

112

SÉRIE Tecnologia Ambiental

Resinas aplicadas ao beneficiamento de rochas ornamentais

Alexandre Moni Pereira

Lucas Andrade Silva

Thiago Guedes Garrot

Julio Cesar Guedes Correia

Alexandre Nelson Martiniano Carauta

CETEM
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL



SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Resinas aplicadas ao beneficiamento de rochas ornamentais

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Jair Messias Bolsonaro

Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES

Marcos Cesar Pontes

Ministro de Estado

Leonidas de Araujo Medeiros Junior

Secretário-Executivo

Darcton Policarpo Damiano

Subsecretário de Unidades Vinculadas

Alexandre Mendonça Gonçalves

Coordenador-Geral de Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Silvia Cristina Alves França

Diretora

Marusca Santana Custodio

Coordenadora Substituta de Administração - COADM

Robson de Araújo D'Ávila

Coordenador de Planejamento, Gestão e Inovação - COPGI

Paulo Fernando Almeida Braga

Coordenador de Processamento e Tecnologias Minerais - COPTM

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Coordenadora de Processos Metalúrgicos e Ambientais - COPMA

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Coordenador de Rochas Ornamentais - CORON

José Antônio Pires de Mello

Coordenador de Análises Minerais - COAMI

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

ISSN 0103-7374

ISBN 978-65-5919-023-2

STA - 112

Resinas aplicadas ao beneficiamento de rochas ornamentais

Alexandre Moni Pereira

Graduando em Química pela Fundação Técnico Educacional Souza Marques - FTESM
Bolsista PCI do CETEM/MCTI

Lucas Andrade Silva

Eng. Químico pela EQ/UFRJ
Bolsista PCI do CETEM/MCTI

Thiago Guedes Garrot

Graduando em Eng. Química pela EQ/UFRJ
Bolsista PCI do CETEM/MCTI

Julio Cesar Guedes Correia

Químico Industrial, D.Sc. em Engenharia Mineral pela EPUSP
Pesquisador Titular do CETEM/MCTI

Alexandre Nelson Martiniano Carauta

Químico, D.Sc. em Química pela PUC/RJ. Professor da Fundação Técnico Educacional Souza Marques - FTESM
Pesquisador Colaborador do LABMOL/CETEM

CETEM/MCTI

2020

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Luis Gonzaga Santos Sobral

Editor

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Subeditora

CONSELHO EDITORIAL

Marisa Bezerra de M. Monte (CETEM), Paulo Sergio M. Soares (CETEM), Saulo Rodrigues P. Filho (CETEM), Silvia Gonçalves Egler (CETEM), Vicente Paulo de Souza (CETEM), Antonio Carlos Augusto da Costa (UERJ), Fátima Maria Zanon Zotin (UERJ), Jorge Rubio (UFRGS), José Ribeiro Aires (CENPES), Luis Enrique Sánches (EPUSP), Virginia Sampaio Ciminelli (UFMG).

A Série Tecnologia Ambiental divulga trabalhos relacionados ao setor minerometalúrgico, nas áreas de tratamento e recuperação ambiental, que tenham sido desenvolvidos, ao menos em parte, no CETEM.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Valéria Cristina de Souza

Coordenação Editorial

Editoração Eletrônica

Julio Cesar Guedes Correia

Revisão

Clarissa Cezário da Cunha

CRB7 6123

Catologação na Fonte

P436 Pereira, Alexandre Moni

Resinas aplicadas ao beneficiamento de rochas ornamentais / Alexandre Moni Pereira [et al.]. —Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2020.

53p.: il. (Série Tecnologia Ambiental, 112)

1. Rochas ornamentais. 2. Resinas. 3. Óleo de mamona. 4. Beneficiamento de rochas. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Silva, Lucas Andrade. III. Garrot, Thiago Guedes. IV. Correia, Julio Cesar Guedes. V. Carauta, Alexandre Nelson Martiniano. VI. Título. VII. Série.

CDD – 665.353

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Rochas Ornamentais e seu Beneficiamento	9
1.2 Granito	10
1.3 Beneficiamento	13
2 RESINA EPÓXI	17
2.1 DGEBA	17
2.2 Cura	19
2.3 Epóxi Curada	22
3 RESINA POLIURETANA À BASE DE MANONA	25
3.1 Óleo de Mamona	26
3.2 Estólitos do Ácido Recinoléico	29
3.3 Poliuretanos	30
3.4 Isocianatos	31
3.5 Poliós	34
3.6 Poliuretanas à Base de Mamona	35
4 REVISÃO DE TRABALHOS DO CETEM	38
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

RESUMO

O setor de rochas ornamentais se apresenta como forte participante na economia brasileira. Toda uma infraestrutura industrial se desenvolveu em torno da exploração mineral para esse fim em cidades como Cachoeiro de Itapemirim no Espírito Santo. Durante o beneficiamento das rochas, mais especificamente o acabamento superficial das mesmas, muitas etapas envolvem o uso de resinas poliméricas, tanto para correção de imperfeições quanto para potencializar propriedades funcionais e estéticas. A maioria das resinas utilizadas é de fonte petroquímica, como as resinas epóxis, e sua substituição por produtos de origem vegetal vêm sendo estudada e viabilizada. Diversas espécies vegetais apresentam potencial para tal fim, mas o óleo de mamona tem se mostrado um excelente produto substituto, em particular por causa do seu principal componente, o ácido ricinoléico. As características das resinas derivadas de óleo de mamona têm se mostrado muito próximas das resinas tradicionais, o que reforça a sua substituição. Dessa forma, este texto traz uma breve revisão sobre diversos aspectos da aplicação dessas resinas vegetais no setor de rochas ornamentais no Brasil, inclusive uma curta revisão dos trabalhos recentes do CETEM nessa área.

Palavras-chave:

Rochas ornamentais, resinas, óleo de mamona, poliuretanas, beneficiamento de rochas.

ABSTRACT

The dimension stone sector is a strong player in the Brazilian economy. An entire industrial infrastructure was developed around mineral exploration for this purpose in cities such as Cachoeiro de Itapemirim in Espírito Santo. During the processing of the stones, more specifically the surface finishing of such rocks, many steps involve the use of polymeric resins, both to correct imperfections and to enhance functional and aesthetic properties. Most of the resins used are from petrochemical sources, such as epoxies, and their substitution for products of plant origin has been studied and made possible. Several plant species have potential for this purpose, but castor oil has proved to be an excellent substitute product, in particular because of its main component, ricinoleic acid. The characteristics of resins derived from castor oil have shown to be very close to traditional resins, which reinforce their replacement. Thus, this text provides a brief review of several aspects of the application of these plant-based resins in the sector of dimension stones in Brazil, including a short review of recent works accomplished in CETEM in this area.

Keywords:

Dimension stones, resins, castor oil, polyurethanes, stone processing.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 | Rochas Ornamentais e seu Beneficiamento

Na geologia, rochas são definidas como agregados minerais de ocorrência natural. Em termos químicos, pode-se dizer que são soluções minerais sólidas. Já minerais são substâncias sólidas naturais, inorgânicas e homogêneas, que possuem composição química definida e estrutura atômica característica. As rochas são comumente divididas em três diferentes categorias, de acordo com sua formação. (CARMICHAEL; KLEIN, 2020; KLEIN; DUTROW, 2007):

- **Rochas ígneas:** Formadas de magma solidificado;
- **Rochas sedimentares:** Formadas através da precipitação de fragmentos de outras rochas e de outros materiais;
- **Rochas metamórficas:** Formadas através da modificação física ou química de outras rochas.

A terminologia que cerca as rochas ainda é discrepante no Brasil e no mundo; entretanto, independentemente de como são conhecidas, as rochas ornamentais ou dimensionadas são, segundo VIDAL, AZEVEDO, & CASTRO (2013):

“Rocha natural submetida a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, com formatos e tamanhos específicos para atender a requisitos dimensionais exigidos para fins estruturais e arquitetônicos e que exerça função estética”.

As rochas ornamentais são extremamente importantes para a economia brasileira e chegaram a gerar 1.107,1 milhões de

dólares em 2017. Na Tabela 1 pode-se observar o perfil de produção brasileira por tipo de rocha no mesmo ano. (CHIODI FILHO, 2018a, 2018b).

Tabela 1. Perfil de produção brasileira por tipo de rocha.

Tipo de Rocha	Produção (Mt)	Participação (%)
Granito e similares	5,0	54
Mármore e Travertino	2,0	22
Ardósia	0,4	4,5
Quartzito Foliado	0,3	3
Quartzito Maciço	0,9	10
Pedra Miracema	0,2	2
Outros	0,4	4,5
Total estimado	9,2	100

Rochas graníticas e similares se destacam por representarem mais de 50% da produção brasileira e, por isso, suas características são amplamente estudadas.

1.2 | Granito

Granitos são rochas magmáticas intrusivas, ou suas derivadas metamórficas, de granulação média à grossa e são compostos por feldspatos, quartzos e micas, sendo feldspatos os componentes majoritários integrando de 50 a 70% da rocha (LUZ; LINS, 2008). Duas classes de feldspatos se mostram mais comuns em granitos: Os sódicos (plagioclásios), e os potássicos (ortoclásios), geralmente aparecem na forma de albita (mineral branco acinzentado, de fórmula molecular $NaAlSi_3O_8$) ou ortoclásio (mineral normalmente esverdeado ou róseo, de fórmula molecular $KAlSi_3O_8$), respectivamente

(KLEIN; DUTROW, 2007). A Figura 1 apresenta as fórmulas estruturais de ambos os feldspatos, corroborando que a similaridade entre os minerais não é apenas química, mas também estrutural.

