<input checked="" type="checkbox"/>	buswell (2018)	327
<input checked="" type="checkbox"/>	corinaldesi (2010)	221
<input checked="" type="checkbox"/>	hou (2013)	179
<input checked="" type="checkbox"/>	felekoglu (2006)	172
<input checked="" type="checkbox"/>	panda (2017)	160
<input checked="" type="checkbox"/>	panda (2018)	158
<input checked="" type="checkbox"/>	senff (2012)	154
<input checked="" type="checkbox"/>	golaszewski (2004)	145
<input checked="" type="checkbox"/>	senff (2010)	140
<input checked="" type="checkbox"/>	yahia (2005)	131
<input checked="" type="checkbox"/>	leemann (2007)	128
<input checked="" type="checkbox"/>	westerholm (2008)	123
<input checked="" type="checkbox"/>	li (2013)	122
<input checked="" type="checkbox"/>	mechtcherine (2015)	117
<input checked="" type="checkbox"/>	barluenga (2004)	110
<input checked="" type="checkbox"/>	panda (2019)	108
<input checked="" type="checkbox"/>	puertas (2014)	105

Fonte: VOSviewer

O artigo mais referenciado foi escrito por Senff et al (2009), que analisou o efeito da nano-sílica na reologia e propriedades no estado fresco de pastas e argamassas de cimento. Este trabalho serviu como uma das referências de outros artigos que compõem o cluster verde: Argamassas com nano-SiO<sub>2</sub> e micro-SiO<sub>2</sub> investigadas por projeto experimental Senff et al (2010); Efeito da adição de nano-SiO<sub>2</sub> e nano-TiO<sub>2</sub> no comportamento reológico e nas propriedades de endurecimento de argamassas de cimento Senff et al (2012) e Efeitos da nanossílica coloidal nas propriedades reológicas e mecânicas de argamassa de cimento de cinzas volantes (2013).

Observando o cluster azul, verificamos que a conexão entre os artigos está relacionada ao estudo da influência de aspectos em aditivos e polímeros sobre a reologia das argamassas, em que o artigo com maior relevância foi escrito por Winnefeld et al (2007) sobre os efeitos da arquitetura molecular de superplastificantes em forma de pente sobre seu desempenho em sistemas cimentícios, com os demais trabalhos do cluster: Golaszewski et al (2004) e Metchcherine (2015).

No cluster em vermelho, a metodologia construtiva 3D com as argamassas e pastas imprimíveis foi o principal tema de interligação entre os artigos. Impressão 3D por extrusão de concreto: um roteiro de pesquisa Buswell (2018), que estudou a relação entre as propriedades da pasta fresca e endurecida, da argamassa e do concreto e como elas influenciam a geometria do objeto criado. Os demais artigos componentes deste cluster foram produzidos por Panda (2017,2018 e 2019).

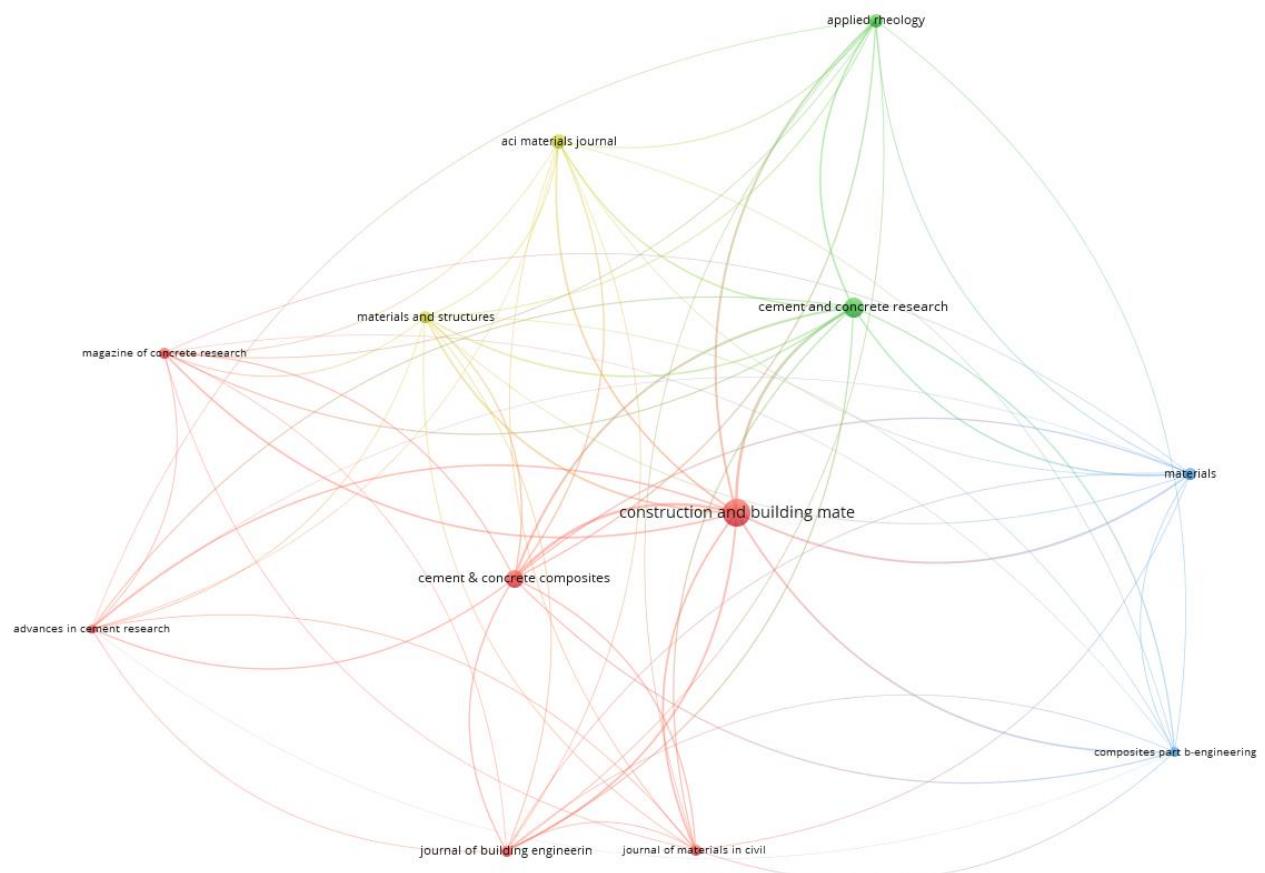
Já no cluster em amarelo, as adições de cinza volante em Felekoglu et al (2006), filler em Yahia, Tanimura e Shimoyama (2005) e escoria ativada com Puertas, Varga e Alonso (2014). Válido observar que este cluster apresentou links de interligação distantes e com baixa intensidade para com os demais clusters representando pouco conectividade entre eles. Há um quinto cluster, constituído por dois artigos: Caracterização do pó de mármore para uso em argamassa e concreto Corinaldesi et al (2010), e o efeito de agentes modificadores de viscosidade em argamassa e concreto Leemann et al (2007).

