

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

EFEITOS DE TRATAMENTO DE CURA EM ALGUMAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTICAS DE BOA VISTA, VISANDO SUA APLICAÇÃO COMO FLUÍDOS TIXOTRÓPICOS PARA PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO

Por

RUTH H. GOLDSCHMIDT ALIAGA KIMINAMI

ORIENTADOR: Prof. Dr. HEBER CARLOS FERREIRA

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA - BRASIL

1 9 8 1

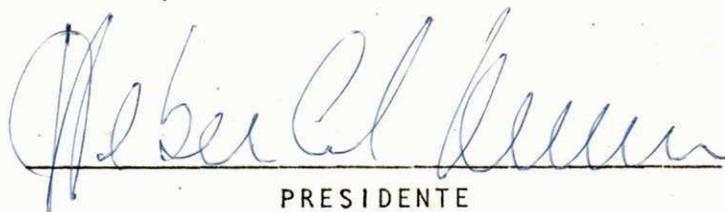
EFEITOS DE TRATAMENTO DE CURA EM ALGUMAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE BOA VISTA, VISANDO SUA APLICAÇÃO COMO FLUÍDOS TIXOTRÓPICOS PARA PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO

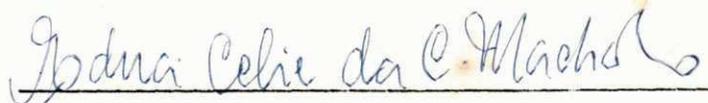
RUTH H. GOLDSCHMIDT ALIAGA KIMINAMI

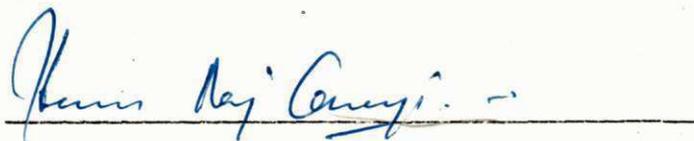
DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA QUÍMICA.

APROVADO POR:

COMISSÃO


PRESIDENTE





CAMPINA GRANDE - PARAÍBA - BRASIL

1 9 8 1

DIGITALIZAÇÃO:
SISTEMOTECA - UFCG

DEDICATÓRIA

Ao Cláudio e à
Cristina.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. HEBER CARLOS FERREIRA a quem se deve a orientação, pelo incentivo e apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Dr. PÉRSIO DE SOUZA SANTOS, da Escola Politécnica da USP, pelo auxílio na revisão bibliográfica, pelas proveitosas discussões e interesse.

Ao Dr. JEFFERSON VIEIRA DE SOUZA, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas S.A. de São Paulo, pela realização dos ensaios de Raios-X e Análise Térmica Diferencial. A Dra. HELENA DE SOUZA SANTOS, do Instituto de Física da USP, pelos ensaios de Microscopia Eletrônica. A Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Engenharia de Materiais pelos ensaios realizados de Análise Química, Capacidade de Troca de Cátions e Área Específica.

Ao Professor THOMAS TOSHIMI ISHIKAWA, da Universidade Federal de São Carlos, pelo auxílio na revisão bibliográfica.

Ao Laboratório de Solos I, do Departamento de Engenharia Civil na pessoa do Professor FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA.

Aos Acadêmicos de Engenharia, GELMIREN DE ARAÚJO NEVES e à SOLANGE MARIA DA ROCHA PATRÍCIO pelo muito que me auxiliaram durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

A Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Química do Centro de Ciências e Tecnologia da PRAI/UFPB, na pessoa do Professor Dr. MICHEL FRANÇOIS FOSSY, pelo apoio e auxílio para a realização deste trabalho.

Ao JECONIAS DANTAS COSTA, a autora agradece os traba
lhos de datilografia e ao WINDSOR RAMOS DA SILVA pelos desenhos
realizados.

R E S U M O

Visando o estudo dos efeitos de tratamento de cura em algumas propriedades reológicas de argilas esmectíticas para uso como fluídos tixotrópicos na perfuração de poços de petróleo, duas amostras de cores verde-clara e vermelha da localidade de Bravo, Distrito de Boa Vista Município de Campina Grande, Paraíba foram submetidas a ensaios de caracterização e a ensaios tecnológicos.

Foram utilizados quatro processos de tratamento de cura com o auxílio de uma câmara climatizada controlável, variando-se a umidade relativa, a temperatura, o tempo e a concentração de carbonato de sódio. Com dois processos verificou-se também o efeito da diálise antes e depois do tratamento de cura. Foram também determinados, para as amostras submetidas a cura à 90%UR e 40°C e a 90%UR e 90°C, os teores de carbonatos e bicarbonatos existentes na suspensão a 6% de sólidos. Com estes valores foram calculados as correlações com as propriedades reológicas estudadas que foram a viscosidade aparente, viscosidade plástica e volume do filtrado.

Os estudos mostraram que as argilas de cor verde-clara apresentam excelentes propriedades reológicas após tratamento de cura conveniente, possibilitando assim o uso dessa argila que apesar de ser abundante é considerada imprópria.

O trabalho também mostra que as argilas de cor vermelha também apresentam propriedades reológicas dentro das especificações quando convenientemente tratadas. Verifica-se também que

ambas as amostras apresentam comportamentos reológicos diferentes quando submetidas ao mesmo tratamento de cura, apesar dos ensaios de caracterização mostrarem que são constituídos pelos mesmos argilominerais.

Estabeleceu-se também os teores mínimos e máximos de carbonatos e bicarbonatos necessários para obter propriedades reológicas dentro das especificações.

ABSTRACT

A study of the effects of cure-treatment on some rheological properties of esmectite clays, which may be used as thixotropic fluid in petroleum drilling, was made on two samples of light-green and red colour smectite clays obtained from the Bravo locality of Boa Vista district of Campina Grande, Paraiba. They were submitted to characterization analysis and technological tests.

Four processes of cure treatment were used in a chamber of controllable climate where the relative humidity, the temperature, the time and the sodium carbonate concentration could be varied. The range of the relative humidity studied was 50% until 90%, and the range of the temperature varied from 40°C to 90°C. With two of the processes the effect of dialysis before and after the cure treatment was also verified. The amounts of carbonate and bicarbonate were also determined for the clay sample suspensions of 6% solid content and submitted to the cure treatment of 90% relative humidity at 40°C temperature and 90% relative humidity at 90°C temperature. On the basis of these data the correlations of the rheological properties like apparent viscosity, plastic viscosity and filtered volume were found out.

The study showed that the light-green clay becomes excellent in rheological properties after the adequate cure treatment. Thus this clay found abundantly can be utilised although it is considered improper to be used.

It was found out that the red clay when treated properly also presented rheological properties within the limits of

specifications. It was verified that the two clay samples behaved rheologically differently when submitted to the similar cure treatment, inspite of the fact that both the clays are basically of same mineral.

The minimum and maximum contents of carbonate and bicarbonate necessary to obtain the specific rheological properties of the clays were also established in the present work.

SIMBOLOGIA UTILIZADA

SÍMBOLO	PROPRIEDADE	UNIDADE
UR	umidade relativa	%
T	temperatura	°C
CTC	capacidade de troca de cátions	meq/100g
AE	área específica	m ² /g
VA	viscosidade aparente	cP
VP	viscosidade plástica	cP
VF	volume do filtrado	ml

ÍNDICE

	Página
DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	iv
ABSTRACT	vi
SIMBOLOGIA UTILIZADA	viii
ÍNDICE	ix
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO E OBJETIVO	1
1.1 - INTRODUÇÃO	1
1.2 - OBJETIVO	2
CAPÍTULO II - REVISÃO DE LITERATURA	3
CAPÍTULO III - MATERIAIS E MÉTODOS	11
3.1 - MATERIAIS	11
3.2 - MÉTODOS	11
3.2.1 - Métodos de Ensaio de Caracterização	12
3.2.2 - Métodos de Ensaio Tecnológicos	12
CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
4.1 - ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO	20
4.2 - ENSAIOS TECNOLÓGICOS	28

4.2.1 - Primeiro Processo	28
4.2.2 - Segundo Processo	38
4.2.3 - Terceiro Processo	119
4.2.4 - Quarto Processo	145
4.2.5 - Teores de Carbonatos e Bi carbonatos	165
4.2.6 - Análise Estatística	170
CAPÍTULO V - CONCLUSÕES	185
CAPÍTULO VI - SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	189
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	191
APÊNDICES	199
APÊNDICE I - MÉTODOS VOLUMÉTRICOS COM TITULAÇÃO PELO ÁCIDO SULFÚRICO PARA A DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE CARBONATOS E BICARBONATOS EM SO LOS	200
APÊNDICE II - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO E PARÂMETROS "A" E "B"	203

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO E OBJETIVO

1.1 - INTRODUÇÃO

As reservas brasileiras de argilas esmectíticas reconhecidas oficialmente estão localizadas em quase sua totalidade nas localidades de Bravo, Lajes e Juá, no Distrito de Boa Vista, Município de Campina Grande no Estado da Paraíba. Estas reservas totalizavam até o fim de 1979, 13.128.000 t (1,2). Estas argilas esmectíticas, antigamente chamadas grupo das montmorilonitas, são policatiônicas no seu estado natural. Atualmente três empresas respondem por sua mineração. Essa argila é beneficiada por outras sete empresas paraibanas, cuja produção em abril de 1980 era de aproximadamente 450.000 t (1,2).

O beneficiamento destas argilas se tornou necessário devido a inexistência de jazida ou ocorrência de esmectita sódica típica, argila esta adequada para aplicação industrial. O processo de beneficiamento para obtenção de esmectitas sódicas a partir de esmectitas policatiônicas utilizadas pelas indústrias produtoras variam consideravelmente, resultando numa indesejável diversidade quanto as propriedades nos produtos do mercado. Um dos fatores que devem ser cuidadosamente controlados pelas indústrias beneficiadoras para minimizar tais diversidades é através da cura do material durante o tratamento com o carbonato de sô

dio em proporção especificada e com secagem adequada.

O problema da secagem vem sendo estudado amplamente por Zandonadi, A. R. (3,4) e o problema da cura tomou corpo nas pesquisas recentes de Ferreira e Colaboradores (5, 6, 7). Frente a resultados obtidos destas pesquisas e visando às necessidades das indústrias beneficiadoras surgiu a proposta de se estudar diversos processos de tratamentos de cura em argilas esmectíticas de cores diferentes, tais como as vermelhas por serem as melhores e as verde-clara, atualmente preteridas pelas indústrias por não atender as especificações após beneficiamento e serem as mais abundantes, e prever o melhor processo de cura para cada uma mediante respostas das viscosidades aparente e plástica e do volume do filtrado segundo condições especificadas pela Petrobrás (8 e 9).