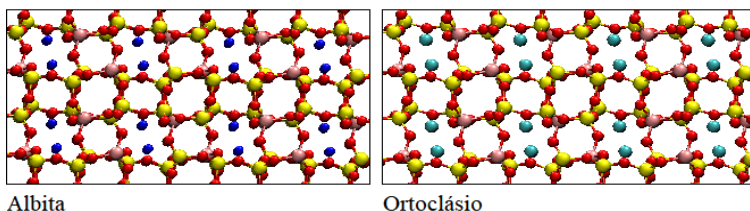


Figura 1. Fórmulas estruturais da albita e do ortoclásio. Amarelo-Si; Rosa-Al; Vermelho-O; Azul-Na; Ciano-K.

A Figura 2 demonstra como estas mudanças estruturais e moleculares se tornam mais perceptíveis na macroescala, possibilitando a diferenciação entre os minerais ao se considerar a cor apresentada. Em concordância com o trecho acima, as rochas de tonalidade branca ou acizentada possuem albita em sua composição, já as esverdeadas ou rosadas possuem traços de ortoclásio. Podem ocorrer, ainda, substituições na estrutura mineral, gerando cores novas: o vermelho, por exemplo, gerado por substituições de sódio por potássio e cálcio, obedecendo a estequiometria (KLEIN; DUTROW, 2007; LIRA; NEVES, 2013).

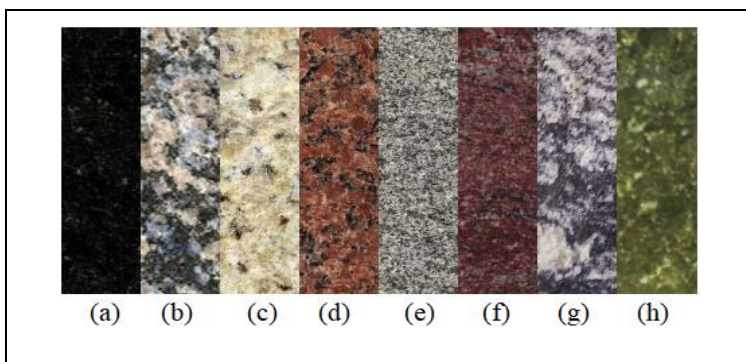


Figura 2. Exemplos de granitos. Adaptado de (NOGAMI, 2012).

NOGAMI (2012), em sua tese, analisou cada uma das rochas apresentadas na Figura 2, listando suas composições mineralógicas e suas caracterizações tecnológicas. Todos os “granitos” apresentaram ao menos 50% de feldspatos em sua composição. Cada uma das rochas é listada a seguir, sendo definidas por seus nomes comerciais, suas classificações petrográficas e o principal feldspato em sua composição:

Exemplo: x. Nome comercial. Classificação petrográfica.
Principal feldspato.

- Preto São Gabriel. Hiperstênio diorito. Andesina (70-50% de Albita).
- Azul Fantástico. Monzogranito Porfiróide Serial Gnaissificado. Oligoclásio (90-70% de Albita).
- Amarelo Ornamental. Granada Gnaisse Porfiroblástico. Ortoclásio.
- Vermelho Brasília. Sienogranito. Microclínio (90 – 70% Ortoclásio).

- Cinza Andorinha. Monzogranito. Microclínio.
- Jacarandá Rosado. Migmatito Sienogranítico. Microclínio.
- Preto Indiano. Migmatito com estrutura dobrada. Microclínio.
- Verde Labrador. Charnockito inequigranular discretamente gnaissificado. Ortoclásio.

As porcentagens de albita e microclínio acima foram obtidos de LIRA & NEVES (2013).

Antes de serem comercializados, os granitos, assim como diversas rochas ornamentais, passam por processos de beneficiamento que visam realçar as características necessárias para o uso previsto. Sem tal beneficiamento, as peças rochosas perdem valor comercial gerando prejuízos (SOUSA, 2007; VIDAL; AZEVEDO; CASTRO, 2013).

1.3 | Beneficiamento

Como citado, o processo de acabamento superficial das rochas ornamentais a transformação das rochas em produtos parcialmente ou completamente acabados. Sendo assim, pode-se dividir tal processo em duas partes (VIDAL; AZEVEDO; CASTRO, 2013):

Beneficiamento primário (desdobramento) – Compreende a preparação e serragem dos blocos. As chapas formadas possuem espessuras próximas das utilizadas nos produtos finais, variando de 2 a 3 centímetros. Diversas técnicas e equipamentos são utilizados durante o processo, evitando a deterioração das chapas finais. Uma técnica comum é o envelopamento com resinas. Já os equipamentos mais

amplamente utilizados são os teares multilâmina, o tear monolâmina, o talha-blocos de disco diamantado, os teares multifio diamantados e o tear monofio diamantado.

Beneficiamento secundário ou final (Acabamento das chapas) – Compreende o tratamento superficial, onde as chapas são transformadas em chapas acabadas. As chapas passam por processos de polimento, flamagem, apicoamento, escovação, resinagem, entre outros.

No ramo de rochas ornamentais, as resinas poliméricas tem grande aplicação. São sólidos macios ou substâncias altamente viscosas de alto peso molecular que costumam possuir radicais reativos passíveis de polimerização. Originalmente o termo definia apenas resinas naturais, tais como a laca e o âmbar; entretanto, com o avanço da química industrial, passou a definir, também, compostos sintéticos, em especial, monômeros de termoendurecíveis (IUPAC, 2009; McKILLIP et al., 2005).

Problemas relacionados à toxicidade e a danos ambientais são comuns ao falar das resinas utilizadas atualmente, por isso o desenvolvimento de novos produtos “verdes” faz-se necessário. A resina mais consolidada no Brasil e no mundo é a epóxi, um líquido incolor e viscoso com alta resistência térmica e química, adesão e força mecânica. (PAZETO, 2017; PESSÔA, 2015; PRATES, 2014).

Cada processo que utiliza resinas no beneficiamento de rochas requer um nível de adesividade, transparência e resistência diferentes, o que abre a possibilidade de aplicação para novas resinas, mesmo que essas sejam inferiores à epóxi em algum

destes quesitos (cor ou resistência, por exemplo). Em seguida estão os principais processos que utilizam resinas no setor de rochas ornamentais.

1.3.1 | Resinagem

As resinas são aplicadas na superfície das chapas, num processo conhecido como resinagem, proporcionando resistência mecânica e química, além de preencher os poros e microdescontinuidades. Com a redução da porosidade, as chapas rochosas passam a apresentar mais cor e brilho após a realização do polimento (PAZETO, 2017). Este processo tem um caráter tanto funcional quanto estético.

1.3.2 | Envelopamento

O processo de envelopamento ocorre antes da etapa de serragem dos blocos de rocha. Ele consiste em recobrir o bloco com uma resina, literalmente o envelopando. Dessa forma, o bloco fica mais resistente a fraturas, impedindo que as chapas produzidas ao serrar o bloco trinquem ou quebrem. Esse é um processo em que a resina é usada com objetivo puramente funcional e não estético.

1.3.3 | Estucamento

O processo de estucamento visa preencher fissuras abertas nas chapas de rocha utilizando resina e o pó da própria rocha. Esse processo se faz necessário especialmente em rochas com alto grau de fraturamento, formadas por grandes cristais e com grande número de fissuras inter e intra-cristalinas. Nesse processo, o uso da resina cumpre tanto o caráter funcional quanto estético.

1.3.4 | Telagem

O processo de telagem consiste em aplicar uma tela colada com resina na parte de trás da placa de rocha (parte que não será polida). O objetivo é dar à chapa maior resistência à flexão e impedir quebras e trincas durante o manuseio das placas nos processos seguintes e no seu transporte. Assim como no envelopamento, o uso da resina tem caráter funcional e não estético.

2 | RESINA EPÓXI

O termo resina epóxi é dado ao grupo de pré-polímeros que possuem, ao menos, um grupamento epóxi, também conhecido como glicidil (Figura 3) caracterizado por um anel de três membros, dois carbonos e um oxigênio. Após a cura, a resina não possui mais o grupamento glicidil; entretanto, continua sendo conhecida como epóxi (AUGUSTSSON, 2004; ELLIS, 1993).

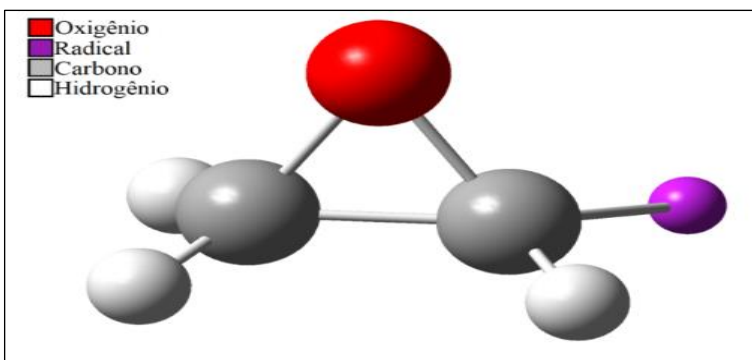


Figura 3. Representação do Anel Epoxídico.

2.1 | DGEBA

A primeira resina epóxi comercializada foi o DGEBA (diglicidil éter de bisfenol-A), produto do trabalho independente de Pierre Castan e de Sylvan Greenlee na década de 1940; resinas similares foram patenteadas na década anterior, mas não alcançaram sucesso comercial. Atualmente o DGEBA continua sendo a resina mais utilizada, assim como sua rota de produção, criada por Castan e Greenlee, baseada na reação entre bisfenol-A e epícloridrina, como mostrada na Figura 4. (ELLIS, 1993).