#### **4.3.2 Resultado da unidade de análise: Periódicos**

Nesta unidade de análise um total de 274 artigos foram identificados a partir da base de artigos definida contendo 370 artigos, em que foram considerados os jornais nos quais

apresentassem pelo menos cinco trabalhos publicados considerando a base de artigos pré estabelecida, e tal critério resultou na seleção de 12 jornais a serem inseridos para geração do mapa de rede do VOSviewer. A Figura 22 representa o mapa de rede contendo os periódicos distribuídos em 4 clusters e seus respectivos links de correlação

Figura 22 - Mapa de rede da unidade de análise – Periódicos



Fonte: VOSviewer

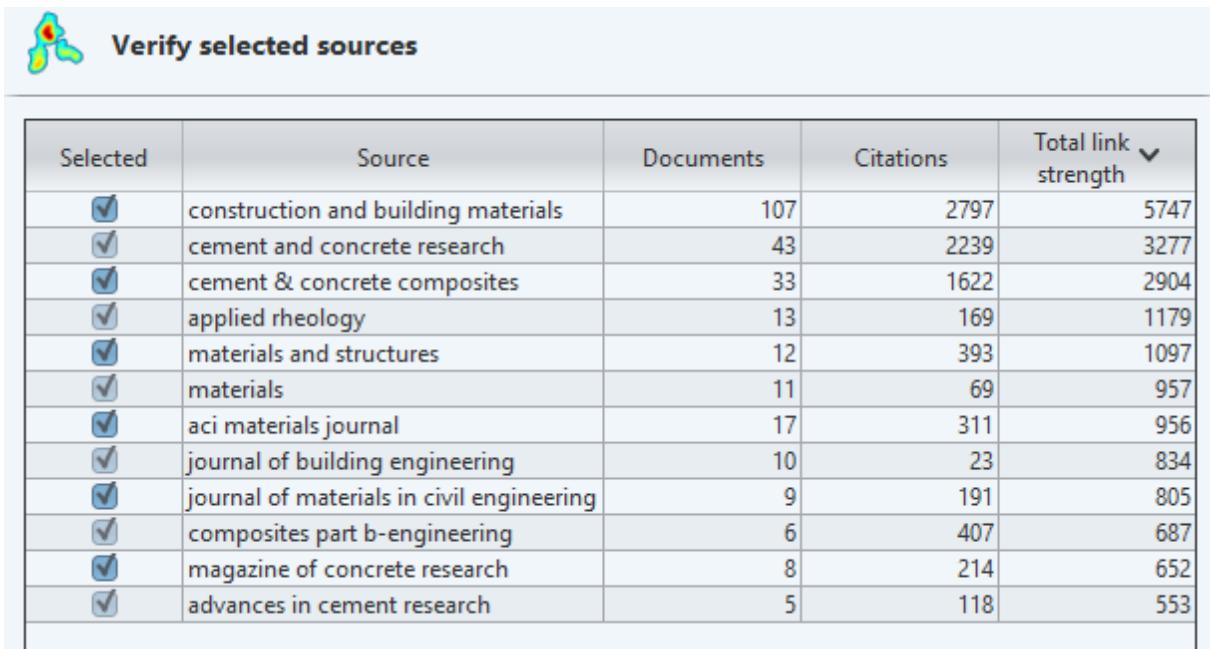
Tabela 3 - Legenda sobre o mapa de rede da unidade de análise dos Periódicos

LEGENDA - UNIDADE DE ANÁLISE: PERIÓDICOS		
Cluster	Periódicos	Força de interação
Vermelho	Construction and building materials;	5747
	Cement & concrete composites	3277
	Journal of building engineering	834
	Journal of materials in civil engineering	805
	Magazine of concrete research	652
	Advances in cement research	553
Azul	Materials	957
	Composites part b-engineering	687
Verde	Cement and concrete research	3277
	Applied rheology	1179
Amarelo	Materials and structures	1097
	Aci materials journal	956

Fonte: O autor (2022)

O periódico com maior número de publicações, contendo 107 artigos; mais bem citado, com 2797 citações e com um maior grau de força nas ligações foi o Construction and Building materials. Este corresponde a uma revista internacional dedicada à investigação e uso inovador de materiais na construção e reparação, bem como a divulgação de pesquisas, desenvolvimentos inovadores e originais no campo da construção com aplicação em novas obras e práticas Construction and Building materials – Elsevier (2022). Como pode-se verificar tanto pelos números apresentados anteriormente e abordados na Figura 23 quanto aos seus propósitos e objetivos, este periódico foi utilizado para publicação da maioria dos principais artigos presentes na base do Web of Sciense.