1.2 - OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é contribuir para a otimização do processo de beneficiamento das argilas esmectíticas visando sua utilização como agente tixotrópico para perfuração de poços de petróleo. Para tanto estabeleceu-se o estudo dos efeitos dos parâmetros de temperatura, umidade relativa, tempo e concentração do carbonato de sódio no tratamento de cura e dos efeitos da diálise antes e após a cura nas propriedades de viscosidade aparente, viscosidade plástica e volume do filtrado das argilas esmectíticas de cor verde-clara e vermelha da localidade de Bravo - Paraíba.

CAPÍTULO II

REVISÃO DE LITERATURA

Na perfuração de poços de petróleo, usa-se uma suspensão de argilas (drilling mud) tipo bentonita constituída principalmente pela esmectita sódica com a finalidade de funcionar como refrigerante, para remover do orifício em perfuração os detritos e para vedar as partes laterais do poço como uma espécie de filtro impermeável. A suspensão ou fluido para perfuração de poços para pesquisa de petróleo foi usado pela primeira vez nos Estados Unidos em 1883 e a partir do sucesso alcançado por Lucas, em 1901 no Texas, é que os técnicos em perfuração dirigiram suas atenções sobre as vantagens do uso da suspensão na sonda do tipo rotativa (10). As operações de bombeamento e vedação são executadas com maior eficiência se essa suspensão de argila estiver defloculada, contudo, um certo grau de rigidez da argila torna-se necessário para reduzir a sedimentação das aparas principalmente durante uma interrupção da circulação. Essas condições antagônicas são em parte conciliadas mantendo a suspensão de argila em um estado parcialmente floculado, tixotrópico.

As partículas de argilas quando colocadas em suspensão estão eletricamente carregadas e dependendo de suas propriedades químicas podem flocular ou deflocular. A habilidade destas argilas adsorverem íons tais como Na^+ , Ca^{2+} , Al^{3+} , H_3O^+ , é denominado troca de cátions e a soma destes íons adsorvidos por unidade de peso de argila é denominado capacidade de troca de cátions (11).

Existem três mecanismos descritos por Grim que podem explicar o fenômeno de troca de cátions nos argilominerais:

1. ligações quebradas nas arestas do Si_2O_5 e falhas de gibsita que compõem o reticulado cristalino. Isto ocorre somente nas superfícies paralelas ao eixo C do mineral;
2. substituições no reticulado cristalino de um íon de baixa valência, tal como Al^{3+} por Si^{4+} na folha tetraédrica ou Mg^{2+} por Al^{3+} na folha octaédrica. Disto resulta que cargas negativas nas partículas podem ser balanceadas pela adsorção de cátions. Grim indica que 80 por cento da capacidade de troca de cátions nas bentonitas são explicadas por tais substituições. Enquanto que Johnson mostra provas que a capacidade de troca nas bentonitas podem ser explicadas pelas ligações quebradas das arestas das partículas (11);
3. o hidrogênio exposto nas hidroxilas podem ser trocados por outros cátions.

A capacidade de troca de cátions pode ser medida por vários métodos incluindo medidas de viscosidade, pH e titulação (11).

O volume de sedimentação e a floculação são importantes na perfuração de poços de petróleo. As partículas de uma suspensão apresentam geralmente uma densidade um pouco diferente da do meio de suspensão, assim sendo elas tenderão a se acumular, sob o efeito da gravidade, no fundo ou na superfície do recipiente. Uma velocidade de sedimentação de até cerca de 10^{-8} ms^{-1} é geralmente contra-balançada pela difusão e convecção, que tendem a manter a mistura dispersa (11,12).

Nos casos em que ocorre sedimentação, o volume de sedimento final depende do grau de floculação. Partículas relativamente não floculadas, podem sofrer uma compactação eficiente e dar origem a um sedimento denso, difícil de ser disperso novamente. Partículas floculadas, por outro lado, se interligam facilmente e dão origem a um sedimento pouco denso, que pode ser disperso novamente com mais facilidade. Em casos extremos, o volume de sedimentação pode ser igual ao volume total, o que nos coloca frente a uma situação paradoxal, ou seja, uma pequena quantidade de agentes floculantes provocando formação de um sedimen

to, e uma quantidade grande de agentes flocculantes não provocando sedimentação. Uma agitação moderada geralmente reduz o volume de sedimentação (11 a 15).

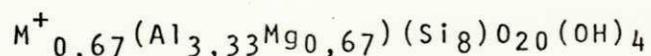
Quando as partículas flocculam com formação de uma estrutura reticular contínua, que se estende por todo o volume disponível e imobiliza o meio de dispersão, o sistema semi-sólido resultante é chamado gel. A rigidez de um gel depende do número da força das ligações entre as partículas que formam a estrutura contínua.

Na aplicação, em perfuração de poços de petróleo, se a suspensão de argila que deve estar num estado parcialmente flocculado tixotrópico se tornar muito rígido, uma defloculação parcil pode ser provocada pela adição de uma pequena quantidade de um agente peptizante (12,16 a 18). As partículas em forma de placas de argilas como a bentonita apresentam-se muitas vezes com faces de cargas negativas e arestas de carga positiva quando em contato com o meio aquoso e flocculam rapidamente por meio de um mecanismo aresta-face formando uma estrutura de gel, mesmo em concentrações moderadamente baixas de argila. A principal função do agente peptizante é inverter as cargas positivas nas arestas das partículas de argila (11). A área relativamente pequena ocupada pelas arestas torna este processo economicamente viável.

O nome bentonita foi aplicado pela primeira vez por Knight em 1898 a uma argila plástica coloidal encontrada em camadas cretáceas em Wyoming (EUA), que apresenta a propriedade específica e peculiar de aumentar várias vezes o seu volume inicial se umedecida com água e formar geis tixotrópicos em meio aquoso em concentrações tão baixas como 2% (11,19).

A bentonita sódica de Wyoming é composta por no mínimo de 90% de montmorilonita ou esmectita e sua capacidade de troca de cátions é da ordem de 80 a 90 meq/100g, tendo o sódio o cálcio e o magnésio como cátions trocáveis principais.

De um modo geral, podem ser consideradas bentonitas, as argilas esmectíticas que tenham como argilomineral predominante a montmorilonita propriamente dita, cuja fórmula teórica da cela unitária é:

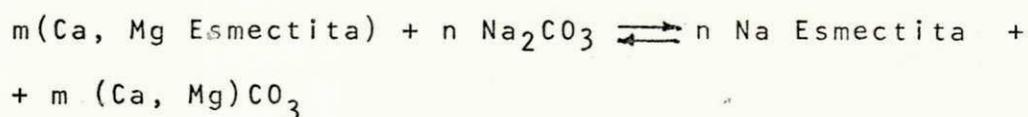


e cujos cátions trocáveis sejam Na^+ (ou Li^+) e Ca^{2+} para obtermos bentonitas sódicas (ou de lítio) e bentonitas cálcicas.

Smoot (10,19) sugeriu, que apenas a argila esmectítica industrializada na forma sódica ou cálcica seja denominada de bentonita e não qualquer argila esmectítica, como se faz indistintivamente no Brasil.

Para uso industrial, há dois tipos de bentonitas. Um tipo é a bentonita sódica que tem como padrão a bentonita de Wyoming e de Dakota do Sul (EEUU), e cujas aplicações industriais estão diretamente ligadas à formação de geis tixotrópicos. O outro tipo é a bentonita cálcica, cujo padrão é a bentonita da região do Mississippi (EEUU) (10,19).

Nos países que não possuem bentonita sódica natural como a de Wyoming é de interesse industrial desenvolver processos que permitam transformar esmectíticas mono e policatiônicas não sódicas, em esmectitas sódicas por meio de uma reação química de dupla troca, reversível, aumentando-se a concentração do sal de sódio no deslocamento do equilíbrio ou pela formação de um carbonato insolúvel, usando carbonato de sódio comercial (20, 21).



A esmectita sódica formada deve apresentar a capacidade de inchar em água, formando um gel tixotrópico, dependendo da concentração da argila no meio. Isto levou a American Petroleum Institute a especificar que para uma dispersão aquosa, contendo 6% de bentonita sódica de Wyoming a viscosidade aparente mínima seria de 15,0 cP a viscosidade plástica mínima de 8,0 cP e o volume do filtrado de no máximo 18,0 ml citados por (22).

A determinação do filtrado dos fluídos de perfuração permite tirar conclusões sobre as qualidades coloidais da argila empregada. Quanto maior a proporção da matéria coloidal na argila, tanto menor será a porcentagem de água livre no sistema. Consequentemente, menos será o filtrado após 30 minutos. A viscosidade plástica depende essencialmente da concentração em sólidos, representa a componente da resistência ao escoamento devida ao atrito mecânico entre as partículas sólidas do sistema, entre as partículas sólidas e líquidas e entre as partículas líquidas.

A viscosidade aparente é aquela que os fluídos aparentam ter a determinada rotação, se se comportassem como fluídos newtonianos, tendo duas componentes, a viscosidade plástica e o limite de escoamento (9, 23 a 29).

No Brasil, a falta de ocorrência de esmectita sódica ou cálcica, preocupou vários pesquisadores. Por volta de 1968, Souza Santos demonstrou ser possível a obtenção de bentonitas sódicas a partir de argilas esmectíticas policatiônicas do Distrito de Boa Vista tratadas com solução de carbonato de sódio (20). Surgiram também vários trabalhos dando informações sobre a origem geológica, composição mineralógica e usos tecnológicos das argilas esmectíticas encontradas em diversos lugares do Brasil. Entre eles temos os trabalhos de Formoso quanto aos aspectos geológicos e tecnológicos de ocorrências de argilas no Rio Grande do Sul (30); os trabalhos de esmectitas do estado do Paraná (31), do estado da Bahia (19); quanto a geologia da jazida de Boa Vista (32,33,34); quanto aos métodos de ensaios (9,19,22,35) e sobre as esmectitas do Distrito de Boa Vista, município de Campina Grande, Paraíba (20,21,36).

Apesar de todas estas ocorrências estudadas serem constituídas essencialmente por argilominerais esmectíticos, algumas inchavam com água e davam 15,0 cP de viscosidade aparente a 6% de sólidos enquanto outras não inchavam e ficavam com viscosidade aparente entre 1,0 cP a 3,0 cP. Frente a estes resultados iniciais, surgiram dificuldades quanto a melhora do produto final para tanto foram propostas várias explicações. A primeira seria de que a natureza e a proporção dos cátions presentes nas argilas estudadas bloqueariam a troca pelo sódio; e a segunda explicação seria quanto a cinética diferente na troca dos cátions. Ambas foram testadas por Zandonadi e Cavazzoni (36 a 41) cujos resultados não permitiram provar tais hipóteses.