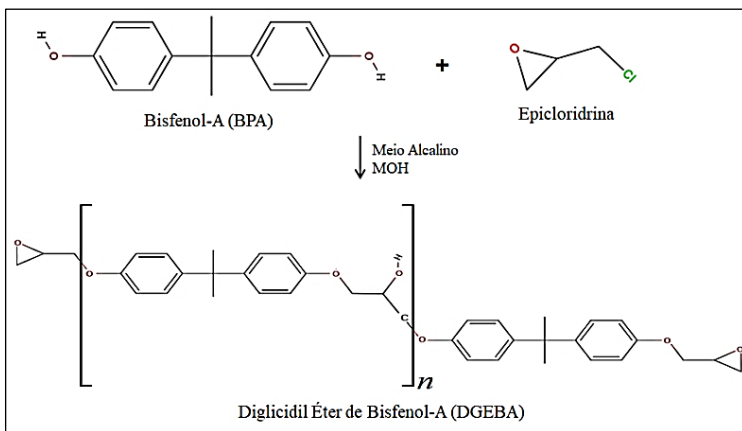


Figura 4. Síntese do DGEBA.

Onde “M” em MOH é o metal que compõe a base, geralmente sódio, e “n” é um número inteiro que determina a quantidade de repetições da estrutura entre colchetes. O valor de “n” é diretamente proporcional a proporção entre bisfenol-A e epicloridrina e determina a massa molecular média da resina (ELLIS, 1993).

Resinas epóxi podem ser classificadas pela sua média de massa molecular. Resinas com a média de massa superior a 700 g/mol, são conhecidas como resinas de alta massa molecular, e as inferiores ao mesmo valor, são conhecidas como resinas de baixa massa molecular. Resinas de alta massa tendem a ser mais viscosas e com a massa média acima de 1000 g/mol tornam-se sólidas na temperatura ambiente. Algumas aplicações como adesivos, compósitos e revestimento de superfícies demandam uma baixa viscosidade, visando uma maior homogeneidade, não retenção de ar e facilidade no processo de cura (AUGUSTSSON, 2004; ELLIS, 1993).

As resinas epóxi líquidas possuem, geralmente, uma média de 380 g/mol e são compostas aproximadamente de 88% $n=0$ (neste caso não há a estrutura dentro do colchete, formando a molécula representada na Figura 5), 10% $n=1$ e 2% $n=2$. Podem possuir baixas parcelas de $n=3$, $n=4$ e $n=5$, o que eleva a massa média e a viscosidade (ELLIS, 1993).

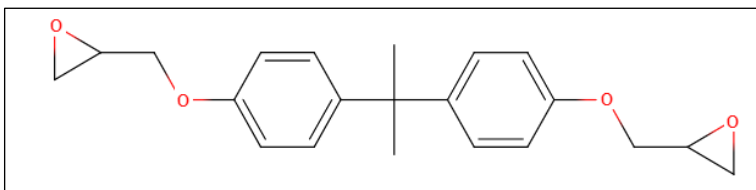


Figura 5. Representação DGEBA com $n=0$.

2.2 | Cura

Os agentes de cura são os comonômeros que, através de reações químicas, endurecem junto às resinas pré-poliméricas formando os termoplásticos. Os comonômeros, além de compor as resinas curadas também servem de catalizadores, sejam alcalinos ou ácidos. A presença de radicais ativos é essencial e eles normalmente aparecem nos grupamentos que compõem os agentes de cura. Alguns grupamentos comuns em agentes de cura são: Aminas, amidas, anidridos de ácidos carboxílicos, imidazóis, complexos de trifluoreto de boro, fenóis, tióis e óxidos metálicos (AUGUSTSSON, 2004; CHARLES HARPER, 2006).

Agentes de cura com mais de dois grupamentos funcionais possibilitam a polimerização em teia, isto é, em mais de uma dimensão, o que torna o polímero mais rígido e com características diferentes que devem ser relacionadas ao

posterior uso do polímero (ELLIS, 1993). Outro fator relacionado aos comonômeros é a temperatura de cura. Segundo Augustsson (2004), os grupamentos mais comuns, que possibilitam a cura em temperatura ambiente, são aminas e amidas, e certos tióis. A seguir, apenas os agentes de cura a base de aminas serão analisados.

2.2.1 | Aminas

Em poucas palavras, aminas são os grupamentos funcionais mais próximos da molécula de amônia (NH_3) e são divididas segundo dois parâmetros: O primeiro define quantos hidrogênios são substituídos na amônia, o que gera as aminas primárias ($\text{NH}_2\text{-R}$), secundárias (NH-R_2) ou terciárias (N-R_3).

Já o segundo define quantos nitrogênios existem na cadeia carbônica, o que gera as monoaminas (uma amina), diaminas (duas aminas) etc. Como citado, a quantidade de grupamentos funcionais determina características importantes para os polímeros. Compostos que possuem ao menos diaminas geram polímeros mais rígidos e resistentes (AUGUSTSSON, 2004; CASTAN, 1990). CORCIONE, GIURI, MAGGIO, MAFFEZZOLI, & GUERRA (2016) simplificaram o mecanismo de cura das aminas, que segundo eles ocorre como na Figura 6.

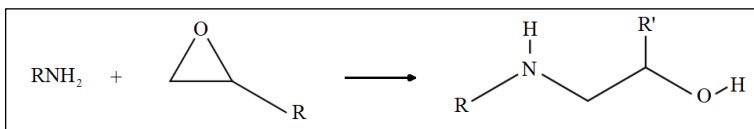
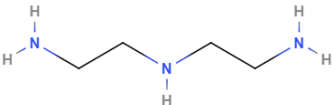
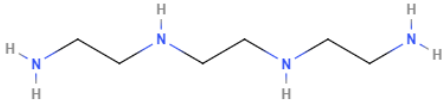
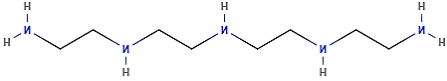


Figura 6. Reação de adição entre uma amina e a resina epóxi.

Adaptado de (CORCIONE et al., 2016).

Dentre os agentes de cura com aminas, existem 3 grupos principais, os com aminas alifáticas, ciclo-alifáticas e aromáticas. A cura na temperatura ambiente é uma característica das alifáticas, por isso estas serão descritas a seguir. Além dessa propriedade, outras chamam atenção nas aminas alifáticas, como resistência a até 100°C, à bases, à alguns ácidos inorgânicos e à água. Em contrapartida possui baixa resistência a solventes orgânicos e possui toxicidade (AUGUSTSSON, 2004; CASTAN, 1990; DEMARTINI, 2017). A Tabela 2 apresenta as aminas alifáticas mais utilizadas, uma versão mais completa pode ser encontrada em (CASTAN, 1990).

Tabela 2. Estrutura das aminas alifáticas.

Amina	Estrutura
DTA ou DETA Dietilenotriamina	
TTA ou TEPA Trietilenotetramina	
TEPA Tetraetilenopentamina	

Fonte: Adaptado de (BERGWERF, 2014; CASTAN, 1990; DEMARTINI, 2017).

Outras aminas alifáticas também são comuns como a Dipropenodiamina (DPDA) e a Dietilaminopropilamina (DEAPA) (CASTAN, 1990).

2.3 | Epóxi Curada

Há mais de 50 substâncias que se encaixam na definição de resina epóxi. Por isso definir as características dessa resina curada se torna uma tarefa trabalhosa, ainda mais se os possíveis agentes de cura forem levados em conta. Dentre as inúmeras possibilidades formadas se encontra o produto entre DGEBA e DTA, que formam uma resina utilizada no beneficiamento mineral (Figura 7). Cada combinação entre agente de cura e resina gera um novo termofixo com “propriedades específicas” diferentes, o que possibilita a modificação da resina visando determinado uso e “propriedades gerais” que são comuns na maioria das resinas epóxi. A seguir, são listadas, de acordo com Augustsson (2004), algumas propriedades gerais das resinas epóxi.

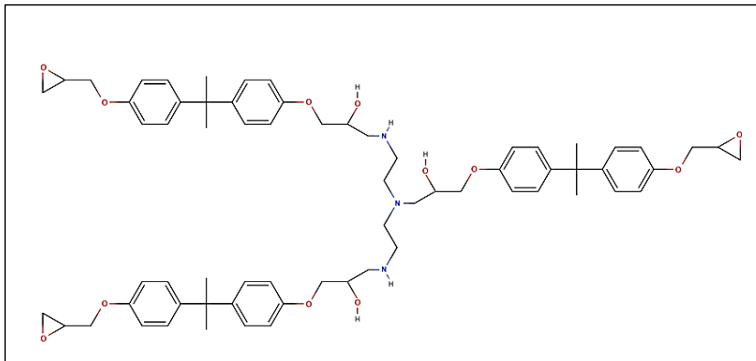


Figura 7. Resina formada pela reação entre DGEBA e DTA.

A (Figura 7) mostra um representativo do início da reação de polimerização, onde no centro se encontra o DTA (delimitado pelos nitrogênios) ligado a três DGEBAs. A polimerização continuaria através dos anéis epoxídicos livres.

- Adesão – Os grupamentos polares hidroxila e as ligações éter possibilitam a adesão na maioria dos substratos.
- Resistência Mecânica – Uma resina epóxi, corretamente formulada, pode exceder 80 MPa de resistência à tração.
- Resistência Química – Resistem bem a álcalis e a alguns ácidos inorgânicos.
- Possibilidade de Difusão – Algumas técnicas aplicadas a formação da resina permitem a abertura para difusão.
- Resistência à água – A resistência à humidade e à água permite a aplicação destas resinas como protetivos.
- Resistência Elétrica – Resinas epóxi são ótimos isolantes elétricos, sua resistividade volumétrica é de $10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$.
- Resistência ao calor – Resinas produzidas com agentes de cura na temperatura ambiente costumam deformar quando se atinge 70°C , enquanto as produzidas através de cura aquecida deformam acima de 250°C .
- Encolhimento – As resinas epóxi sofrem pouco encolhimento durante a cura quando comparadas a outros polímeros.
- Modificabilidade – O produto final pode ser modificado ao se alterar a resina ou o agente de cura para melhor se encaixar nas atribuições previstas.