Figura 23 – Periódicos com maior número de publicações



The screenshot shows a VOSviewer interface with a title 'Verify selected sources'. Below the title is a table with the following data:

Selected	Source	Documents	Citations	Total link strength
<input checked="" type="checkbox"/>	construction and building materials	107	2797	5747
<input checked="" type="checkbox"/>	cement and concrete research	43	2239	3277
<input checked="" type="checkbox"/>	cement & concrete composites	33	1622	2904
<input checked="" type="checkbox"/>	applied rheology	13	169	1179
<input checked="" type="checkbox"/>	materials and structures	12	393	1097
<input checked="" type="checkbox"/>	materials	11	69	957
<input checked="" type="checkbox"/>	aci materials journal	17	311	956
<input checked="" type="checkbox"/>	journal of building engineering	10	23	834
<input checked="" type="checkbox"/>	journal of materials in civil engineering	9	191	805
<input checked="" type="checkbox"/>	composites part b-engineering	6	407	687
<input checked="" type="checkbox"/>	magazine of concrete research	8	214	652
<input checked="" type="checkbox"/>	advances in cement research	5	118	553

Fonte: VOSviewer

Na Figura 18 pode-se observar os países com maior número de autores com publicações nesta revista nos últimos cinco anos, em que a China corresponde ao país com maior número de autores, representando a relevância desse país para a comunidade acadêmica e a este periódico. Em sequência vem os EUA e Austrália.

Figura 24 - Relação dos três países com maior número de autores em publicações da revista Construction and Building materials nos últimos 5 anos



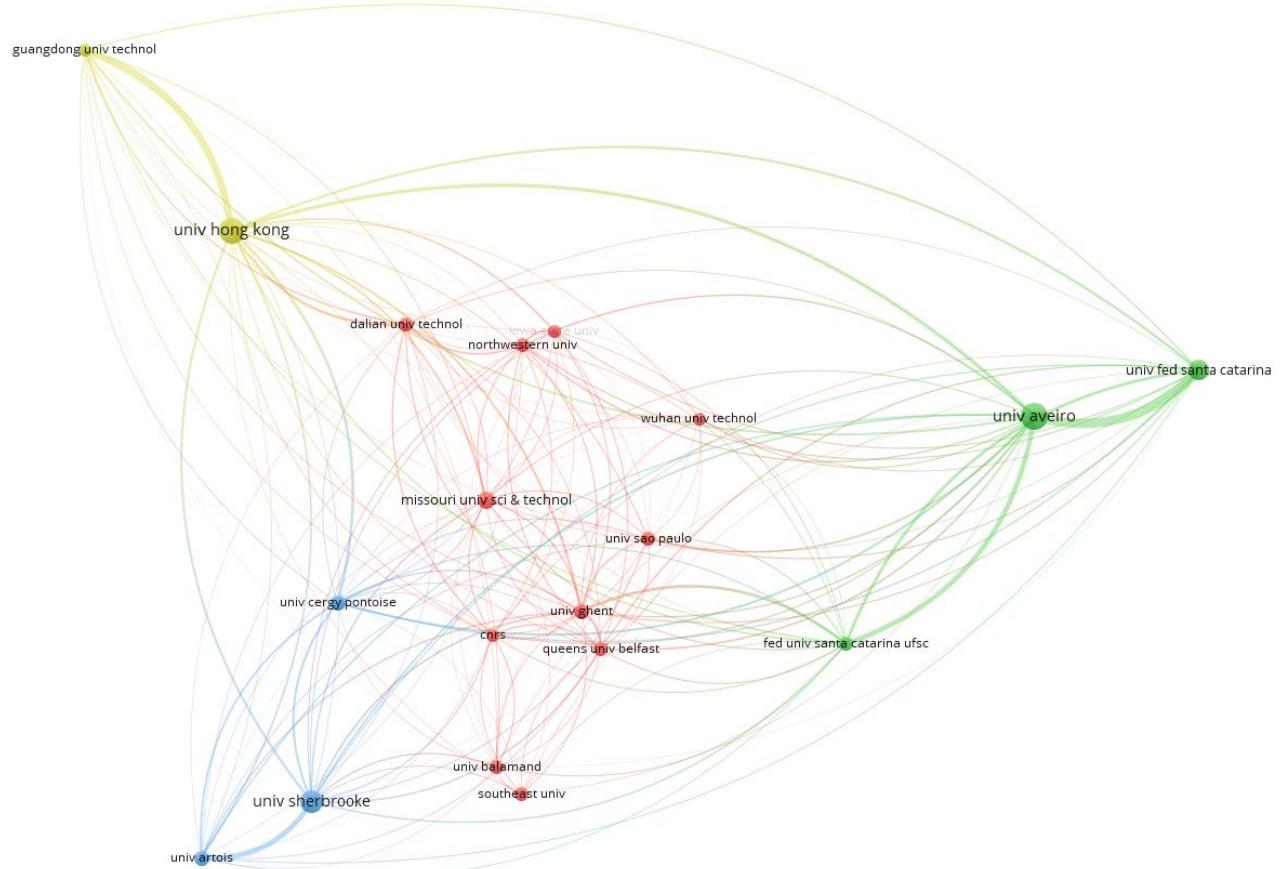
Fonte: <https://www.journals.elsevier.com/construction-and-building-materials>

O segundo periódico com maior número de publicações, 43 publicações, e 2239 citações foi o Cement and Concrete Research, cuja relevância também pode ser observada tanto nos números presentes na Figura 23, quanto na força das conexões com os outros periódicos presente no mapa de rede apresentado. Este periódico corresponde a uma revista, na qual tem o objetivo de publicar as melhores pesquisas sobre ciência e engenharia de materiais de cimento, compósitos de cimento, concreto, argamassas e outros materiais afins que introduzem cimento ou outros ligantes minerais. A revista tem o enfoque em relatar os principais resultados da pesquisa sobre as propriedades e desempenho de materiais cimentícios; novas técnicas experimentais; os mais recentes métodos analíticos e de modelagem; o potencial para melhoria em materiais e outros (Cement and Concrete Research – Elsevier, 2022).