Em 1972, Zandonadi tentou correlacionar a viscosidade aparente inferior a 15,0 cP como consequência de um não inchamento em água e conseqüentemente a dispersão não seria adequada para formar o sol viscoso ou gel tixotrópico. O resultado, comparado com os dados de Forster (42 a 45) concluiu que o elevado teor de Fe na camada octaédrica provocaria baixa viscosidade aparente e conseqüentemente o não inchamento (36). Zandonadi testou dezoi to processos diferentes de tratamento com carbonato de sódio pa

ra transformar as esmectitas policatiônicas naturais em esmectitas sódicas e verificar qual delas seriam as mais indicadas para obter propriedades da suspensão dentro das especificações. Os dois processos que deram os melhores resultados foram aqueles que a argila seca à $20^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$ e moída até passar por peneira USS nº 200 (0,074 mm) era tratada com carbonato de sódio na forma anidra ou em solução concentrada na proporção de 100 meq/100g de argila seca e sendo a mistura homogeneizada e guardada em câmara com 100% de umidade relativa durante uma semana. Com estes resultados ele verificou que o grau de substituição isomórfica pelo Mg e Fe na folha octaédrica não era o único fator responsável pelo não inchamento e baixa viscosidade aparente (36,38).

Em 1979, Ferreira e Colaboradores mostraram que dentre quatro Industriais beneficiadoras do estado da Paraíba, nenhuma delas atendiam as especificações da Petrobrás (46). Estas especificações atualmente exigem que a viscosidade aparente seja de no mínimo 15,0 cP, a viscosidade plástica de no mínimo 4,0 cP e volume do filtrado de no máximo 18,0 ml (8).

Souza Santos e Colaboradores na tentativa de melhorar as propriedades do produto final partiram do processo recomendado por Zandonadi, para o estudo do efeito da secagem antes e depois da troca de cátions com carbonato de sódio nas argilas esmectíticas policatiônicas. Os resultados obtidos para a esmectita de cor verde-lôdo da localidade de Bravo foram que a melhor faixa de temperatura de secagem para se obter viscosidade aparente acima de 15,0 cP e viscosidade plástica de 8,0 cP está entre 30°C e 55°C se a troca com o carbonato de sódio à temperatura ambiente for posterior à secagem, e se a troca com o carbonato de sódio à temperatura ambiente for antes da secagem obtem-se melhores valores da viscosidade plástica (3, 47 a 50).

Recentemente, as últimas pesquisas desenvolvidas com as argilas esmectíticas do Brasil são com as argilas esmectíticas do Distrito de Boa Vista, das localidades de Lages, Juã e Bravo por serem as mais utilizadas nas Indústrias beneficiadoras e onde essas argilas se apresentam em maior abundância.

Na mina de Lages podem ser encontradas argilas de cor verde-lôdo e as de cor chocolate (clara e escura). Na mina de Juã observa-se uma maior predominância das argilas de cor chocolate-escura. Na mina de Bravo onde observa-se maior diversifica

ção de cores e tonalidades, as argilas que predominam são as que regionalmente se conhecem com o nome de bofe e às de cor verde-clara assumem o segundo lugar, observando-se também argilas de cor vermelha e chocolate (clara e escura) (51).

Foi realizado um estudo por microscopia eletrônica de transmissão na tentativa de caracterizar as morfologias dos vários tipos de partículas encontradas nas argilas esmectíticas de Bravo, Lages e Juã. Nesse estudo pareceu haver alguma diferença na morfologia global das micrografias eletrônicas de esmectitas de Bravo e de Lages (48), mas ultimamente foi demonstrado por Helena de Souza Santos que as micrografias eletrônicas de transmissão de 16 amostras de Bravo de diferentes cores eram idênticas entre si, não sendo possível correlacionar as cores com a morfologia (51). Foi mostrado também, que as amostras, das diferentes cores, apresentavam valores diferentes da viscosidade plástica, nas condições de ensaio específico pela Petrobrás, e nos outros ensaios de caracterização não haviam diferenças significativas.

Uma outra pesquisa de amostras esmectitas coloridas de Bravo, Lages e Juã confirmou a homogeneidade morfológica observada com as amostras de Bravo e mostrou diferenças morfológicas entre as amostras de Lages e Juã (52).

Na tentativa de encontrar diferenças entre os argilominerais esmectíticos presentes correlacionados ou com as diversas cores ou com as viscosidades das dispersões na forma sódica, Pádua utilizou o ensaio de Greene Kelly (53 a 56). Os resultados mostraram não haver correlação entre os argilominerais esmectíticos presentes com as diversas cores ou com as viscosidades e que as amostras da mesma cor, da mesma localidade ou localidades diferentes podem expandir ou não (57).

Ferreira e Colaboradores vem submetendo duas argilas esmectíticas de Bravo de cores diferentes a um conjunto de condições de cura visando a melhoria de suas propriedades através de sua estabilização física ou química ou físico-química. Os resultados obtidos com as duas amostras submetidas as mesmas condições de cura foram: a) comportamento anômalo entre as amostras; b) melhoria das propriedades reológicas das argilas de cor vermelha quando curadas à 90% de umidade relativa e 40°C e nas verde-clara à 70% de umidade relativa e 70°C (5,6,7).

Com o tratamento de cura foi verificado que as argilas esmectíticas de Bravo atingem propriedades reológicas dentro das especificações (7). Frente a estes resultados surgiu a necessidade de se desenvolver estudos destas argilas em diversas condições de cura, variando-se a concentração do carbonato de sódio, temperatura tempo e umidade relativa e em verificar o efeito da diálise antes e após a cura visando a melhoria das propriedades reológicas para uso como fluídos tixotrópicos. Pontos ainda não esclarecidos.

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - MATERIAIS

Para o estudo dos efeitos de tratamento de cura em algumas propriedades reológicas de argilas esmectíticas de Boa Vista, foram utilizadas duas argilas esmectíticas de cores diferentes, verde-clara e vermelha.

As duas argilas esmectíticas utilizadas neste trabalho, foram coletadas na região de Bravo, localizada no Distrito de Boa Vista, à 60 km de Campina Grande, Paraíba. A jazida de Bravo, explorada pela empresa de mineração do mesmo nome é a maior de todas e obedece a uma exploração bastante racional e simplificada com várias frentes de exploração numa só mina.

Estas duas argilas esmectíticas foram coletadas manualmente e acondicionadas em sacos de lona, para evitar qualquer mistura de cores.

3.2 - MÉTODOS

As duas argilas esmectíticas foram submetidas à secagem ao ar, à temperatura ambiente, até se atingir 10% de umidade.

Nessa condição as amostras foram moídas sem empastar em almofariz manual de porcelana até passar em peneira USS nº 200 (abertura de 0,074 mm).

Cada amostra moída em malha USS nº 200 foi dividida em duas partes, uma de 1,0 kg, para os ensaios físico-químicos de identificação mineralógica e a segunda de 16,0 kg para os ensaios tecnológicos. Estas amostras foram acondicionadas em saco plástico fechado até serem utilizados nos ensaios de caracterização e tecnológicos descritos a seguir.

3.2.1 - Métodos de Ensaio de Caracterização

Para a caracterização mineralógica das duas argilas esmectíticas de cores verde-clara e vermelha utilizou-se a análise térmica diferencial, a análise por difração de raios-X e a microscopia eletrônica por transmissão e foram feitas as análises químicas, capacidade de troca de cátions, determinação da área específica e dos cátions trocáveis.

A análise térmica diferencial foi realizada segundo método descrito na referência (19) e o equipamento utilizado foi projetado e construído no Agrupamento de Tecnologia do IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. A análise por difração de raio-X na forma seca ao ar e tratada com glicoletilênico foi realizada conforme descrito na referência (19). O difratômetro de raio-X utilizado foi da marca Philips, com registro gráfico usando radiação K-alfa de cobre e com velocidade de varredura de $1^\circ(2\theta)$ por minuto. A análise de microscopia eletrônica foi realizada segundo técnicas descritas nas referências (19,32). O microscópio eletrônico de transmissão utilizado foi da marca Siemens Elmiskop 101.

A análise da capacidade de troca de cátions foi feita pelo método químico conforme descrito na referência (19) e pelo método de adsorção de azul de metileno.

3.2.2 - Métodos de Ensaio Tecnológicos

Os ensaios tecnológicos utilizados neste trabalho, consistiram em submeter as duas argilas esmectíticas de cores diferentes, à diversos processos de tratamento de cura, para estudar

os efeitos destes tratamentos nas viscosidades aparente e plástica e no volume do filtrado. As amostras foram tratadas na forma de solução saturada de carbonato de sódio (0,25g de Na_2CO_3 em $2,5 \text{ cm}^3$ de H_2O destilada) na proporção de 50 meq/100g de argila seca (+) e nas proporções de 100 meq/100g e 150 meq/100g de argila seca. 21g de cada amostra foi misturada com 5,5 ml de solução de carbonato de sódio para formar uma suspensão aquosa a 6% quando misturada com 350 ml de água destilada.

O primeiro processo de tratamento de cura consistiu em submeter em ambiente úmido próximo a 100% de umidade relativa e temperatura ambiente as amostras verde-clara e vermelha, tratadas com o carbonato de sódio. Para cada ciclo de 24 h foram necessárias 16 amostras de cada cor, porque todos os ensaios foram feitos em duplicatas. Após serem submetidas a 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h, 21h e 24h de cura foram obtidos experimentalmente os valores da viscosidades aparente e plástica e do volume do filtrado. Foram utilizados um viscosímetro FANN-35A e um filtro-prensa FANN.

A viscosidade aparente em cP foi calculada dividindo-se por dois a leitura direta feita a 600 rpm no viscosímetro e a viscosidade plástica em cP foi calculada efetuando-se a diferença entre as leituras feitas a 600 rpm e 300 rpm. O volume do filtrado em ml foi determinado através do filtro prensa a 7 kg/cm^2 por 30 minutos (8). A 100% de umidade relativa e temperatura ambiente foram realizados 4 ciclos de cura: o primeiro foi das amostras sem tratamento com carbonato de sódio, para avaliar o efeito da alta umidade relativa e o tempo de cura nas argilas esmectíticas na forma natural, à temperatura ambiente. Os três ciclos restantes foram com amostras tratadas com 50 meq/100g, 100 meq/100g e 150 meq/100g de carbonato de sódio. Este processo está apresentado no fluxograma da Figura 3.1.