Estas diversas propriedades possibilitam várias aplicações. Segundo BRIAN ELLIS (1993), resinas epóxi são aplicadas 55% como revestimento, 20% como matiz de compósitos, 10% em moldagem, 5% em adesivos e 10% em outras atividades. Quase 30 anos se passaram, mas as aplicações das resinas não mudaram muito, sendo as três principais aplicações atuais o revestimento, a produção de compósitos e a produção de adesivos.

3 | RESINA POLIURETANA À BASE DE MAMONA

No Brasil existem cerca de vinte famílias botânicas que apresentam grande potencial. Dentre elas podemos citar a Euphorbiaceae que possui mais de mil espécies, todas nativas ou aclimadas no Brasil. Dentre elas destaca-se a mamoneira (*Ricinus communis*, L.) que é encontrada no Brasil e no mundo e, atualmente, é explorada em cerca de quinze países (PUTTINI, 2014; SEVERINO; MILANI; BELTRÃO, 2006).

A mamoneira é nativa do leste africano e, provavelmente, proveniente da Etiópia, onde se encontra a maior diversidade de espécies (ANJANI, 2012). As sementes mais antigas são datadas de 4000 a.C. e foram encontradas no Egito. Relatos posteriores confirmam a disseminação por regiões próximas como o Oriente Médio, região Mediterrânea e Índia. Dado o devido tempo, a mamona se espalhou ainda mais, chegando a todos os países tropicais, subtropicais e alguns de clima temperado. Suas vastas aplicações se mostraram historicamente surpreendentes, desde sua ação medicinal, descoberta na China do séc. VI, até sua ação lubrificante, descoberta no séc. XX (PRANCE; NESBITT, 2005; SALIHU; GANA; APUYOR, 2014).

Um dos maiores marcos históricos relacionados à mamoneira foi um assassinato. A mamona possui duas substâncias tóxicas, a ricina e a ricinina. A ricina, utilizada no assassinato, atua no organismo inibindo a síntese de proteínas. Há diversos casos de intoxicação; entretanto, casos fatais são raros. Em 1978, o escritor e jornalista Georgi Markov foi morto através de um guarda-chuva com a ponta banhada com ricina. O atacante o feriu na parte posterior da perna, causando a intoxicação e a morte (BBC, 2016; PRANCE; NESBITT, 2005).

A parcela tóxica do óleo pode ser removida durante a extração, se for utilizada a prensagem a frio; por isso, a presença da toxina não se torna um grande empecilho para a utilização do fruto e seus derivados (SCHNEIDER, 2003).

A Figura 8 demonstra a taxonomia vegetal, segundo (USDA, 2019), ao lado de uma imagem da mamoneira.



Figura 8. Mamoneira e sua taxonomia vegetal.

A mamoneira possui diversas variações, que podem ser identificadas por algumas características, como: cor das folhas, tamanho máximo, quantidade de óleo, dentre outras. Entretanto, todas as variações crescem, surpreendentemente rápido, quando sob ação direta do sol, e com água e minerais disponíveis (SALIHU; GANA; APUYOR, 2014).

3.1 | Óleo de Mamona

O óleo de mamona tem inúmeros usos industriais, pois seus ácidos graxos possuem características ímpares. Dentre seus

usos estão: Revestimentos protetores, impermeabilizantes de superfície, cosméticos, lubrificantes para aeronaves, cabos de fibra óptica, lentes de contato, vidros à prova de balas, plastificantes, plásticos etc. É importante lembrar que os subprodutos também se mostram lucrativos. A torta, que é o subproduto da extração do óleo, pode ser utilizada para adubação, devido à alta taxa de nitrogênio presente na mesma (FREITAS; FREDO, 2005; SCHNEIDER, 2003).

Há uma variação de 45 a 55% da porcentagem de óleo nas sementes da mamona, que se deve ao elevado número de subespécies da cultura. De forma geral, as características especiais do óleo de mamona são causadas pelo seu ácido graxo majoritário, o ácido ricinoléico, que pode chegar a 91% da massa oleosa (SEVERINO; MILANI; BELTRÃO, 2006).

O ácido ricinoléico (Figura 9 (a)) é um ácido incomum, pois é o único ácido graxo hidroxilado. Apresenta 18 carbonos, uma insaturação *cis* no carbono 9, uma hidroxila no carbono 12, além do radical carboxila no carbono 1 (SCHNEIDER, 2003).

O glicerol ou o 1,2,3-Propanotriol é um composto orgânico presente nos vegetais. Ele reage com os ácidos graxos, formando triglicerídeos. Sendo assim, quase todo o ácido ricinoléico presente na mamona, está sob a forma de triricinoleína (Figura 9 (b)), um triglicerídeo capaz de sofrer várias transformações (Figura 10) (SCHNEIDER, 2003).

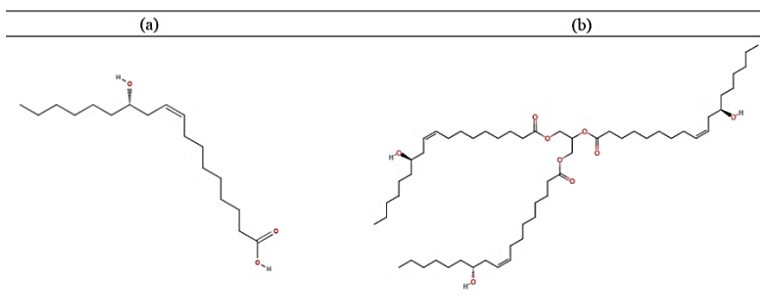
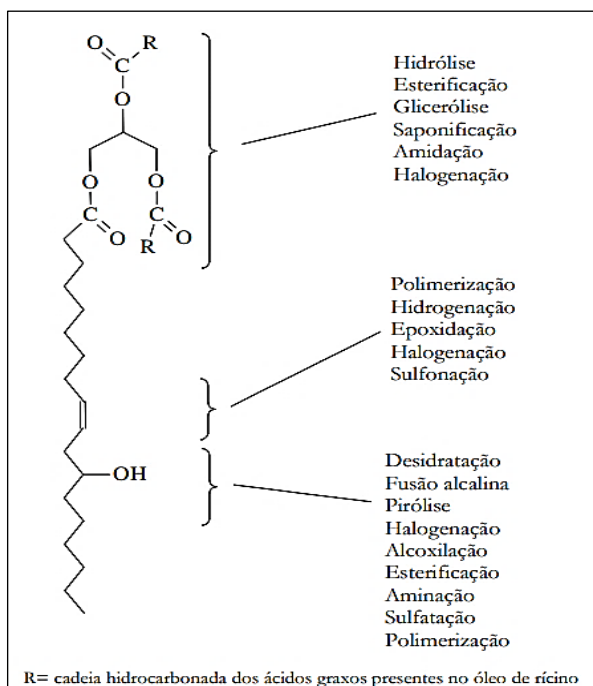


Figura 9. Fórmulas estruturais dos componentes do óleo. *(a) Ácido ricinoléico (b) Triricinoleína.

Apesar de majoritário, o ácido ricinoléico não é o único ácido graxo no óleo de mamona, por isso triglicerídeos mistos são formados. É possível classificar os triglicerídeos pela quantidade de ácidos ricinoléicos presentes. Um estudo da composição do óleo de mamona mostrou os seguintes valores: Triricinoleína 67,2%, di-ricinoleínas 28,7%, e mono-ricinoleínas 3,9% e glicerídeos sem ácido ricinoléico compõem 0,2% do óleo (ACHAYA; CRAIG; YOUNGS, 1964).

Por possuir uma ampla variedade de produtos derivados, algumas aplicações do ácido ricinoléico, mesmo que interessantes, são deixadas de lado. Um grande exemplo, e posterior foco do trabalho, é a utilização do óleo de rícino para o beneficiamento de minerais.



Fonte: (SCHNEIDER, 2003).

Figura 10. Possíveis transformações na triricinoleína.

3.2 | Estólitos do Ácido Ricinoléico

Estólitos, Figura 11, são compostos formados pela esterificação da carboxila do ricinoléico com a hidroxila do carbono 12 de outro ácido. O estólito é a cadeia polimérica mais simples formada a partir do ácido ricinoléico e apresenta maior biodegradabilidade que polímeros provenientes do petróleo (SCHNEIDER, 2003). Quando relacionado aos compostos epoxídicos já discutidos, os estólitos são comparáveis com os DGEBA's de $n > 0$.

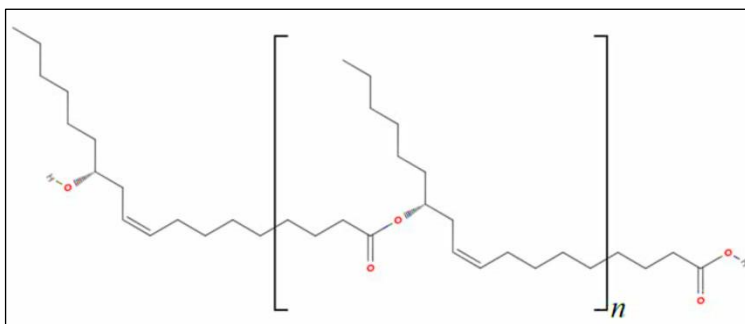


Figura 11. Estólito do ácido ricinoléico, onde n representa o número de repetições da estrutura entre colchetes.

3.3 | Poliuretanos

Os poliuretanos (PU's) foram descobertos na Alemanha em 1937 por Otto Bayer e sua equipe. O projeto inicial era focado na reação entre diisocianatos alifáticos e diaminas, formando poliuréia. Entretanto o foco da pesquisa mudou ao descobrirem as características dos poliuretanos formados pela reação entre di/poli isocianatos com di/polióis. Os poliuretanos passaram a ser produzidos em escala comercial nos anos 40 (SASTRI, 2014; SHARMIN; ZAFAR, 2012).