Completando a relação de periódicos com maior número de publicações, 33 publicações e 1622 referências sobre a base de artigos utilizadas, o Cement & Concrete Composites corresponde a uma revista que foi criada para refletir os desenvolvimentos e avanços atuais no campo geral da tecnologia de compósitos cimento concreto e na produção, uso e desempenho de materiais de construção à base de cimento (Cement & Concrete Composites – Elsevier, 2022).

### 4.3.3 Resultado da unidade de análise: Instituições

Figura 25 – Mapa de rede da unidade de análise – Instituições



Fonte: VOSviewer

Tabela 4 - Legenda sobre o mapa de rede da unidade de análise das Instituições

LEGENDA - UNIDADE DE ANÁLISE:INSTITUIÇÕES		
Cluster	Instituições	Força de interação
<b>Vermelho</b>	Univ gent	560
	Univ queens belfast	326
	Univ dalian technol	278
	Univ missouri sci & technol	269
	Univ Northwestern	251
	Univ iowa state	246
	Cnrs	215
	Univ são paulo	211
	Univ balamand	117
	Univ southeast	84
<b>Azul</b>	Univ wuhan technol	80
	Univ sherbrooke	784
	Univ artois	562
<b>Verde</b>	Univ cergy pontoise	442
	Univ. Aveiro	2145
<b>Amarelo</b>	Univ fed santa catarina	1663
	Univ. Hong Kong	1471
	Guangdong univ technol	854

Fonte: O autor (2022)

Um total de 434 instituições foram identificadas a partir da base de artigos definida, em que foram consideradas as instituições com pelo menos cinco estudos publicados, e este critério resultou na seleção de 19 instituições a serem inseridos no mapa de rede do VOSviewer conforme apresenta a Figura 25, em que se observa a formação de 4 clusters dividindo as instituições conforme nível de conexão.

Figura 26 – Instituições com maior número de publicações

Selected	Organization	Documents	Citations	Total link strength
<input checked="" type="checkbox"/>	univ aveiro	22	1225	2145
<input checked="" type="checkbox"/>	univ fed santa catarina	12	947	1663
<input checked="" type="checkbox"/>	univ hong kong	19	664	1471
<input checked="" type="checkbox"/>	univ sherbrooke	15	496	784
<input checked="" type="checkbox"/>	cnrs	5	432	215
<input checked="" type="checkbox"/>	northwestern univ	6	346	251
<input checked="" type="checkbox"/>	iowa state univ	5	293	246
<input checked="" type="checkbox"/>	univ artois	7	256	562
<input checked="" type="checkbox"/>	univ cergy pontoise	7	202	442
<input checked="" type="checkbox"/>	univ ghent	7	189	560
<input checked="" type="checkbox"/>	southeast univ	6	141	84
<input checked="" type="checkbox"/>	queens univ belfast	6	118	326
<input checked="" type="checkbox"/>	dalian univ technol	6	118	278
<input checked="" type="checkbox"/>	missouri univ sci & technol	9	107	269
<input checked="" type="checkbox"/>	fed univ santa catarina ufsc	6	99	788
<input checked="" type="checkbox"/>	univ sao paulo	6	91	211
<input checked="" type="checkbox"/>	guangdong univ technol	5	85	854
<input checked="" type="checkbox"/>	wuhan univ technol	5	52	80
<input checked="" type="checkbox"/>	univ balamand	6	26	117

Fonte: VOSviewer

A Universidade de Aveiro foi a instituição com maior número de citações, ao todo 1225, assim como apresentou o maior número de artigos publicados, 22 no total, conforme podemos observar na Figura 26. Percebe-se no mapa de rede criado que esta instituição apresentou uma forte conexão com a Universidade Federal de Santa Catarina, e em seguida com a Univ. Hong Kong, contudo também apresentou importantes conexões com outras instituições corroborando com a influência de seus trabalhos neste tema acadêmico.

A segunda instituição com maior número de citações foi a Univ Fed Santa Catariana, que por algum motivo a compilação do VOSviewer distinguiu os artigos desta instituição com as da Fed Univ Santa Catarina UFSC, contudo correspondem a mesma universidade. Se considerarmos como uma única, o número de citações total foi de 1046 com 18 artigos publicados considerando a base de artigos definida. Observando a Figura 20 percebe-se um link muito forte com a Univ. de Aveiro possivelmente por ambas apresentarem o mesmo idioma, o português, mas também deve-se considerar e influência desta instituição no tema de reologia das argamassas.

Já a Universidade Politécnica de Hong Kong constituiu a unidade mais relevante do cluster amarelo e a terceira no todo, contando com 664 citações e 19 artigos publicados dos

componentes da base de artigos. Esta instituição é considerada uma das melhores universidades do Ásia, e sua missão é realizar pesquisas de alto impacto que beneficiem o mundo, bem como estimular pensadores críticos, comunicadores eficazes, solucionadores de problemas inovadores e socialmente cidadãos responsáveis.