O segundo processo de tratamento de cura foi realizado em câmara climatizada controlável da marca Blue-M do tipo AC. Neste aparelho foram realizados 27 ciclos de tratamento de cura, variando a umidade relativa, a temperatura e a concentração do carbonato de sódio. Os 27 ciclos de 24h realizados com as duas esmectíticas de Bravo tratadas com carbonato de sódio conforme descrito anteriormente, foram os seguintes:

(+) n meq de carbonato de sódio por 100g de argila seca ou n meq /100g de argila seca ou n meq/100g de carbonato de sódio.

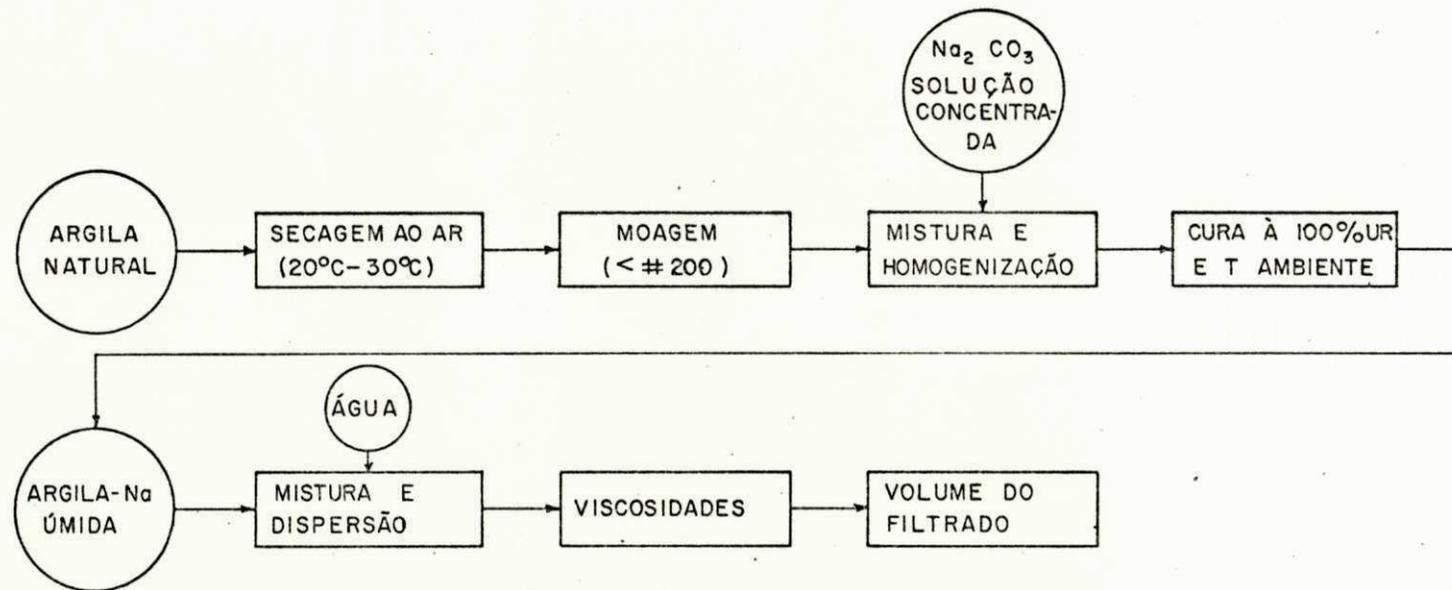


FIGURA 3.1 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE CURA À 100% UR E TEMPERATURA AMBIENTE.

OBS: NO PRIMEIRO CICLO AS AMOSTRAS NÃO FORAM TRATADAS COM O CARBONATO DE SÓDIO.

Fig (1)

Número de Ciclos de 24h	Concentração do Carbonato de Sódio (meq/100g)	Umidade Relativa (%)	Temperatura (°C)
12	50, 100 e 150	90	90
			70 40
			50
9	50, 100 e 150	70	90
			70
			50
6	50, 100 e 150	50	90
			70

Após cada tratamento de cura foram determinadas as viscosidades aparente e plástica e o volume do filtrado, conforme mostra o fluxograma da Figura 3.2.

O terceiro processo de cura realizado com as duas amostras consistiu em verificar o comportamento da viscosidade aparente e plástica quando submetidas à cura em câmara climatizada à 90% de umidade relativa e 40°C e 90°C e em seguida submetidas à diálise durante sete dias, conforme Fluxograma da Figura 3.3. A diálise consistiu em colocar cada suspensão à 6% de cada amostra curada em saco de celofane imerso em água destilada que foi trocada de 12 em 12h. Foram realizados 6 ciclos de tratamento de cura, variando à concentração do carbonato de sódio e 6 ciclos de tratamento de diálise. Após cada tratamento de cura e de diálise foram determinadas as viscosidades aparente e plástica e o volume do filtrado.

Finalmente, o último processo de cura consistiu em verificar o comportamento das duas amostras quando submetidas à diálise durante sete dias na forma natural, sem tratamento com o carbonato de sódio. Após a diálise das amostras, estas foram colocadas em bacia de ágata e submetidas à secagem à 30°C - 40°C em estufa com ventilação forçada. Após à secagem foram moídas em almofariz de porcelana até passar em peneira USS nº 200 (abertura de 0,074 mm) com 0,0% de resíduo. Estas amostras então foram curadas em câmara climatizada à 90% de umidade relativa e 40°C e 90°C tratadas com solução saturada de carbonato de sódio na pro

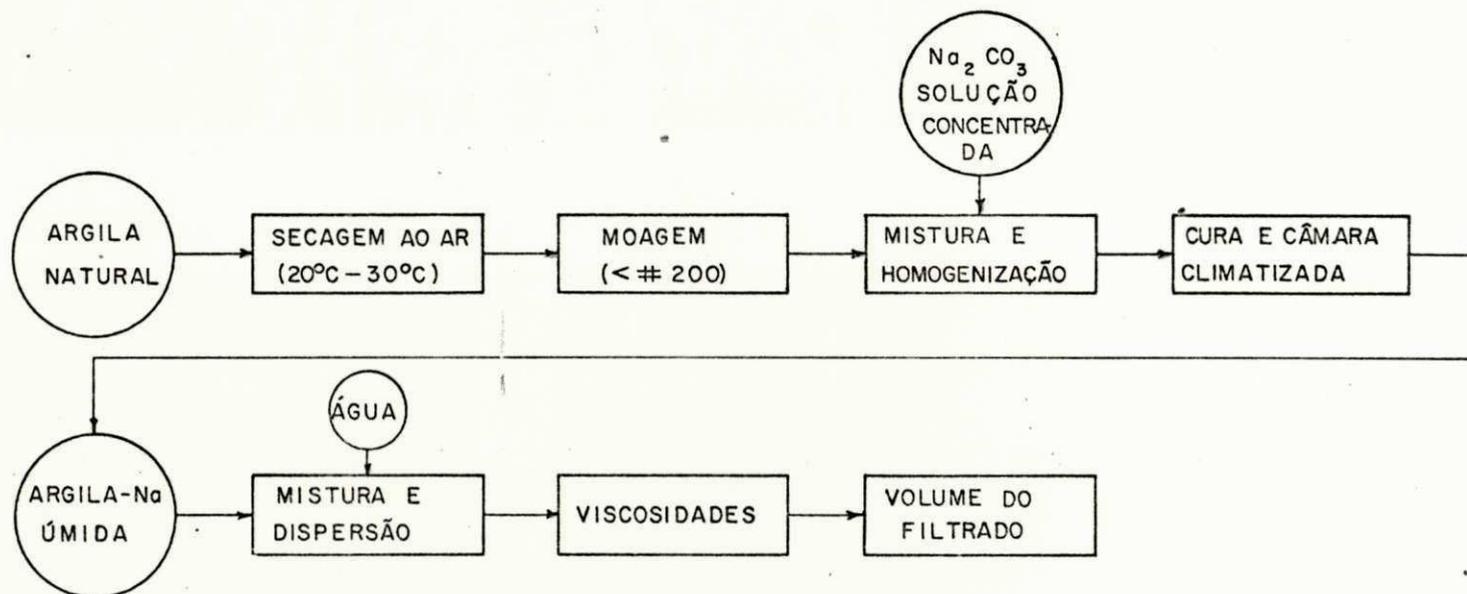


FIGURA 3.2 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA.

Fig(2)

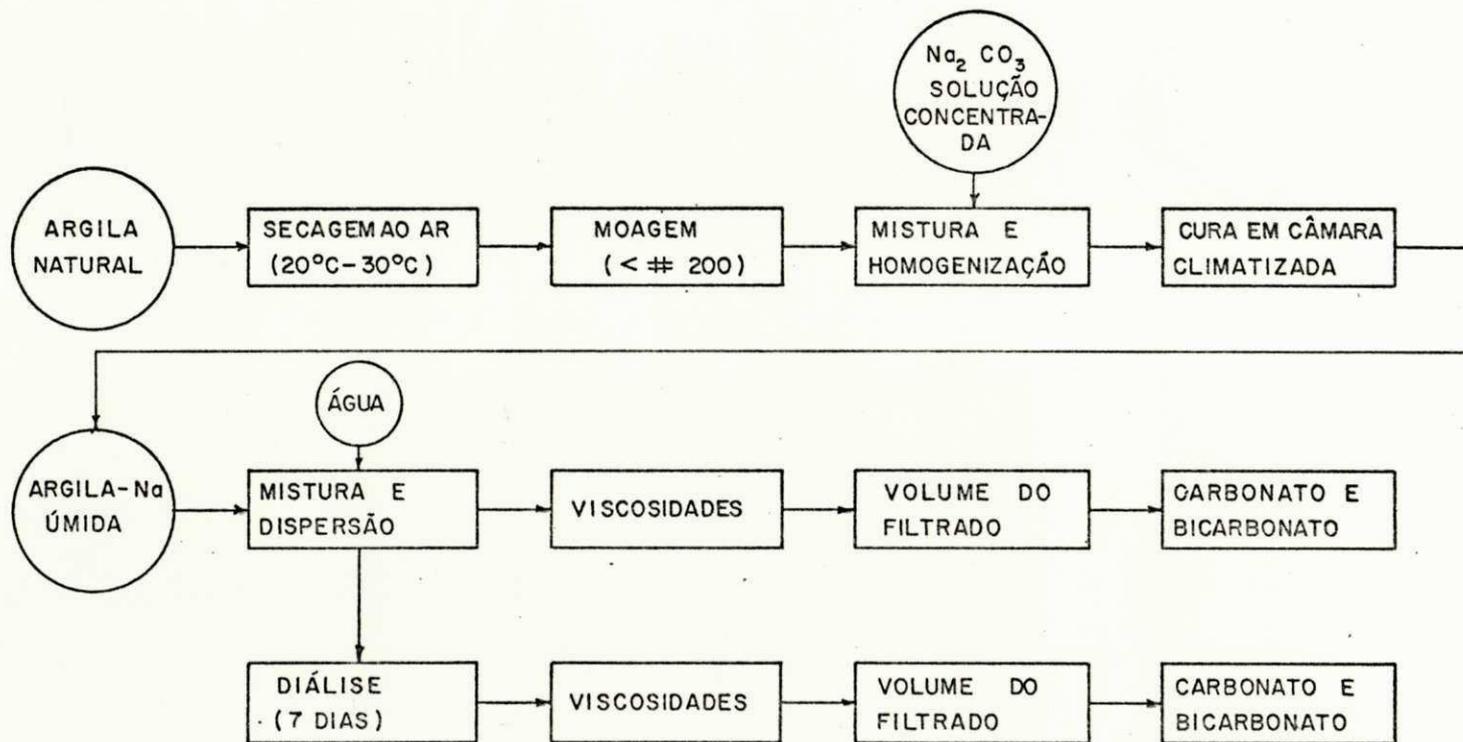


FIGURA 3.3 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA E DIÁLISE POSTERIOR.