SASTRI (2014) listou as principais propriedades dos PU's. Tais propriedades inicialmente abrangiam: Alta resistência à tração, alto limite de elasticidade, dureza excelente, boa resistência abrasiva e ao rasgo, resistência química ao óleo e à graxa e bom desempenho em baixa temperatura. Outras características vantajosas surgiram ao decorrer do tempo como: Estabilidade hidrolítica, transparência, alta resistência à fungos, resistência à oxidação, ausência de plastificantes, esterilizabilidade (calor, gás ou radiação), não agressivo à pele, entre outros. Sastri

também listou algumas propriedades desvantajosas que surgiram com o tempo, como: a coloração levemente amarelada, o custo relativamente alto, a secagem necessária antes do processamento térmico e a possível transformação em 4,4-metileno dianilina durante a esterilização com água quente.

Assim como as resinas epóxi, os poliuretanos são compostos por copolímeros. Em uma comparação direta, os agentes de cura são como os isocianatos e as resinas epóxi são como os polióis. Nos PU's esses segmentos poliméricos são comumente tratados como segmentos macios e duros. Os polióis representam a parcela macia pois normalmente possuem um longo radical carbônico, trazendo ao polímero final flexibilidade; já os isocianatos representam a parcela dura gerada pelo baixo grau de liberdade comum nesses compostos, trazendo ao polímero final força e resistência (SASTRI, 2014; SHELKE; NAGARALE; KUMBAR, 2014).

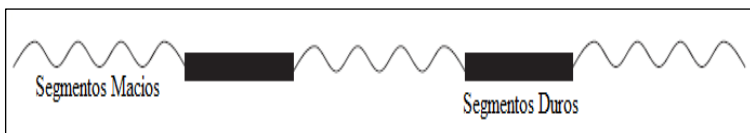


Figura 12. Representação esquemática de uma resina poliuretana Adaptado de (SASTRI, 2014).

3.4 | Isocianatos

Os isocianatos são compostos que possuem o grupo funcional $R-N=C=O$ que, segundo a IUPAC, correspondem ao ácido isocianico, e seus derivados (Figura 13). O grupamento $N=C=O$ pode reagir com diferentes compostos, sendo o caráter positivo

do carbono um atrativo aos nucleófilos e o caráter negativo do nitrogênio um atrativo aos eletrófilos. (IUPAC, 2009; SHARMIN; ZAFAR, 2012; VILAR, 2004).

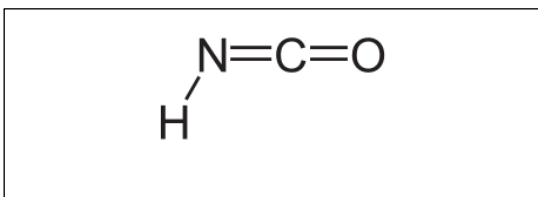


Figura 13. Ácido Isociânico.

A Figura 14 mostra os isocianatos mais usados comercialmente. Neles, pode-se observar a presença de, ao menos, dois grupamentos funcionais, o que permite a polimerização em teia, o que traz características mecânicas desejáveis ao produto; atualmente, todos os isocianatos comerciais possuem dois ou mais grupos funcionais. Nos PU's aromáticos, observa-se uma tendência ao amarelecimento sem perda das características mecânicas; por isso, quando a coloração é uma característica visada, utilizam-se isocianatos como o HDI, o IPDI e o H12MDI (SHARMIN; ZAFAR, 2012; VILAR, 2004)

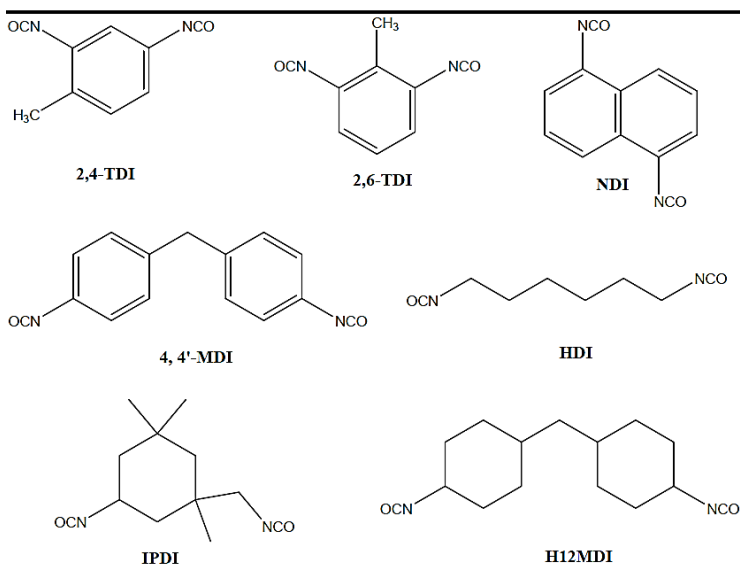


Figura 14. Isocianatos comerciais (SHARMIN; ZAFAR, 2012).

3.4.1 | Reações com Isocianatos

Os isocianatos podem sofrer diversas transformações. Reagem com polióis para formar poliuretanos, com aminas gerando poliuréias, entre outros. A maioria das reações com isocianatos são adições à ligação C=N. O carbono é, normalmente, atacado por um nucleófilo. Radicais aceptores de elétrons aumentam a eletrofilicidade do carbono aumentando a reatividade do radical (VILAR, 2004).

A Figura 15 mostra a reação entre álcoois e isocianatos, formando o poliuretano. A reação de adição é exotérmica e gera cerca de 24 kcal/mol de polímero formado. Por efeito estérico, hidroxilas terciárias, secundárias e primárias têm reatividades crescentes (VILAR, 2004).

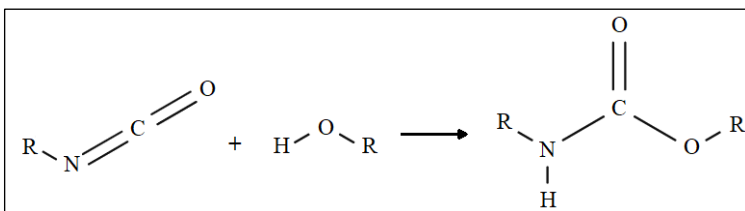


Figura 15. Reação de adição entre um álcool e um isocianato. Adaptado de (VILAR, 2004).

3.5 | Polióis

Polióis são a classe de compostos que possuem duas ou mais hidroxilas. Além da hidroxila, outros radicais como éster, éter, aminas e radicais metálicos podem aparecer. Os ésteres são mais comuns, gerando poliéster-polióis (PEP). (BOUSTEAD, 2005; VILAR, 2004).

Duas características definem as futuras propriedades do PU: O peso molecular e o número de ligações formadas. Quanto maior o peso molecular, maior a flexibilidade do complexo e menor a resistência química. Já para o número de ligações, quanto maior ele é, menor é a flexibilidade e maior a resistência química (SHARMIN; ZAFAR, 2012). Vale ressaltar que os isocianatos possuem as mesmas relações quanto ao número de ligações e peso molecular, tornando possível a manipulação da poliuretana final por diferentes combinações entre polióis e isocianatos.

Um conceito importante, relacionado ao número de ligações, é a funcionalidade, que é definida, no caso dos polióis, como o número de hidroxilas ativas no composto e, para os isocianatos, o número de isocianatos ativos (VILAR, 2004).

Um excelente exemplo de PEP natural é o óleo de mamona. A triricinoleína, já apresentada anteriormente, possui três hidroxilas, sendo sua funcionalidade 3, da mesma maneira a funcionalidade de di-ricinoleína é 2 e da mono-ricinoleína é 1. Observando a funcionalidade e os 18 carbonos na cadeia de cada ácido ricinoléico presente, obtém-se um PEP com características únicas.

3.6 | Poliuretanas à Base de Mamona

O óleo de mamona e outros óleos vegetais vem sendo, cada vez mais, estudados devido aos benefícios ecológicos e econômicos. O óleo de mamona se destaca para a produção de poliuretanas devido a presença das hidroxilas no ácido ricinoléico (IBRAHIM; AHMAD; MOHAMED, 2015a). Muitos trabalhos vêm sendo publicados relacionando o óleo com PU's, por exemplo: Chen & Tai (2018) usaram o isocianato PMDI, para produzir compósitos com matriz de carvão de bambu; Macalino, Salen, & Reyes (2017) produziram e caracterizaram uma PU utilizando o isocianato HMDI, discutindo a polaridade e o ângulo de contato; Salmiah Ibrahim, Ahmad, & Mohamed (2015) produziram eletrólitos poliméricos utilizando MDI.

O Centro de Tecnologia Mineral é pioneiro na aplicação de PU's a base de mamona no beneficiamento de rochas ornamentais. Utilizando o isocianato MDI junto ao óleo, o pesquisador Leonardo Silveira e seus colegas de trabalho publicaram patentes relacionadas a telagem e a produção de compósitos (SILVEIRA, 2012, 2013, 2014).

A Figura 16 apresenta um esquema representativo da resina gerada pela reação entre o MDI e a triricinoleína.

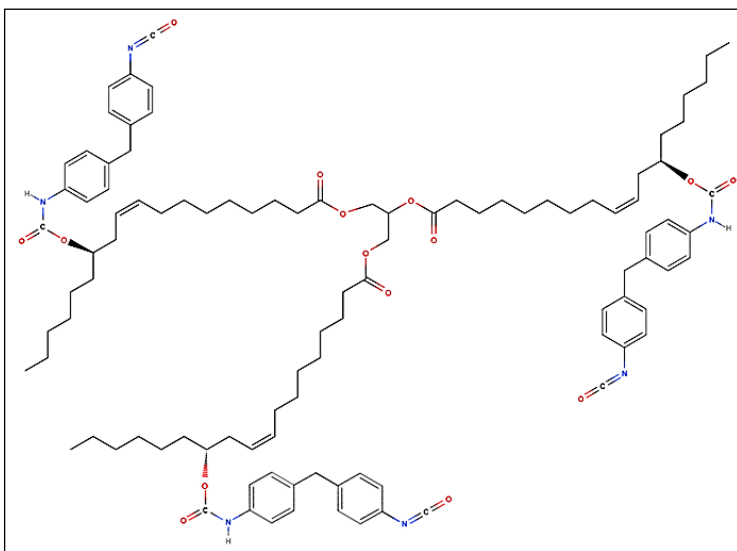


Figura 16. Fórmula estrutural da PU a base de Mamona.