De modo geral observa-se que as instituições mais influentes, pela quantidade de citações sobre seus artigos, se conectam com a maior parte das demais unidades, em que três dos quatro clusters apresentam claramente uma unidade de referência: cluster verde - Univ. de Aveiro; cluster azul – Univ. Sherkrooke; cluster amarelo – Univ. Hong Kong.

## 5 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho consistiu em realizar uma revisão bibliográfica da reologia das argamassas utilizando a metanálise. De forma resumida, foi aplicada uma metodologia mista de análise, a partir de três tipos: metodologia de análise quantitativa, metanálise e qualitativa, no intuito de, conforme abordado em parágrafos anteriores, possibilitar uma melhor qualidade de análise a partir da complementaridade de diferentes metodologias abordadas. Uma vez estabelecida a estrutura metodológica, a base de dados para seleção dos artigos foi o Web of Science a partir da licença estudante para alunos de graduação da Universidade Federal de Pernambuco, em que a partir dos resultados apresentados algumas conclusões puderam ser observadas conforme será abordado nos parágrafos seguintes.

A partir da base de dados do Web of Science foram realizados etapas de seleção dos artigos seguindo: 1) inserção das palavras chave “mortar rheology”; 2) inserção dos filtros: tipo de documento – artigo, e idioma – inglês; 3) seleção manual dos artigos que estejam de acordo com o tema abordado, em que ao final resultou em 370 artigos componentes da base de artigos utilizada na metanálise e análise qualitativa. O número de artigos elegíveis representa cerca de 50% do total de trabalhos publicados até 2021, um total de 746, filtrados a partir das palavras chave definidas, o que pode ser julgado como uma amostra relevante para a realização da revisão bibliográfica neste estudo, principalmente se considerarmos a utilização de apenas uma base de dados, somado a especificação do assunto sobre o tema argamassas, contudo como será sugerido posteriormente, a utilização de outras bases de dados ou mesmo a determinação de outros filtros e metodologia seletiva poderá resultar em uma base de dados com melhor qualidade para análise.

Na primeira parte da análise qualitativa, a partir da divisão dos artigos em grupos conforme o assunto central abordado, é observada uma preferência na comunidade acadêmica em verificar a influência dos materiais que compõem as pastas e argamassas, representando cerca de 75% do total de artigos da base elegível, do que se compararmos ao enfoque no estudo dos demais grupos aqui abordados. Outro aspecto relevante observado na análise geral dos artigos consiste na irregularidade do número de publicações na base do Web of Science, em que o crescimento consistente na publicação de artigos ocorreu apenas em meados de 2017, contudo anteriormente, em 2007, já houve um notável crescimento na base de publicação dos trabalhos.

No tocante ao grupo: “influência dos materiais na reologia das argamassas” foi notório visualizar a relevância do subgrupo das adições, que representou cerca de 44% dos artigos relacionados ao seu grupo, o que corrobora com a influência destes materiais nas propriedades reológicas das argamassas como: coesão, consistência, plasticidade, adesão. Somado a este alto percentual de representatividade foi observado que constantemente estudos com novos materiais estão sendo desenvolvidos com diferentes objetivos associados,

Contudo, em comum, no intuito em possibilitar alguma melhoria no produto final. As fibras e polímeros seguem o mesmo raciocínio do subgrupo das adições, ou seja, apresentou relevância na representatividade do todo e novos compostos em fibra e polímeros vem sendo atribuídos aos testes com pastas e argamassas. Os demais subgrupos: aditivos, agregados e outros tiveram uma relevância menor se comparado ao dois anteriores, contudo sabemos que exercem influência considerável no comportamento reológico das argamassas.

Já no grupo: “métodos e modelagens aplicados à reologia das argamassas” houve a predominância em desenvolver ou aprimorar novos métodos de ensaio da reologia das argamassas, representando cerca de 47% de seu grupo, em sequência o subgrupo de modelagens em argamassas representando 34% dos trabalhos, em que ambos correspondem a temas que devem ser cada vez mais explorados no âmbito acadêmico. Contudo é válido destacar o crescente número recente de publicações sobre o método construtivo em compostos imprimíveis 3D como sendo uma alternativa construtiva eficiente e ágil para o ramo da construção civil. O último grupo “condições de produção e utilização das argamassas” não foi igualmente abordado como os anteriores, contudo sua importância é relevante para o tema em questão principalmente associado a compreensão das condições da reologia das pastas e argamassas em seu uso e aplicação.

Utilizando o VOSviewer, foi selecionado os dezenove trabalhos mais bem referenciados, em que a maior parte destes e dos demais trabalhos constituintes da base de artigos elegíveis foram publicados no periódico Construction and Building Materials, completando a relação dos três periódicos mais influentes o Cement and Concrete Research e Cement & Concrete Composites. As três instituições mais influentes foram a Universidade de Aveiro, Universidade Federal de Santa Catarina e The University of Hong Kong.

**a) Sugestões de trabalhos futuros**

Como sugestões para trabalhos futuros indica-se a utilização de outras bases de dados para ampliar a amostragem de artigos publicados relacionados ao tema. Outra possibilidade sugestiva corresponde a utilização de outras ferramentas/softwares de metanálise que permitam apresentar outros dados de correlação, integração dos artigos inseridos como input. Essas e outras mudanças podem ser úteis para complementar ou aprimorar o trabalho aqui desenvolvido.