Fig (3)

porção de 50 meq/100g, 100 meq/100g e 150 meq/100g de argila seca. Foram então realizados seis ciclos de tratamento de cura nas amostras dialisadas, conforme fluxograma da Figura 3.4. Após a cura foram determinadas as viscosidades aparente e plástica e o volume do filtrado.

Nas amostras que foram submetidas ao segundo, terceiro e quarto processo de tratamento de cura à 90% de umidade relativa e 40°C e 90°C durante 3h e 6h de cura, foram determinados os teores de carbonatos e bicarbonatos com o filtrado recolhido após 30 min, segundo método descrito no Apêndice I.

Com os resultados obtidos foram calculados os valores médios dos carbonatos e bicarbonatos. Com os resultados das viscosidades aparente e plástica e volume do filtrado com 3h e 6h de cura, foram também calculados os seus valores médios respectivos. Com estes valores médios, foram calculados os coeficientes de correlação, entre os valores dos carbonatos e a viscosidade aparente, viscosidade plástica e volume de filtrado; entre os bicarbonatos e a viscosidade aparente, viscosidade plástica e volume do filtrado e entre a soma dos carbonatos mais bicarbonates com a viscosidade aparente, viscosidade plástica e volume do filtrado, através do método dos mínimos quadrados. No estudo destas correlações não foram considerados o nível de significancia e o grau de liberdade, uma vez que só se procurou analisar a tendência existente entre duas variáveis.

Foram também estimadas faixas de valores dos teores de carbonatos e bicarbonatos necessários para obtermos numa suspensão a 6% de sólidos viscosidades aparente e plástica e volume do filtrado dentro das especificações (8), quando submetidas ao segundo, terceiro e quarto processo à 90%UR e 40°C e 90°C.

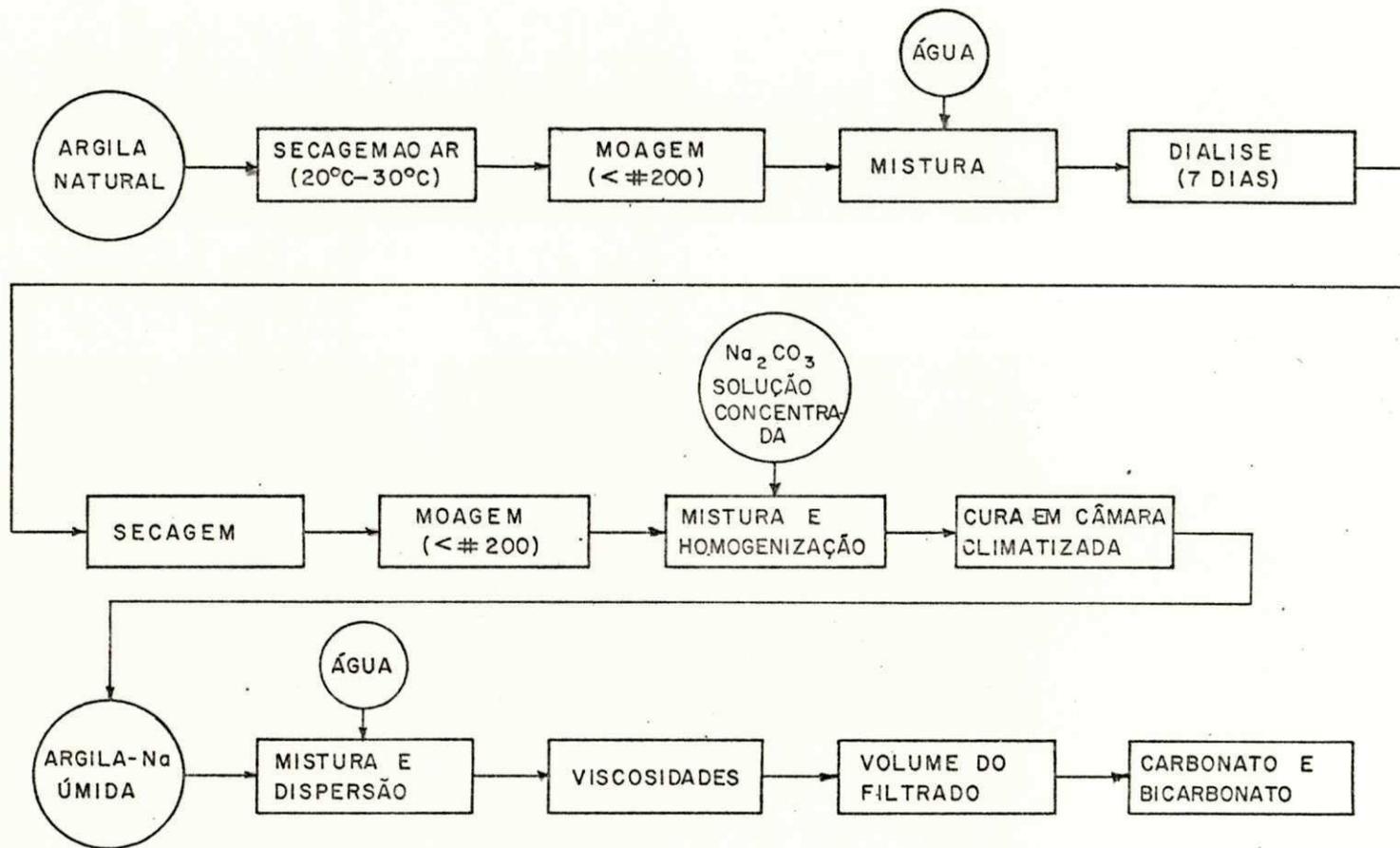


FIGURA 3.4 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE CURA EM CAMARA CLIMATIZADA DAS AMOSTRAS DIALIZADAS.

Fig (24)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Visando estudar os efeitos do tratamento de cura em algumas propriedades reológicas de argilas esmectíticas de Boa Vista foram submetidas as duas amostras à diversos ensaios de caracterização mineralógica para identificar o tipo ou tipos de argilominerais que constituem as duas amostras vermelha e verde-clara. Os resultados obtidos através da análise térmica diferencial estão apresentados na Figura 4.1. As duas amostras apresentaram termogramas semelhantes. A cerca de 160°C apresentaram um pico endotérmico intenso e amplo, proveniente da perda de água intercalada ou interlamelar, entre 550 e 600°C um pico endotérmico proveniente da desidroxilação e entre 850 e 900°C um pico endoexotérmico. Estes termogramas foram comparados com outros termogramas de amostras de Boa Vista obtidos por Pêrsio de Souza Santos (20,50,51) os quais apresentaram grande semelhança entre eles. Neste caso a informação obtida através da análise térmica diferencial é de que o argilomineral montmorilonítico das amostras é dioctaédrico (58 a 65).

Os resultados obtidos das duas amostras quando submetidos à difração de Raios-X estão apresentados na Figura 4.2 quando as amostras foram secas ao ar, e na Figura 4.3 quando trata

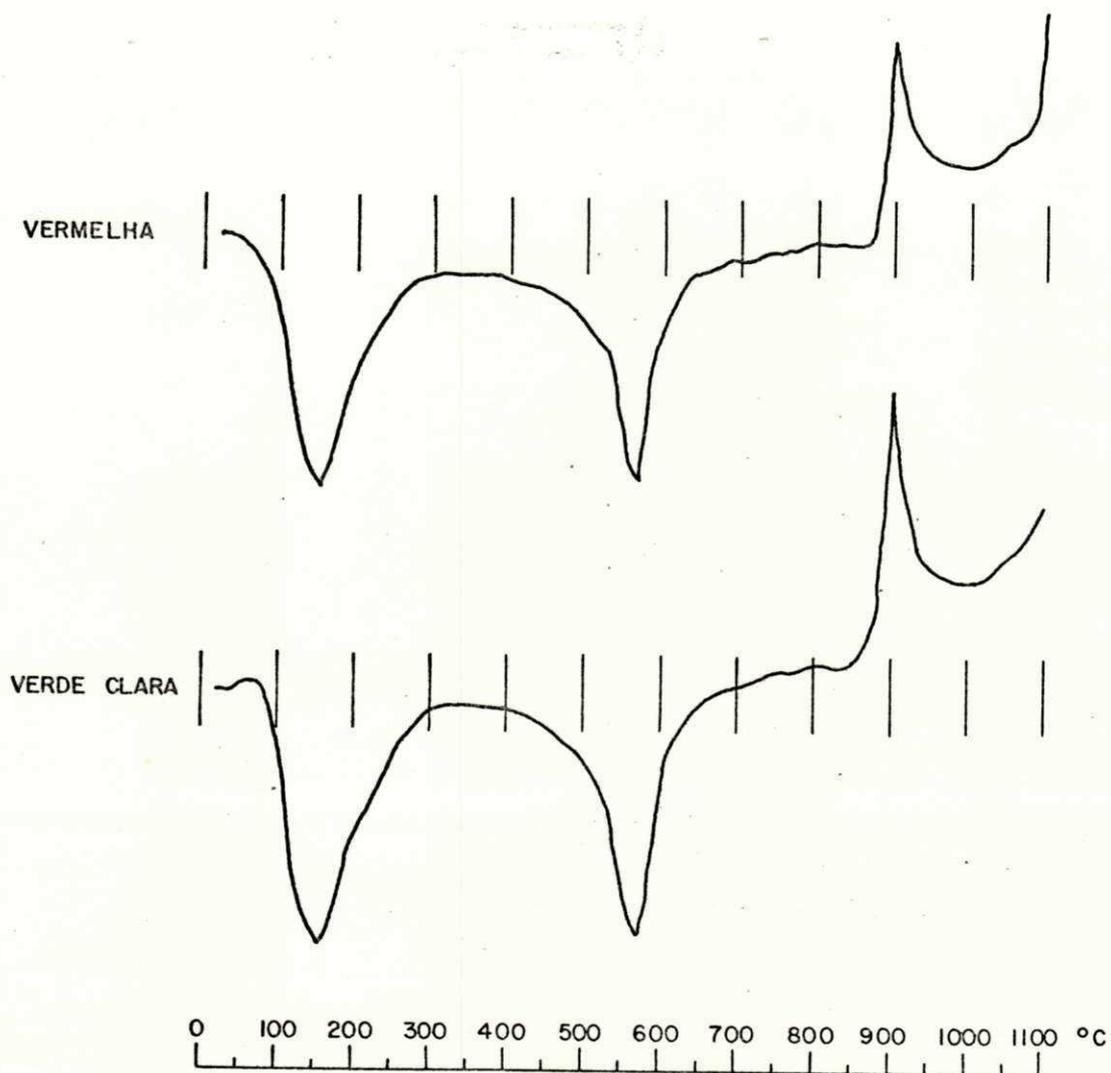


FIGURA 4.1 - TERMOGRAMAS DAS DUAS AMOSTRAS DE BRAVO.

das com glicoletilênico. As micrografias obtidas para ambas as amostras através da microscopia eletrônica de transmissão estão apresentadas nas Figuras 4.4 e 4.5.