É possível supor as propriedades da poliuretana final analisando a sua fórmula estrutural. A tricínoleína indica rigidez pela funcionalidade, característica que passa a ser mais evidente com o crescimento do polímero e flexibilidade com a longa cadeia carbônica; o MDI indica flexibilidade na funcionalidade e rigidez na cadeia carbônica (característica visível mesmo em polímeros “pequenos”). Espera-se que o polímero final aumente sua rigidez com a expansão da cadeia.

Outro quesito que pode influenciar as características finais é a proporção isocianato-poliol (NCO-OH), que, se estequiométrica, pode possibilitar a formação de estruturas em teia, mas se desbalanceada pode deixar radicais livres aumentando a flexibilidade do polímero. Ibrahim et al. (2015a) testaram a produção da PU MDI-tricínoleína em diferentes

proporções e comprovaram que numa proporção NCO (20):(80) OH forma-se uma PU flexível e numa proporção NCO (40):(60) OH forma-se uma PU rígida. A Figura 17 representa um filme de poliuretana, a base de mamona, produzida por Ibrahim et al (2015b).

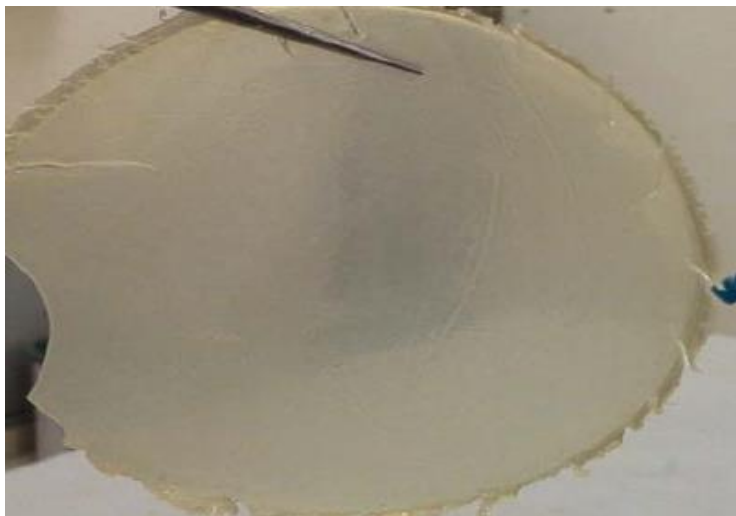


Figura 17. Filme de PU a base de mamona (IBRAHIM; AHMAD; MOHAMED, 2015a).

Outras propriedades podem surgir ao incorporar aditivos à reação. Sendo assim, uma infinidade de características surge. Deve-se decidir os pré polímeros, proporção e aditivos visando o posterior uso. Para o beneficiamento de rochas ornamentais o recomendável é seguir as descrições detalhadas da patente do pesquisador Silveira (SILVEIRA, 2013).

4 | REVISÃO DE TRABALHOS DO CETEM

O Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) possui uma forte vocação na área de rochas ornamentais e associa as suas atividades o caráter ambiental. O Centro vem desenvolvendo diversos trabalhos dentro desse contexto. Apresenta-se aqui uma breve revisão de recentes trabalhos do Centro quanto a utilização de resinas vegetais no beneficiamento mineral.

Como se pode notar, diversos trabalhos constam no portfólio do CETEM quanto ao tema aqui tratado. As produções envolvem trabalhos internos das jornadas de iniciação científica (IC) e de capacitação institucional (PCI), trabalhos em congressos nacionais e internacionais, livros, revistas e patentes. Destaca-se a forte atuação do Núcleo Regional do Espírito Santo (NRES), focada em aplicações práticas da resina a base de óleo de mamona nas etapas de beneficiamento.

Dentre tais, tem-se trabalhos com a aplicação desta resina vegetal na composição de rebolos abrasivos para o polimento de rochas ornamentais no lugar da resina epoxídica (DORIGO; SILVEIRA; ALMEIDA, 2018; LEITÃO; SILVEIRA, 2012a, 2012b, 2013, 2016, 2014; PASCHOA; SILVEIRA, 2019; PONCIANO; SILVEIRA, 2017; SERACO; SILVEIRA, 2015) demonstrando a viabilidade da troca por meio de parâmetros como a perda de massa e de espessura do rebolo, bem como o ganho de qualidade da superfície polida. Além disso, estudos foram feitos com objetivo de realizar a mesma substituição nos processos de envelopamento (T. L. Moreira & Silveira, 2018; Taynara Lobato Moreira & Silveira, 2019b, 2019a; Leonardo Luiz Lyrio da Silveira, Ferreira, & Almeida, 2013; L. L. L. Silveira, Ferreira, & Almeida, 2018) e de telagem (MATURANA; SILVEIRA, 2018, 2019; SILVEIRA et al., 2017; SILVEIRA; PORTO; BOLONINI,

2015), também atingindo resultados promissores por meio de ensaios de resistência mecânica para o envelopamento e flexão quatro-pontos para a telagem. Tais linhas de pesquisa já resultaram em três patentes ao CETEM (SILVEIRA, 2012, 2013, 2014).

Sobressai também a participação do Laboratório de Modelagem Molecular (LABMOL) nesse campo, com uma linha de pesquisa dedicada a essa área, sendo que enquanto os trabalhos do NRES focam na aplicação das tecnologias, os trabalhos do LABMOL focam em uma abordagem teórica química, através de modelagem computacional, a fim de investigar a natureza e os mecanismos envolvidos na interação entre as resinas e os minerais por meio de simulações. Tal abordagem permite não apenas o melhor entendimento do objeto de estudo, como também a predição de propriedades, permitindo, por exemplo, o desenvolvimento de novos produtos.

Os trabalhos realizados pelo LABMOL, nesse âmbito, podem ser segmentados quanto a resina investigada. Estudos iniciais avaliaram a interação da resina epoxídica (RACHELE; CORREIA; RIBEIRO, 2008, 2009) e poliuretana a base de mamona (CALDARA; CORREIA, 2011) com diferentes minerais (feldspatos e quartzos) a fim de determinar aquele no qual a adsorção dessas é melhor favorecida, inferindo a propensão maior à ancoragem naqueles com maior teor de feldspato.

Na sequência, foram realizados estudos exclusivamente relacionados com a interação da poliuretana a base de mamona com a albita, um dos componentes dos feldspatos, a fim de investiga-la energética e estruturalmente (CORREIA et al., 2014; ROSA; CARAUTA; CORREIA, 2013; ROSA;

CORREIA; CARAUTA, 2013). Além da mamona, estudos similares foram realizados com a resina da castanha-do-caju (CORREIA et al., 2015; PESSÔA; CORREIA; CARAUTA, 2015). Recentemente, estudos comparativos das três resinas refinando os métodos de análise (DA SILVA; CORREIA; CARAUTA, 2015; LIMA; CORREIA; CARAUTA, 2018; PEREIRA; CARAUTA; CORREIA, 2019; PESSÔA et al., 2018, 2017; PESSOAS et al., 2016; PRATES; CORREIA; CARAUTA, 2014; SILVA et al., 2016) foram realizados evidenciando a viabilidade das resinas vegetais no processo de resinagem. Além disso, foram realizados trabalhos (CAMPOS; CORREIA; CARAUTA, 2017; CORREIA; DE CAMPOS; CARAUTA, 2017) avaliando a interação do trietoxisilano com o ácido linoléico a fim de produzir um hidrofugante para rochas ornamentais, atingindo resultados promissores.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

As principais características relevantes ao estudo das resinas utilizadas em beneficiamento de rochas ornamentais foram apresentadas. Aspectos econômicos, ambientais, químicos e até históricos foram revisados. As resinas de origem vegetal têm sido extensamente estudadas e se mostram como alternativas promissoras para o futuro, sendo a resina a base de óleo de mamona o melhor exemplo de sucesso já em tempo presente. Suas características são bastante similares as das resinas epóxi, o que têm viabilizado a substituição. O CETEM vem trabalhando no desenvolvimento e aplicação desse tipo de tecnologia, com uma considerável galeria de trabalhos nos anos recentes. Espera-se que novas pesquisas, explorando diferentes fontes vegetais e diferentes processos e aplicações, venham a ser desenvolvidas, bem como a ampliação da escala de utilização de tais produtos verdes a nível industrial, sempre primando pelo desenvolvimento sustentável e preservação do meio ambiente.

Adicionalmente, gostaríamos de acrescentar que nesses processos de acabamento superficial de rochas ornamentais, pelos motivos supramencionados, ocorrem distintas reações entre os substratos minerais e as distintas estruturas orgânicas que, certamente, necessitam de esclarecimentos fundamentais, à luz da modelagem molecular que, por certo, serão veiculadas, eventualmente, numa próxima publicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHAYA, K. T.; CRAIG, B. M.; YOUNGS, C. G. The Component Fatty Acids and Glycerides of Castor Oil. *Journal of the American Oil Chemical Society*, v. 41, n. 8154, p. 783-784, 1964.

ANJANI, K. Castor genetic resources: A primary gene pool for exploitation. *Industrial Crops and Products*, v. 35, n. 1, p. 1-14, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.06.011>.

AUGUSTSSON, Curt. *Nm Epoxy Handbook*. Nils Malmgren AB, [S. l.], p. 80, 2004.

BBC. Como assassinato de jornalista da BBC com veneno em ponta de guarda-chuva mudou vida de médico que tentou salvá-lo. 2016. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-37428708#orb-banner>. Acesso em: 8 maio. 2020.

BERGWERF, Herman. *MolView*. 2014. Disponível em: <http://molview.org/>. Acesso em: 4 maio. 2020.