Por fim, é importante reforçar a necessidade crescente na pesquisa e estudo sobre o comportamento reológico das pastas e argamassas, pois ainda nos dias atuais consiste em um dos materiais mais utilizados na construção civil tradicional para diversas funcionalidades, com isso a evolução e melhoria das propriedades destes compostos é essencial para aprimorar a qualidade em seu uso, com maior eficiência e menores custos associados.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, ADOLPHO GUIDO; PEREIRA CARNEIRO, ARNALDO MANOEL; PALHA, RACHEL PEREZ. **SUSTAINABLE CONSTRUCTION MANAGEMENT: A SYSTEMATIC REVIEW OF THE LITERATURE WITH META-ANALYSIS.** JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, v. 256, p. 120350-11, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** 2002.

BANFILL, P. F. G., & SAUNDERS, D. C. (1981). **On the viscometric examination of cement pastes.** Cement and Concrete Research.

BANFILL, PFG. **Use of the viscocorder to study the rheology of fresh mortar.** Magazine of Concrete Research 42 (153) (1990), pp.213-221.

BANFILL, PFG. **The rheology of fresh mortar.** Magazine of Concrete Research. 43 (154) (1991), pp.13-21.

BANTHIA, N. **Cement and Concrete Composites. Elsevier, 2022.** Disponível em: <<https://www.journals.elsevier.com/cement-and-concrete-composites>>. Acesso em 20 de março de 2022.

BARLUENGA, G.; HERNANDEZ-OLIVARES, F. **SBR latex modified mortar rheology and mechanical behaviour** Cem. Concr. Res., 34 (3) (2004), pp. 527-535.

BAUER, E.; SOUZA, J.G.G.; GUIMARÃES, E.A.; SILVA, F.G.S. **Study of the laboratory Vane test on mortars.** In: Building and Environment, v.42, n.1, p.86-92, 2007.

BAZ, B.; AOUAD G.; J. KLEIB, D. BULTEEL, S. REMOND. **Durability assessment and microstructural analysis of 3D printed concrete exposed to sulfuric acid environments.** Constr. Build. Mater., 290 (2021), Article 123220.

BOMBLED, J. P. **Comportement rhéologique des pâtes, morties et bétons: mesure, évolution, influence de certains paramètres.** Revue des Matériaux de Construction "Ciments et Bétons", n.617, fev. 1967.

BUSWELL, R.A.; LEAL DE SILVA W.R.; JONES S.Z.; DIRRENBERGER, J. **3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research.** Cem. Concr. Res., 112 (2018), pp. 37-49.

CAO, M.; LI, L. **New models for predicting workability and toughness of hybrid fiber reinforced cement-based composites.** Constr. Build. Mater., 176 (2018), pp. 618-628.

CHEN, J.J.; LI, B.H.; NG, P.L.; KWAN, A.K.H. **Adding granite polishing waste as sand replacement to improve packing density, rheology, strength and impermeability of mortar.** Powder Technol., 364 (2020), pp. 404-415.

CINCOTTO, M. A.; SILVA; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: propriedades, características e métodos de ensaios**, IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 1995, 118p.

CORINALDESI, VALERIA. **Mechanical and elastic behaviour of concretes made of recycled-concrete coarse aggregates**. *Construction and Building Materials*. 24, 1616-1620. 2010.

CINCOTTO, M.; RAGO, F. **A reologia da pasta de cimento e a influência da cal**. In: Simpósio Brasileiro de tecnologia das argamassas, 1., 1995. Goiânia. Anais... Goiânia: SBTA, 1995.

COSTA T. L.; DUARTE M. E. M.; BELTRÃO N. E.; SEVERINO L. S.; PAIXÃO F. J. R.; RIBEIRO D. **Estudo da viscosidade do óleo de mamona para Temperaturas na faixa de 20 a 80 °C**, II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, Universidade Federal de Lavras e Prefeitura Municipal de Varginha.

DI MUNDO R.; SEARA-PAZ, S.; GONZÁLEZ-FONTEBOA, B.; NOTARNICOLA, M. **Masonry and render mortars with tyre rubber as aggregate: Fresh state rheology and hardened state performances**. *Constr. Build. Mater.*, 245 (2020), p. 118359.

FERRARA, L.; CREMONESI, M.; TREGGER, N.; FRANGI, A.; SHAH, S.P. **On the identification of rheological properties of cement suspensions: rheometry, computational fluid dynamics modeling and field test measurements**. *Cem. Concr. Res.*, 42 (8) (2012), pp. 1134-1146.

FELEKOGLU, B.; TOSUN, K.; BARADAN, B.; ALTUN, A.; UYULGAN, B. **The Effect of Fly Ash and Limestone Fillers on the Viscosity and Compressive Strength of Self-compacting Repair Mortars**. *Construction and Building Materials*, Vol. 36, No. 9, 2006, pp. 1719-1726.

FLATT, ROBERT. **Cement and Concrete Research**. Elsevier, 2022. Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/cement-and-concrete-research>. Acesso em 20 de março de 2022.

FORDE, MICHAEL. **Construction and Building Materials**. Elsevier, 2022. Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/construction-and-building-materials>. Acesso em 20 de março de 2022.

GOLASZEWSKI, J.; SZAWABOWSKI, J. **Influence of superplasticizers on rheological behaviour of fresh cement mortars**. *Cement Concr. Res.*, 34 (2) (2004), pp. 235-248.

GOUGH, D. **Qualitative and mixed methods in systematic reviews**. *Syst Rev* 4, 181 (2015).

GUPTA, S.; KUA, H.W. **Carbonaceous micro-filler for cement: Effect of particle size and dosage of biochar on fresh and hardened properties of cement mortar**. *Sci. Total Environ.*, 662 (2019), pp. 952-962.

GUPTA, S.; KUA, H.W. **Application of rice husk biochar as filler in cenosphere modified mortar: preparation, characterization and performance under elevated temperature.** Constr. Build. Mater., 253 (2020), Article 119083.