As duas amostras de Bravo apresentaram difratogramas semelhantes. As linhas de interferências basais foram de $d(001) = 14$ a 15Å nas amostras secas ao ar (Figura 4.2) e de $d(001) = 17\text{Å}$ nas amostras tratadas com glicoletilênico (Figura 4.3). Estas linhas de interferências basais correspondem ao grupo da montmorilonita ou esmectita. Além do grupo das esmectitas foram observadas outras reflexões basais, tais como a $7,19\text{Å}$ e a $3,36\text{Å}$ que correspondem ao grupo da caulinita e quartzo respectivamente.

Conforme estes resultados, cada amostra de Bravo, verde-clara e vermelha é constituída de mistura de argilominerais esmectíticos e cauliniticos em proporções diferentes e baixo teor de quartzo.

Através das micrografias obtidas observa-se nas duas amostras a presença do argilomineral caulinita através das placas típicas de perfil hexagonal (Figura 4.4 e 4.5). O aspecto geral das duas micrografias foi praticamente o mesmo.

Os resultados das análises químicas das amostras verde-clara e vermelha estão apresentados na Tabela 4.1, e os resultados dos cátions trocáveis na Tabela 4.2. Estes resultados para as duas amostras foram semelhantes. Nota-se que o magnésio é o cátion trocável predominante seguido pelo cálcio, sódio e potássio. Segundo estes resultados podemos ver que há predominância de cátions divalentes e de sódio facilitando assim a transformação da esmectita policatiônica em esmectita sódica.

As duas amostras apresentaram o elemento ferro. Este elemento deve fazer parte dos reticulados cristalinos da ilita, uma vez que esse argilomineral contém entre 4 a 6% de FeO_3 , e do argilomineral nontronita ou membro da série isomórfica nontronita-beidelita do grupo da montmorilonita ou esmectita (20).

Conforme os resultados obtidos pela análise térmica diferencial, difração de raios-X, microscopia eletrônica, análise química e cátions trocáveis as duas amostras de Bravo independentemente da cor, são formadas por uma mistura de argilomineral caulinita, ilita, quartzo e argilominerais do grupo das esmectíticas tais como nontronita e nontronita-beidelita.

Este tipo de mistura de argilominerais dificulta a iden

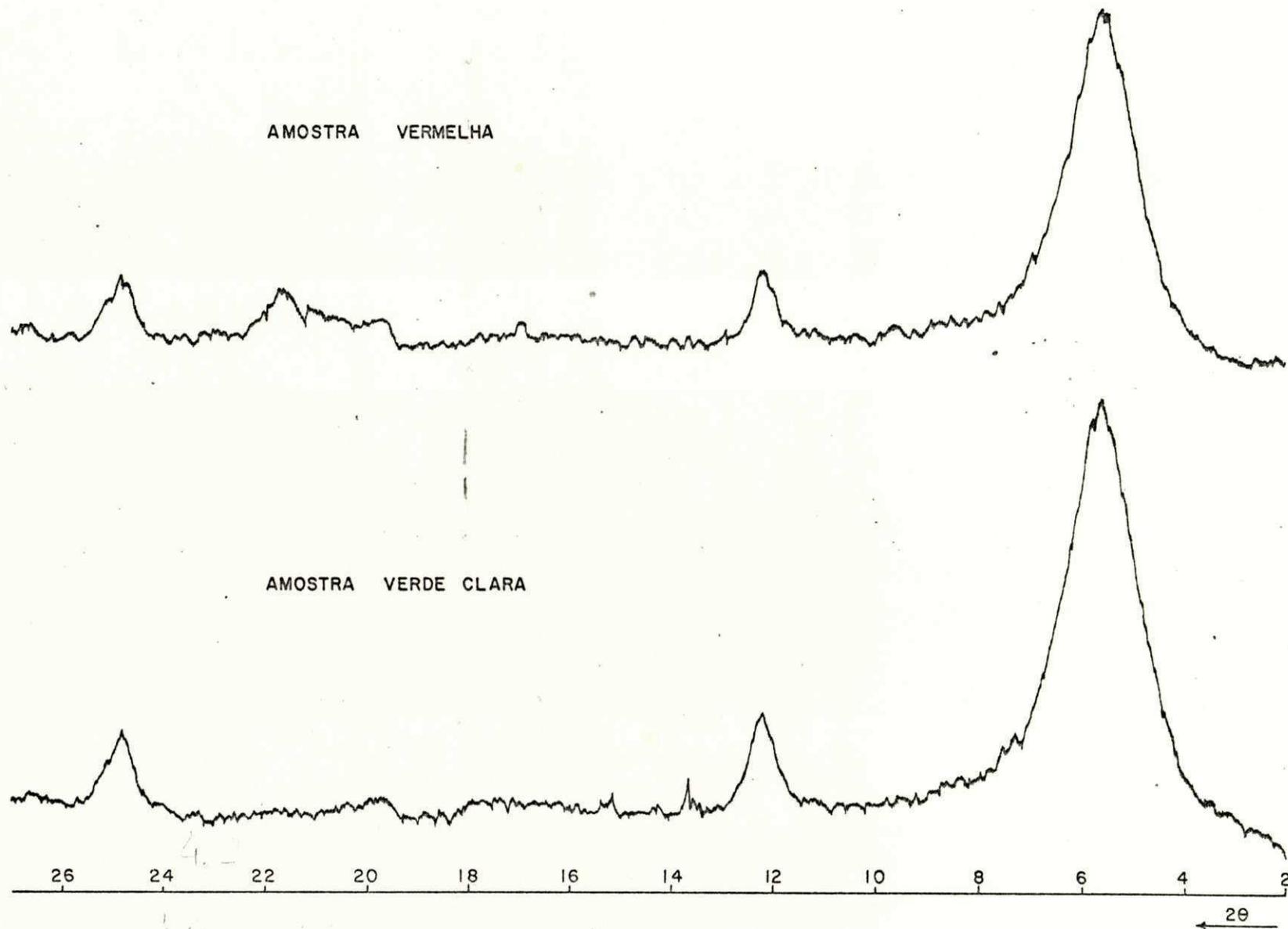


FIGURA 4.2 - DIFATOGRAMAS DE RAIOS-X DAS DUAS AMOSTRAS DE BRAVO.

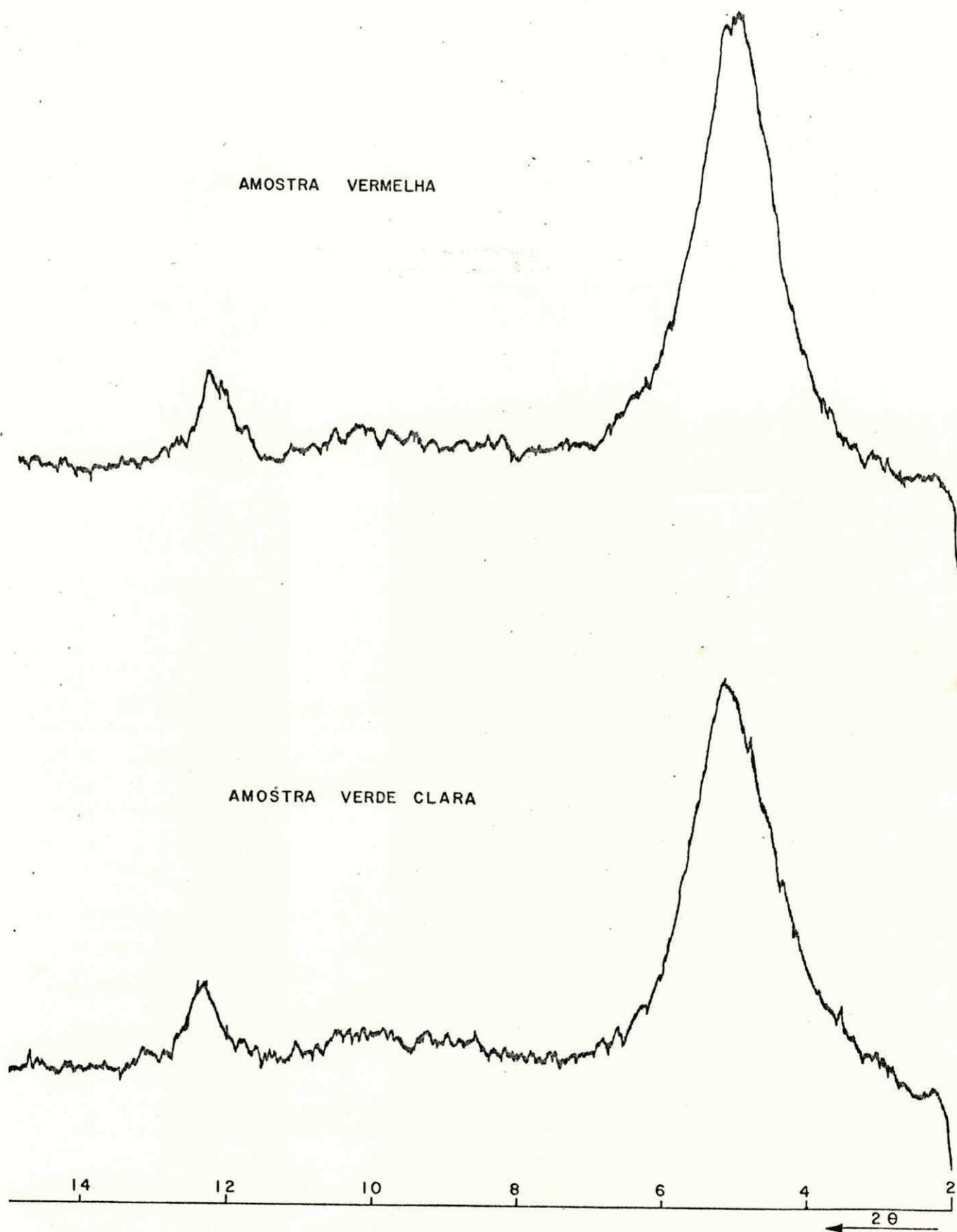


FIGURA 4.3 - DIFRATOGRAMAS DE RAIÓ - X DAS DUAS AMOSTRAS DE BRAVO, TRATADAS COM ETILENOGLICOL.