BOUSTEAD, I. Eco-profiles of the European Plastics Industry - Polyols. *Plastics Europe*, n. March, p. 1-19, 2005.

CALDARA, Júlio Athanazio; CORREIA, Julio Cesar Guedes. Modelagem Molecular do Óleo de Mamona Para Uso no Polimento de Rochas Ornamentais. *In*: 2011, CETEM/MCTI. p. 1-4.

CAMPOS, Luan Vieira Brito de; CORREIA, Julio Cesar Guedes; CARAUTA, Alexandre Nelson Martiniano. Estudo da interação do trietoxissilano com o ácido linoléico como hidrofugante em rochas ornamentais via modelagem molecular. *In*: 2017, XXV Jornada de Iniciação Científica e I Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. p. 1-5.

CARMICHAEL, Robert S.; KLEIN, Cornelis. *Rock*. 2020. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/rock-geology>. Acesso em: 14 abr. 2020.

CASTAN, Pierre. Curing Agents for Epoxy Resin. p. 1-10, 1990.

CHARLES HARPER. Handbook of Plastics Technologies: The Complete Guide to Properties and Performance. Lowell (Massachusetts): McGraw-Hill Education, 2006.

CHEN, Yi Chun; TAI, Wei. Castor oil-based polyurethane resin for low-density composites with bamboo charcoal. *Polymers*, v. 10, n. 10, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym10101100>.

CHIODI FILHO, Cid. Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2017. ABIROCHAS, Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais, v. 55, n. 11, p. 1-8, 2018 a.

CHIODI FILHO, Cid. O Setor Brasileiro De Rochas Ornamentais. p. 1-34, 2018 b. Disponível em: https://www.abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/06/abinoticias/Setor_de_Rochas_Ornamentais.pdf.

CORCIONE, Esposito et al. Graphene oxide as a catalyst for ring opening reactions in amine crosslinking of epoxy resins. *RSC Advances*, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C6RA00485G>.

CORREIA, Julio Cesar Guedes *et al.* Conformational analysis of ricinoleic acid derived of the castor oil by molecular dynamics in dimension stone. *In*: 2014, Global Stone Congress. p. 0-3.

CORREIA, Julio Cesar Guedes *et al.* Estudo de Interação do Cardanol com Mineral Albita por Meio de Modelagem Molecular para Utilização na Etapa de Resinagem de Rochas Ornamentais. *In*: 2015, XVIII Simpósio Brasileiro de Química Teórica – SBQT 2015.

CORREIA, Julio Cesar Guedes; DE CAMPOS, Luan Vieira Brito; CARAUTA, Alexandre Nelson Martiniano. Study of the interaction of triethoxysilane with linoleic acid as water repellent for use in ornamental stones. *HOLOS*, v. 6, p. 233, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.15628/holos.2017.6443>.

DA SILVA, Fernanda Barbosa; CORREIA, Julio Cesar Guedes; CARAUTA, Alexandre Nelson Martiniano. Avaliação da eficiência de resinas oriundas de fontes renováveis no processo de resinagem de rochas ornamentais por modelagem molecular. *In*: 2015, IV Jornada do Programa de Capacitação Interna – CETEM. p. 1-7.

DEMARTINI, Tcharllis João da Cunha. Produção e caracterização de mármore artificial com resíduo fino de mármore dolomítico beneficiado em teares de lâminas dimantadas. 2017. Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, 2017.

DORIGO, Wana Favero Gaburo; SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da; ALMEIDA, Phillipe Fernandes De. Ecological fickers used in the polishing of dimension stones. *In*: 2018, Global Stone Congress 2018. p. 200-204.

ELLIS, Brian. Chemistry and Technology of Epoxy Resins. Dordrecht: Springer Netherlands, 1993. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-94-011-2932-9>.

FREITAS, S. M.; FREDO, Carlos Eduardo. Biodiesel à base de óleo de mamona: algumas considerações. *Informações Econômicas*, v. 35, n. 1, p. 37-42, 2005.

IBRAHIM, Salmiah; AHMAD, A.; MOHAMED, N. S. Synthesis and characterization of castor oil-based polyurethane for potential application as host in polymer electrolytes. v. 38, n. 5, p. 1155-1161, 2015 a.

IBRAHIM, Salmiah; AHMAD, Azizan; MOHAMED, Nor Sabirin. Characterization of novel castor oil-based polyurethane polymer electrolytes. *Polymers*, v. 7, n. 4, p. 747-759, 2015 b. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym7040747>.

IUPAC. IUPAC Compendium of Chemical Terminology. Research Triangle Park, NC: IUPAC, 2009. v. 69 *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1351/goldbook>.

KLEIN, Cornelis; DUTROW, Barbara. Manual of Mineral Science. 23. ed.: Wiley, 2007.

LEITÃO, Vagner Môro Ferreira; SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da. Desempenho de Rebolo Abrasivo Confeccionado com Resina Vegetal Submetido ao Simulador de Polimento de Rocha. *In*: 2012a, XX Jornada de Iniciação Científica-CETEM. p. 1-4.

LEITÃO, Vagner Môro Ferreira; SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da. Analysis of the behavior of abrasive tool made with alternative resin tested in the polishing rock simulators (PRS). *In*: 2012b, Global Stone Congress. p. 1-7.

LEITÃO, Vagner Môro Ferreira; SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da. Ecoabrasivo: uma nova perspectiva para o setor de rochas ornamentais. *In*: 2013, XXII Jornada de Iniciação Científica-CETEM. p. 1-4. Disponível em: [http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1544/1/Vagner Môro Ferreira Leitão.pdf](http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1544/1/Vagner%20Môro%20Ferreira%20Leit%C3%A3o.pdf).

LEITÃO, Vagner Môro Ferreira; SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da. Desempenho da aplicação de resina vegetal na confecção de rebolo abrasivo utilizando diamante sintético como elemento abrasivo. *In*: 2016, CETEM -ES. p. 1-7.

LEITÃO, Vagner Môro Ferreira; SILVEIRA, Leonardo Luz Lyrio da. Ecoabrasivo confeccionado com resina vegetal e carbeto de silício: uma inovação para o setor de rochas ornamentais. *In*: 2014, XXII – Jornada de Iniciação Científica-CETEM. p. 1-4. Disponível em: [http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1544/1/VagnerMôro Ferreira Leitão.pdf](http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1544/1/VagnerMôro%20Ferreira%20Leit%C3%A3o.pdf).

LIMA, Thaís da Silva; CORREIA, Julio Cesar Guedes; CARAUTA, Alexandre Nelson Martiniano. Desenvolvimento de metodologia de cálculo para estudo da interação de compostos orgânicos com minerais. *In*: 2018, XXVI Jornada de Iniciação Científica e II Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. p. 181-185.

LIRA, H. L.; NEVES, G. a. Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v. v.8.3, p. 110–117, 2013. Disponível em: [file:///C:/Users/modes/Downloads/342-1324-1-PB \(1\).pdf](file:///C:/Users/modes/Downloads/342-1324-1-PB%20(1).pdf).

LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando Antonio Freitas. Rochas & minerais industriais: usos e especificações. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008, 2008.

MACALINO, A. D.; SALEN, V. A.; REYES, L. Q. Castor Oil Based Polyurethanes: Synthesis and Characterization. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 229, n. 1, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/229/1/012016>.

MATURANA, Mirela Ramos; SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da. Estudo comparativo da resistência à flexão 4 pontos de rochas ornamentais silicáticas teladas com resina epóxídica e poliuretana à base de óleo de mamona colorida. *In*: 2018, Rio de Janeiro. 49º Congresso Brasileiro de Geologia. Rio de Janeiro: 2018.

MATURANA, Mirela Ramos; SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da. Comparação da variação dos valores de resistência à flexão de rochas ornamentais teladas com resina epoxídica e compósito vegetal submetidos à ciclagem térmica. *In*: 2019, XXVII Jornada de Iniciação Científica e III Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. p. 179-183.

MCKILLIP, William *et al.* Resins , Synthetic. 2005. Disponível em: https://doi.org/10.1002/14356007.a23_089.

MOREIRA, T. L.; SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da. Avaliação da resistência à tração do sistema rocha-resina poliuretana de mamona para uso em envelopamento de blocos. *In*: 2018, 49º Congresso Brasileiro de Geologia. p. 1.

MOREIRA, Taynara Lobato; SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da. Avaliação da resistência à tração do sistema rocha-resina poliuretana de mamona no processo de envelopamento de rochas ornamentais carbonáticas. *In*: 2019a, XXVII Jornada de Iniciação Científica e III Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. p. 220-225.

MOREIRA, Taynara Lobato; SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da. Aplicação de resina poliuretana à base de óleo de mamona no envelopamento de blocos de rochas carbonática. *In*: 2019b, X Simpósio de rochas ornamentais do nordeste. p. 64-65.

NOGAMI, Lizandra. Investigação Da Influência Das Características Petrográficas E Da Rugosidade De Placas De “Granitos E Marmore” Fixadas Com Argamassas. 2012.

PASCHOA, Marcos Moulim da; SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da. Aproveitamento de resíduos de rebolo abrasivo como carga em misturas de resinas utilizadas no proceso de envelopamento de blocos de rochas ornamentais. *In:* 2019, XXVII Jornada de Iniciação Científica e III Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. p. 142-147.

PAZETO, Abiliane de Andrade. Caracterização experimental de soluções de reforço para placas de rochas ornamentais. 2017. Universidade de São Paulo, 2017.

PEREIRA, Alexandre Moni; CARAUTA, Alexandre Nelson Martiniano; CORREIA, Julio Cesar Guedes. Estudo de metodologia de cálculo para interação de compostos orgânicos com minerais via modelagem molecular. *In:* 2019, Rio de Janeiro. XXVII Jornada de Iniciação Científica e III Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. Rio de Janeiro: 2019. p. 17-21.