HAFID, H.; OVARLEZ, G.; TOUSSAINT, F.; JEZEQUEL, P.H.; ROUSSEL, N. **Effect of particle morphological parameters on sand grains packing properties and rheology of model mortars.** Cem. Concr. Res., 80 (2016), pp. 44-51.

HAMMAT, S.; MENADI, B.; KENAI, S.; KHATIB, J.; & KADRI, E. H. **Properties of self-compacting mortar containing slag with gentes finenesses.** Civil Engineering Journal (Iran). (2021)

HOSSEINZADEH, N.; KOSAR, K.; RAMANTHAN, S.; SURANENI, P. **Operator-induced variability caused by hand mixing of cement paste-Effects on fresh and hardened properties.** Adv. Civ. Eng. Mater., 8 (2019), pp. 435-450.

KANNING, R.C.; PORTELLA, K.F.; BRAGANÇA, M.O.G.P.; SANTOS J.C.M. **Banana leaves ashes as pozzolan for concrete and mortar of Portland cement.**

KANG, D.; MOON, D.; KIM, W. **Changes in Rheological Properties of Mortars with Steel Slags and Steel Fibers by Magnetic Field.** Materials (Basel). 2021 Jul 17;14(14):4005.

KUDO, ELISABETE KIOKO. **Caracterização reológica de argamassas colantes.** E.K.Kudo -- ed.rev.--São Paulo, 2012. 140p.

KUDER, K.G.; OZYURT N.; UM E.B.; SHAH S.P. **Rheology of fiber-reinforced cementitious materials.** Cem Concr Res. (2007). 37(2):191–199.

KWAN A.K.H.; FUNG, W.W.S.; WONG, H.Z.H.C. **Water film thickness, flowability and rheology of cement–sand mortar.** Adv. Cem. Res., 22 (1) (2010), pp. 3-14

KWAN, A.K.H.; LI, L.G. **Combined effects of water film thickness and paste film thickness on rheology of mortar.** Mater. Struct. Constr., 45 (2012), pp. 1359-1374.

J. KWASNY, J.; SONEBI, M.; PLASSE, J.; AMZIANE, S. **Influence of rheology on the quality of surface finish of cement-based mortars.** Constr. Build. Mater., 89 (2015), pp. 102-109.

LEEMANN, A.; WINNEFELD, F. **The effect of viscosity modifying agents on mortar and concrete** Cem. Concr. Compos., 29 (2007), pp. 341-349.

LIN, T.; Ge, R.; HUANG, J.; ZHAO, Q.; LIN, J.; HUANG, N.; ZHANG, G.; LI, X.; Ye, H.; YIN, K. **A quantitative method to assess the ecological indicator system's effectiveness: A case study of the Ecological Province Construction Indicators of China.** Ecological Indicators 62, 95–100, 2016.

MARSH, SHONA. **Netzsch-Gerätebau, 2020.** Disponível em: <https://ta-netzsch.com/viscometer-or-rheometer-which-is-best-for-me>. Acesso em 23 de Abril de 2022.

J. MAYBURY, J.; HO, J.C.M.; BINHOWIMAL, S.A.M. **Fillers to lessen shear thickening of cement powder paste.** Constr. Build. Mater., 142 (2017), pp. 268-279.

- MECHTCHERINE, V.; SECRIERU, E.; SCHRÖFL, C. **Effect of superabsorbent polymers (SAPs) on rheological properties of fresh cement-based mortars development of yield stress and plastic viscosity over time.** Cement Concr. Res., 67 (2015), pp. 52-65.
- MEHDIPOUR, I.; VAHDANI M, LIBRE NA AND SHEKARCHI, M. **Relationship between workability and mechanical properties of fibre-reinforced self-consolidating mortar.** Magazine of Concrete Research 65(17): 1011–102. (2013)
- MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D.G. **Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement.** International Journal of Surgery 8, 336–341. 2010.
- MIN, B.H.; ERWIN, L.; JENNINGS, H.M. **Rheological behavior of fresh cement paste as measured by Squeeze Flow.** Journal of Material Science, v29, p. 1374 - 1381. 1994.
- NASCIMENTO, C. R. **Ensaios em reômetro rotacional tipo cilindros coaxiais.** Trat. Minérios Práticas Lab., p. 425, 2007
- NEHDI, M.; MINDESS, S.; AÏTCIN, P.-C. **Statistical modelling of the microfiller effect on the rheology of composite cement pastes.** Adv. Cem. Res., 9 (33) (1997), pp. 37-46.
- NESSIM, A. A.; WAJDA, R. L. **The rheology of cement pastes and fresh mortars[J].** Mag Concr Res, 1965, 17(15): 59–68.
- PANDA, B.; RUAN, S.; UNLUER, C.; TAN, M.J. **Improving the 3D printability of high volume fly ash mixtures via the use of nano attapulgite clay.** Compos. Part B Eng., 165 (2019), pp. 75-83,
- PANDA, B.; TAN, M.J. **Rheological behavior of high volume fly ash mixtures containing micro silica for digital construction application.** Mater. Lett., 237 (2019), pp. 348-351.
- PENG, J.; DENG, D.; LIU, Z.; YUAN, Q.; YE, T. **Rheological models for fresh cement asphalt paste.** Construction and Building Materials, Volume 71, 2014, Pages 254-262.
- PETIT, J.-Y.; WIRQUIN, E.; KHAYAT, K.H. **Effect of temperature on the rheology of flowable mortars** Cem. Concr. Compos., 32 (1) (2010), pp. 43-53.
- PETIT, J.-Y.; WIRQUIN, E.; VANHOVE, Y.; KHAYAT, K.H. **Yield stress and viscosity equations for mortars and self-consolidating concrete.** Cem. Concr. Res., 37 (5) (2007), pp. 655-670.
- PETIT, J.-Y.; WIRQUIN, E.; KHAYAT, K.H. **Coupled effect of time and temperature on variations of yield value of highly flowable mortar.** Cem. Concr. Res., 36 (5) (2006), pp. 832-841.
- PETROU, MICHAEL & WAN, BAOLIN & GADALA-MARIA, FRANCIS & KOLLI, V.G. & Harries, Kent. **Influence of mortar rheology on aggregate settlement.** ACI Structural Journal. 97. 479-485. 2000.