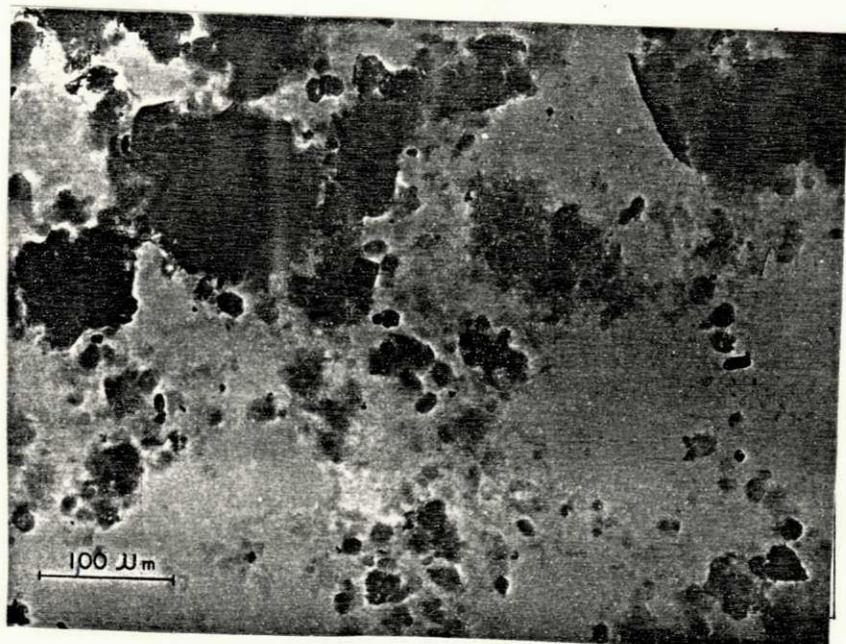


FIGURA 4.4 - MICROGRAFIA ELETRÔNICA DE TRANSMISSÃO DA AMOSTRA VERMELHA.

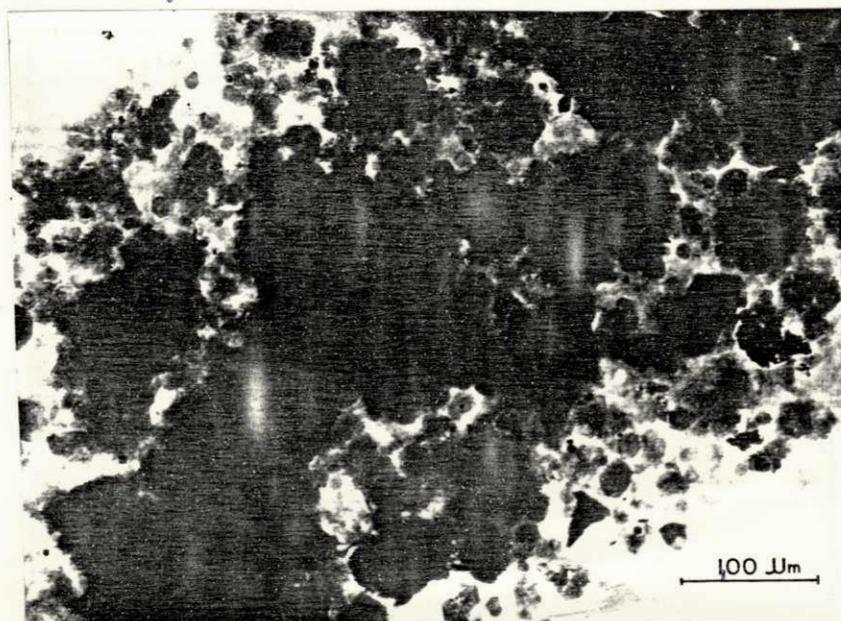


FIGURA 4.5 - MICROGRAFIA ELETRÔNICA DE TRANSMISSÃO DA AMOSTRA VERDE CLARA.

ANÁLISES	VERMELHA	VERDE-CLARA
Perda ao Fogo (%)	7,9	9,6
SiO ₂ (%)	58,4	52,7
Al ₂ O ₃ (%) + TiO ₂ (%)	22,7	24,0
Fe ₂ O ₃ (%)	7,76	9,88
CaO (%)	0,42	0,49
MgO (%)	1,91	2,42
Na ₂ O (%)	1,04	1,17
K ₂ O (%)	0,12	0,46

Tabela 4.1 - Análises químicas de argilas esmectícas de Bravo.

CÁTIONS	VERMELHA	VERDE-CLARA
Ca ²⁺ (meq/100g)	16,2	22,2
Mg ²⁺ (meq/100g)	39,1	48,9
Na ⁺ (meq/100g)	13,3	14,5
K ⁺ (meq/100g)	0,3	1,3

Tabela 4.2 - Cátions trocáveis de argilas esmectíticas de Bravo.

AMOSTRA	CTC QUÍMICA (meq/100g)	AZUL DE METILENO (meq/100g)	ÁREA ESPECÍFICA (m ² /g)
VERMELHA	70,4	63,9	499,2
VERDE-CLARA	88,4	68,2	532,4

Tabela 4.3 - Capacidade de troca de cátions e área específica de argilas esmectíticas de Bravo.

tificação das espécies de argilominerais presentes, em particular dos componentes do grupo da montmorilonita, pois isolar uma fração monominerálica necessária para a análise química é extremamente difícil.

Os resultados obtidos da capacidade de troca de cátions e da área específica estão apresentados na Tabela 4.3. Estes valores obtidos pelo método de azul de metileno foram menores que os obtidos pelo método químico. Os quocientes dos valores obtidos pelo método químico pelo valor obtido pelo método de adsorção de azul de metileno foram de 1,3 para a amostra verde-clara e 1,1 para a vermelha, ou seja os valores são praticamente iguais. Estes resultados são semelhantes aos obtido por Zandonadi (36).

A área específica das amostras foi calculada mediante a fórmula: $AE(m^2/g) = CTC(meq/100g) \cdot 7,8043(m^2/meq)$. Os resultados obtidos para ambas as amostras foram praticamente os mesmos. Foram também semelhantes aos obtidos por Zandonadi (36).

4.2 - ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Os resultados obtidos na forma de viscosidade plástica, viscosidade aparente e volume do filtrado após submeter as duas amostras aos quatro processos de cura serão expostos e discutidos a seguir.

4.2.1 - Primeiro Processo

O primeiro comportamento reológico analisado para as amostras foi na forma natural policatiônica e cura à 100%UR e temperatura ambiente, durante 24h conforme mostra o Fluxograma da Figura 3.1.

Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 4.4 e Figuras 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11. Os comportamentos das viscosidades aparente e plástica das duas amostras permaneceram praticamente constantes com a variação do tempo de cura, a viscosidade aparente na faixa de 3,3 cP à 3,8 cP e a viscosidade plástica na faixa de 2,5 cP à 3,0 cP. Enquanto que os valores obti

dos para o volume do filtrado variaram com o tempo de cura na faixa de 42,0 ml à 52,0 ml para as vermelhas e 47,5 ml à 42,0 ml para as verde-clara. A determinação dos valores do volume do filtrado das duas amostras na forma natural, submetidas à 100%UR e temperatura ambiente, apresentaram valores superiores aos especificados pela Petrobrás (8). O excesso de água livre obtido após 30 min de filtro prensa justifica as qualidades coloidais da argila empregada, que no caso foram péssimas (66 a 69).

Os resultados obtidos após cura à 100%UR e temperatura ambiente, tratadas com 50 meq/100g, 100 meq/100g e 150 meq/100g de carbonato de sódio estão apresentadas na Tabela 4.5 e Figuras 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11. Com relação aos valores especificados pela Petrobrás, observa-se uma significativa melhora nestes resultados quando comparados com os obtidos à 100%UR e temperatura ambiente sem carbonato de sódio.

As duas amostras tratadas com 50 meq/100g de carbonato de sódio à 100%UR e temperatura ambiente, atingiram os valores especificados pela Petrobrás (8), as vermelhas a partir de 6h de cura e as verde-clara a partir de 12h de cura. É interessante notar que ambas as amostras apresentaram o mesmo comportamento reológico.

As amostras tratadas com 100 meq/100g de carbonato de sódio apresentaram comportamento diferentes quando submetidas a cura à 100%UR e temperatura ambiente. As argilas vermelhas apresentaram todos os resultados dentro das normas da Petrobrás (8) durante às 24h de cura. As amostras de cor verde-clara apresentaram alta viscosidade aparente atingindo 39,0 cP e baixa viscosidade plástica de 0,8 cP após 24h de cura, estando portanto floculadas e fora das especificações.

Através dos resultados obtidos podemos verificar que as argilas de cor verde-clara podem ter o mesmo comportamento das argilas de cor vermelha quando tratadas com apenas 50 meq/100g de carbonato de sódio à 100%UR e temperatura ambiente, e desta forma podem ser usadas como fluídos tixotrópicos na perfuração de poços de petróleo sem nenhum problema, solucionando-se assim o problema enfrentado pelas Indústrias beneficiadoras quanto ao rejeito das argilas de cor verde-clara.

Para a condição de tratamento com 150 meq/100g de carbonato de sódio, as amostras de cor vermelha apresentaram valores

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	3,5	2,5	42,0
VERDE-CLARA		3,8	3,0	47,5
VERMELHA	6	3,5	3,0	52,0
VERDE-CLARA		3,5	3,0	45,0
VERMELHA	9	3,5	2,8	51,0
VERDE-CLARA		3,5	3,0	44,5
VERMELHA	12	3,8	3,0	51,0
VERDE-CLARA		3,8	2,8	45,0
VERMELHA	15	3,5	3,0	51,0
VERDE-CLARA		3,5	2,8	43,0
VERMELHA	18	3,5	3,0	46,0
VERDE-CLARA		3,5	3,0	44,5
VERMELHA	21	3,3	2,5	45,5
VERDE-CLARA		3,5	2,5	43,0
VERMELHA	24	3,4	2,8	45,0
VERDE-CLARA		3,3	2,5	42,0

Tabela 4.4 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas sem carbonato de sódio submetidas à cura à 100%UR e temperatura ambiente.