PESSÔA, K. F. *et al.* Estudo da Interação entre o mineral Albita com a Resina Epóxi e com o Cardanol. Revista Souza Marques, v. 1, p. 59, 2018.

PESSÔA, Kelly Fernandes. Processo de resinagem na indústria de rochas ornamentais: Estudo da interação entre o cardanol e a albita através dos métodos de mecânica e dinâmica molecular. 2015. Fundação Técnico-Educacional Souza Marques, 2015.

PESSÔA, Kelly Fernandes *et al.* Study of the interaction between resins and albita by MM / QM methods . *In:* 2017, Águas de Lindólia - SP. XIX SBQT - Simpósio Brasileiro de Química Teórica 2017. Águas de Lindólia - SP:2017. p. 17-18.

PESSÔA, Kelly Fernandes; CORREIA, Julio Cesar Guedes; CARAUTA, Alexandre Nelson Martiniano. Estudo da interação entre o cardanol e a albita componente das rochas ornamentais. *In:* 2015, XXIII – Jornada de Iniciação Científica-CETEM. p. 1-4.

PESSOAS, Kelly Fernandes *et al.* Estudos da utilização de resina vegetal no beneficiamento de rochas ornamentais por meio de modelagem molecular. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2016.

PONCIANO, Victor Moza; SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da. Utilização do SIC Verde como elemento de corte em rebolos abrasivos para polimento de rochas ornamentais confeccionados com matriz vegetal. *In:* 2017, XXV Jornada de Iniciação Científica e I Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. p. 1-6.

PRANCE, Sir Ghillean; NESBITT, Mark. The cultural history of plants. New York: Routledge, 2005.

PRATES, Leticia Maia. Estudo da interação entre a resina epóxi e a albita componente de rochas ornamentais. 2014. - Fundação Técnico-Educacional Souza Marques, 2014.

PRATES, Leticia Maia; CORREIA, Julio Cesar Guedes; CARAUTA, Alexandre Nelson Martiniano. Estudo da interação entre resinas e a albita componente de rochas ornamentais. *In:* 2014, XXII – Jornada de Iniciação Científica-CETEM. p. 1-4.

PUTTINI, Felipe de Assis. Caracterização química e agro-morfológica de genótipos de mamona (*Ricinus communis* L.). 2014. - Instituto agrônomico, 2014. Disponível em: <http://mais500p500r.sct.embrapa.br/view/publicacao.php?publicacaooid=90000014>.

RACHELE, Karen Gonçalves; CORREIA, Julio Cesar Guedes; RIBEIRO, Roberto Carlos da Conceição. Utilização de Modelagem Molecular como Ferramenta para Avaliação da Interação Entre Resinas e Rochas Ornamentais no Processo de Resinagem. *In:* 2008, XVI Jornada de Iniciação Científica. p. 85-91.

RACHELE, Karen Gonçalves; CORREIA, Julio Cesar Guedes; RIBEIRO, Roberto Carlos da Conceição. Determinação das Condições para Otimização do Processo de Resinagem. *In:* 2009, XVII Jornada de Iniciação Científica – CETEM. p. 88-94.

ROSA, D. S.; CARAUTA, A. N. M.; CORREIA, J. C. G. Resinagem na Industria de Rochas Ornamentais, Uma Abordagem por Modelagem Molecular. Revista Souza Marques, v. 1, p. 65-82, 2013.

ROSA, Danielle da S.; CORREIA, Julio Cesar Guedes; CARAUTA, Alexandre Nelson Martiniano. Estudo da interação albita-ácido ricinoléico por dinâmica molecular. *In*: 2013, XXI Jornada de Iniciação Científica-CETEM. p. 1-4.

SALIHU, Z. B.; GANA, A. K.; APUYOR, B. O. Castor Oil Plant (*Ricinus communis* L.): Botany , Ecology and Uses. *International Journal of Science and Research*, v. 3, n. 5, p. 1333-1341, 2014.

SASTRI, Vinny R. Engineering Thermoplastics. *In*: *Plastics in Medical Devices*: Elsevier, 2014. v. 25p. 121-172. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-3201-2.00007-0>.

SCHNEIDER, R.C.S. Extração, caracterização e transformação do óleo de rícino. 2003. - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. Disponível em: http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/17513?locale=pt_BR%5Cnhttp://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/17513.

SERACO, Isaias Pereira; SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da. Medição do desgaste abrasivo de resina vegetal por meio de ensaio Taber. *In*: 2015, XXIII Jornada de Iniciação Científica-CETEM. p. 1-5.

SEVERINO, Liv Soares; MILANI, Máira; BELTRÃO, Napoleão Esberard de Macêdo. Mamona - 500 Perguntas, 500 Respostas. Brasil - Brasília, DF: Embrapa Informação tecnológica, 2006. Disponível em: <http://mais500p500r.sct.embrapa.br/view/publicacao.php?publicacaoid=90000014>.

SHARMIN, Eram; ZAFAR, Fahmina. Polyurethane: An Introduction. *In*: *Polyurethane: InTech*, 2012. p. 3-16. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/51663>.

SHELKE, Namdev B.; NAGARALE, Rajaram K.; KUMBAR, Sangamesh G. Polyurethanes: Elsevier Inc., 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396983-5.00007-7>.

SILVA, Fernanda Barbosa *et al.* Estudo comparativo de resinas para polimento de rochas ornamentais por modelagem molecular. *In*: 2016, João Pessoa - PB. IX SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE. João Pessoa - PB: 2016. p. 22-29.

SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da. Processo de obtenção de material compósito constituído por polímero de origem vegetal, carga mineral e material abrasivo e seu uso para corte de maciços rochosos e serragem de blocos de rocha. BR102012032156A2. Concessão: 2012.

SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da. Processo de telagem de chapas de rochas ornamentais. BR102013018760A2. Concessão: 2013.

SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da. Processo para obtenção de material compósito constituído por polímero de origem vegetal, carga mineral e material abrasivo e uso da composição obtida para o polimento de rochas. WO2014094092A1. Concessão: 2014.

SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da *et al.* Estudo comparativo da resistência à flexão quatro pontos entre granitos ornamentais telados com resina poliuretana de mamona e epóxi. *In:* 2017, Belém - PA. XXVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Belém - PA: 2017. p. 1-8.

SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da; FERREIRA, Bruna dos Santos Cezar; ALMEIDA, Phillipe Fernandes De. Application of castor oil polyurethane resin in the dimension stone block infusion reinforcement process. *In:* 2013, Global Stone Congress 2018. p. 121-124.

SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da; PORTO, W.; BOLONINI, T. Substituição da resina epóxídica utilizada na telagem de rochas ornamentais por poliuretana á base de óleo de mamona. *In:* 2015, Poços de Caldas - MG. XXVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Poços de Caldas - MG: 2015. p. 1-8.

SILVEIRA, L. L. L.; FERREIRA, B.; ALMEIDA, P. Applicazione di resina poliuretana a base di olio di ricino nella resinatura di blocchi di pietra ornamentale. *Diamante. Applicazioni & Tecnologia*, v. 93, p. 41-45, 2018.

SOUSA, José Gonçalves de. Análise Ambiental do Processo de Extração e Beneficiamento de Rochas Ornamentais Com Vistas a Uma Produção Mais Limpa: Aplicação em Cachoeiro de Itapimirim - ES. p. 42, 2007.

USDA, United States Department of Agriculture. National Plant Data Team (United States Of America) - Ricinus Communis. 2019. Disponível em: <https://plants.usda.gov/java/ClassificationServlet?source=display&classid=RICIN>. Acesso em: 8 maio. 2020.

VIDAL, Francisco W. H.; AZEVEDO, Hélio C. A.; CASTRO, Nuria F. Tecnologia de Rochas ornamentais: Pesquisa, Lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro:2013.

VILAR, Walter. Química e Tecnologia de Poliuretanos. 3. ed. [S. l.]: Vilar Consultoria, 2004.

SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2019, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 340 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br/series>.

Últimos números da Série Tecnologia Ambiental

STA-111 – **Digestão de amostras geológicas para quantificação de elementos das terras raras: Uma abordagem sustentável.** Andrey L.B. de Oliveira, Manuel C. Carneiro, Arnaldo A. Neto, Julio C. Afonso, Maria Inês C. Monteiro, Lílian Irene D. da Silva, Lílian da Silva, 2020.

STA-110 – **Fração bioacessível de metais particulado atmosférico (PM₁₀) fator ambiental que pode contribuir para as doenças respiratórias na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.** Lílian Irene Dias da Silva, Lídia Yokoyama, Lucas Barros Maia, Maria Inês Couto Monteiro, Fernanda Veronesi M. Pontes, Manuel Castro Carneiro, Arnaldo Alcover Neto, 2020.

STA-109 – **Bio-extração de metais de base a partir de sucatas eletroeletrônicas: Uma abordagem teórica.** Andriela Dutra Norberto Oliveira, Luis Gonzaga Santos Sobral, Débora Monteiro de Oliveira, 2020.

INFORMAÇÕES GERAIS

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ
Geral: (21) 3865-7222
Biblioteca: (21) 3865-7218
E-mail: biblioteca@cetem.gov.br
Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

NOVAS PUBLICAÇÕES

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.



Missão Institucional

Desenvolver tecnologias inovadoras e sustentáveis, e mobilizar competências visando superar desafios nacionais do setor mineral.

O CETEM

O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é um instituto de pesquisas, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC, dedicado ao desenvolvimento, à adaptação e à difusão de tecnologias nas áreas minerometalúrgica, de materiais e de meio ambiente.

Criado em 1978, o Centro está localizado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, na Cidade Universitária, no Rio de Janeiro e ocupa 20.000m² de área construída, que inclui 25 laboratórios, 4 plantas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.

Durante seus 42 anos de atividade, o CETEM desenvolveu mais de 800 projetos tecnológicos e prestou centenas de serviços para empresas atuantes nos setores minerometalúrgico, químico e de materiais.