PILEGGI, R.G. **Ferramentas para o estudo e desenvolvimento de concretos refratários.** São Carlos, 2001. 187p Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos.

PUERTAS, F.; VARGA, C.; ALONSO, M.M. **Rheology of alkali-activated slag pastes. Effect of the nature and concentration of the activating solution** Cem. Concr. Compos., 53 (2014), pp. 279-288.

QIAN, Y.; KAWASHIMA, S. **Flow onset of fresh mortars in rheometers: Contribution of paste deflocculation and sand particle migration.** Cem. Concr. Res., 90 (2016), pp. 97-103.

SADMOMTAZI, A.; NOOROLLAHI, Z.; TAHMOURESI, B.; SARADAR, A. **Effects of hauling time on self-consolidating mortars containing metakaolin and natural zeolite.** Constr. Build. Mater., 221 (10) (2019), pp. 283-291.

SKELLAND, A. H. P. **Non-Newtonian Flow and Heat Transfer.** John Wiley & Sons, Inc., New York, NY. 1967.

L. SENFF, L.; HOTZA, D.; LABRINCHA, J.A. **Effect of lightweight aggregates addition on the rheological properties and the hardened state of mortars.** Appl. Rheol., 21 (2010), p. 13668.

L. SENFF, L.; HOTZA, D.; LABRINCHA, J.A. **Effect of lightweight aggregates addition on the rheological properties and the hardened state of mortars.** Appl. Rheol., 21 (2011), pp. 1-8.

SENFF, L; LABRINCHA, J.A; FERREIRA, V.M; HOTZA, D; REPETTE W.L. **Effect of nano-silica on rheology and fresh properties of cement pastes and mortars,** Construction and Building Materials, Volume 23, Issue 7, 2009.

SENFF, L.; ASCENSAO, G.; FERREIRA, V.M.; SEABRA, M.P.; LABRINCHA, J.A. **Development of multifunctional plaster using nano-TiO<sub>2</sub> and distinct particle size gentes fibers.** Energy Build. 2018, 158, 721–735.

SIQUEIRA, I.S. **Influência da adição de polpas celulósicas de pinho e eucalipto na hidratação e comportamento mecânico de pastas de cimento.** Dissertação de M. Sc. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2014.

SHIROMA, P. H.; et al. **Estudo do Comportamento Reológico de Soluções Aquosas de CMC: Influência da Concentração de NaCl.** In XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Búzios, 2012. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química., 2012.

SONEBI, M.; DEDENIS, M.; AMZIANE, S.; ABDALQADER, A.; PERROT, A. **Effect of Red Mud, Nanoclay, and Natural Fiber on Fresh and Rheological Properties of Three-Dimensional Concrete Printing.** Materials Journal Volume: 118 Issue: 6 Appears on pages(s): 97-110.

TATTERSALL, G. H. “**The rationale of a two-point workability test**”, Mag. Concr. Res., 25 (1973) 169-172.

TORRES-CARRASCO, M.; RODRÍGUEZ-PUERTAS, C.; ALONSO, M.D.M.; PUERTAS, F. **Alkali activated slag cements using waste glass as alternative activators. Rheological behaviour** Bol. La Soc. Esp. Ceram. y Vidr., 54 (2) (2015), pp. 45-57

VOSviewer Manual. 2020.

WESTERHOLM, M.; LAGERBLAD, B.; SILFWERBRAND, J.; FORSSBERG, E. **Influence of fine aggregate characteristics on the rheological properties of mortars.** Cem. Concr. Compos., 30 (4) (2008), pp. 274-282.

WINNEFELD, F.; BECKER, S.; PAKUSH, J.; GÖTZ, T. **Effects of the molecular architecture of comb-shaped superplasticizers on their performance in cementitious systems,** Cement and Concrete Composites, Volume 29, Issue 4, 2007, Pages 251-262.

Wong, H.H.C.; Kwan, A.K.H. **Rheology of cement paste: role of excess water to solid surface area ratio.** J. Mater. Civ. Eng., 20 (2008), pp. 189-197.

YAHIA, A.; TANIMURA, M.; SHIMOYAMA, Y.: **Rheological properties of highly flowable mortar containing limestone filler-effect of gent gentes and W/C ratio.** Cem. Concr. Res. 35(3), 532–539 (2005).

ZHANG, Y.U.; ZHANG, Y.; SHE, W; YANG, L.; LIU, G; YANG, Y. **Rheological and harden properties of the high-thixotropy 3D printing concrete.** Constr. Build. Mater., 201 (2019), pp. 278-285.

Site oficial da Universidade de Aveiro. Disponível em:

[https://www.ua.pt/pt/sobreos#:~:text=A%20Universidade%20de%20Aveiro%20\(UA,a%20coopera%C3%A7%C3%A3o%20com%20a%20sociedade.](https://www.ua.pt/pt/sobreos#:~:text=A%20Universidade%20de%20Aveiro%20(UA,a%20coopera%C3%A7%C3%A3o%20com%20a%20sociedade.) Acesso em 20 de março de 2022.