Tabela I
Das

AMOSTRA	TEMPO (h)	CURA A 100%UR E T. AMBIENTE COM 50 meq/100g DE Na ₂ CO ₃			CURA A 100%UR E T. AMBIENTE COM 100 meq/100g DE Na ₂ CO ₃			CURA A 100%UR E T. AMBIENTE COM 150 meq/100g DE Na ₂ CO ₃		
		VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA		APARENTE	PLÁSTICA		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	13,5	6,3	18,0	17,4	6,8	15,5	18,3	5,0	16,0
VERDE-CLARA		14,5	6,8	20,5	27,9	2,8	17,0	28,8	1,8	15,5
VERMELHA	6	15,3	6,3	16,0	18,8	4,3	16,0	19,5	3,0	17,0
VERDE-CLARA		19,8	5,5	20,5	31,7	1,3	17,0	32,0	1,3	15,0
VERMELHA	9	17,4	5,3	16,0	21,0	5,5	17,0	23,5	2,5	16,5
VERDE-CLARA		24,4	6,5	18,5	32,3	1,5	16,5	34,0	0,8	17,0
VERMELHA	12	17,6	6,5	16,0	21,4	4,3	14,5	20,4	4,3	15,5
VERDE-CLARA		23,8	8,0	18,0	35,4	1,5	14,5	35,2	1,0	14,5
VERMELHA	15	18,4	6,3	15,0	21,5	4,3	15,5	21,3	4,0	15,5
VERDE-CLARA		25,7	6,8	17,5	35,4	1,8	16,0	36,5	0,8	15,0
VERMELHA	18	18,5	5,7	16,5	23,3	5,5	15,5	21,9	3,0	16,0
VERDE-CLARA		28,5	4,0	19,0	36,2	0,5	16,0	40,0	1,0	16,0
VERMELHA	21	19,0	5,5	17,0	23,5	3,0	16,5	22,2	3,3	15,5
VERDE-CLARA		28,8	6,5	19,0	38,0	1,0	16,0	42,4	0,8	14,5
VERMELHA	24	19,9	6,5	17,0	23,8	6,3	15,0	21,3	4,0	16,0
VERDE-CLARA		32,0	5,8	18,0	39,0	0,8	16,0	41,8	1,0	14,5

Tabela 4.5 - Propriedades reológicas de argilas esmectíticas de Boa-Vista - PB.

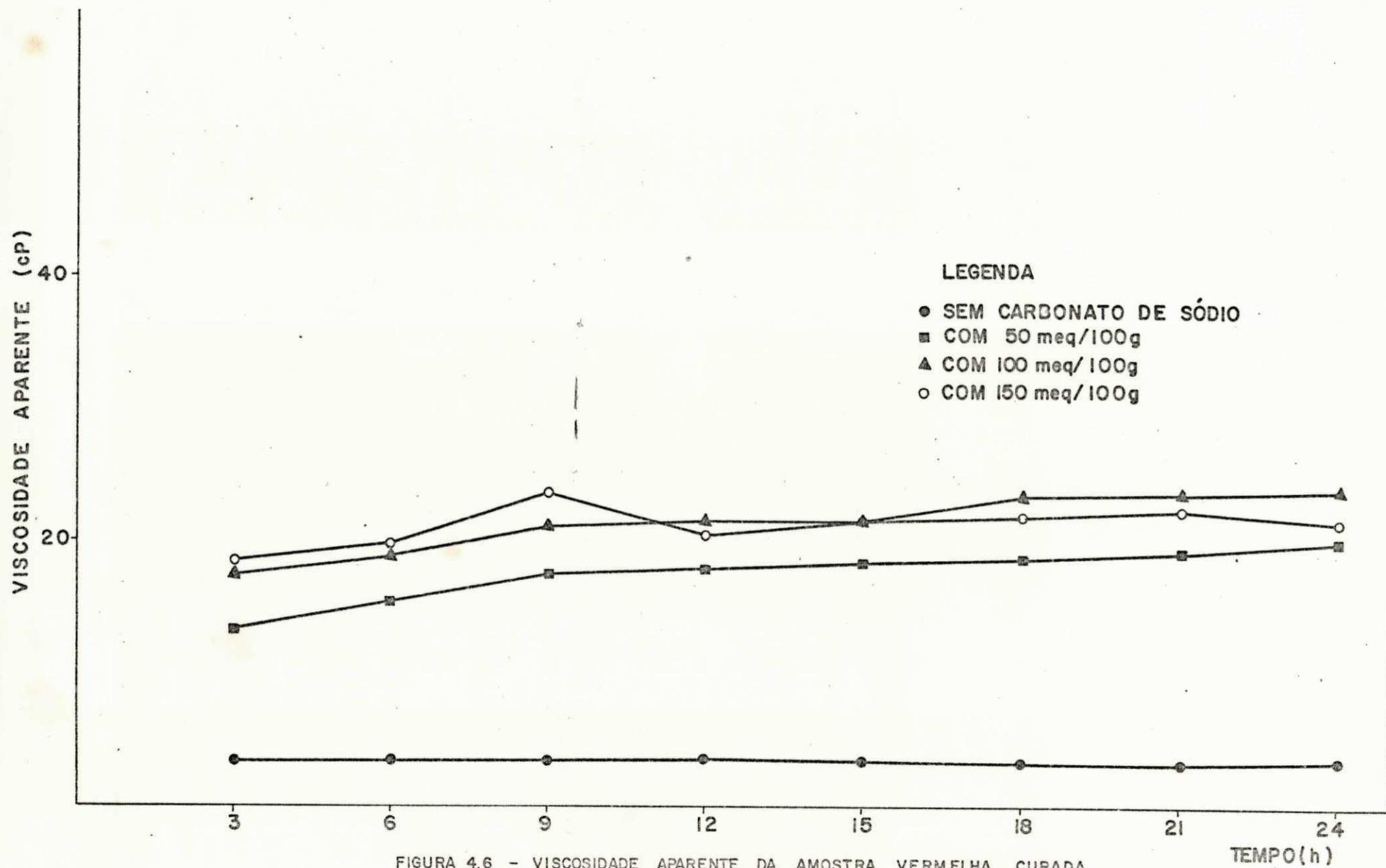


FIGURA 4.6 - VISCOSIDADE APARENTE DA AMOSTRA VERMELHA, CURADA À 100% DE UMIDADE RELATIVA E TEMPERATURA AMBIENTE.

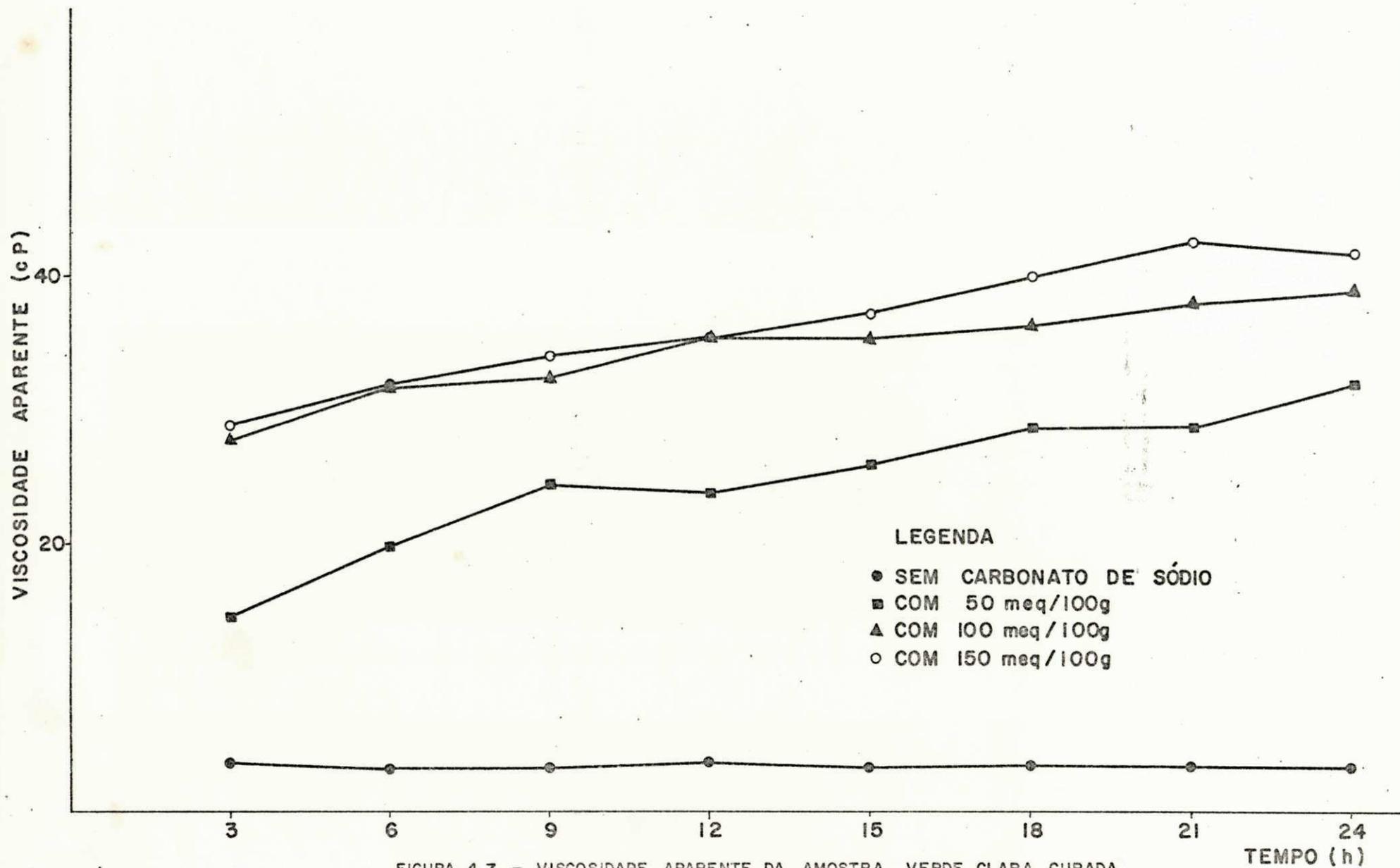
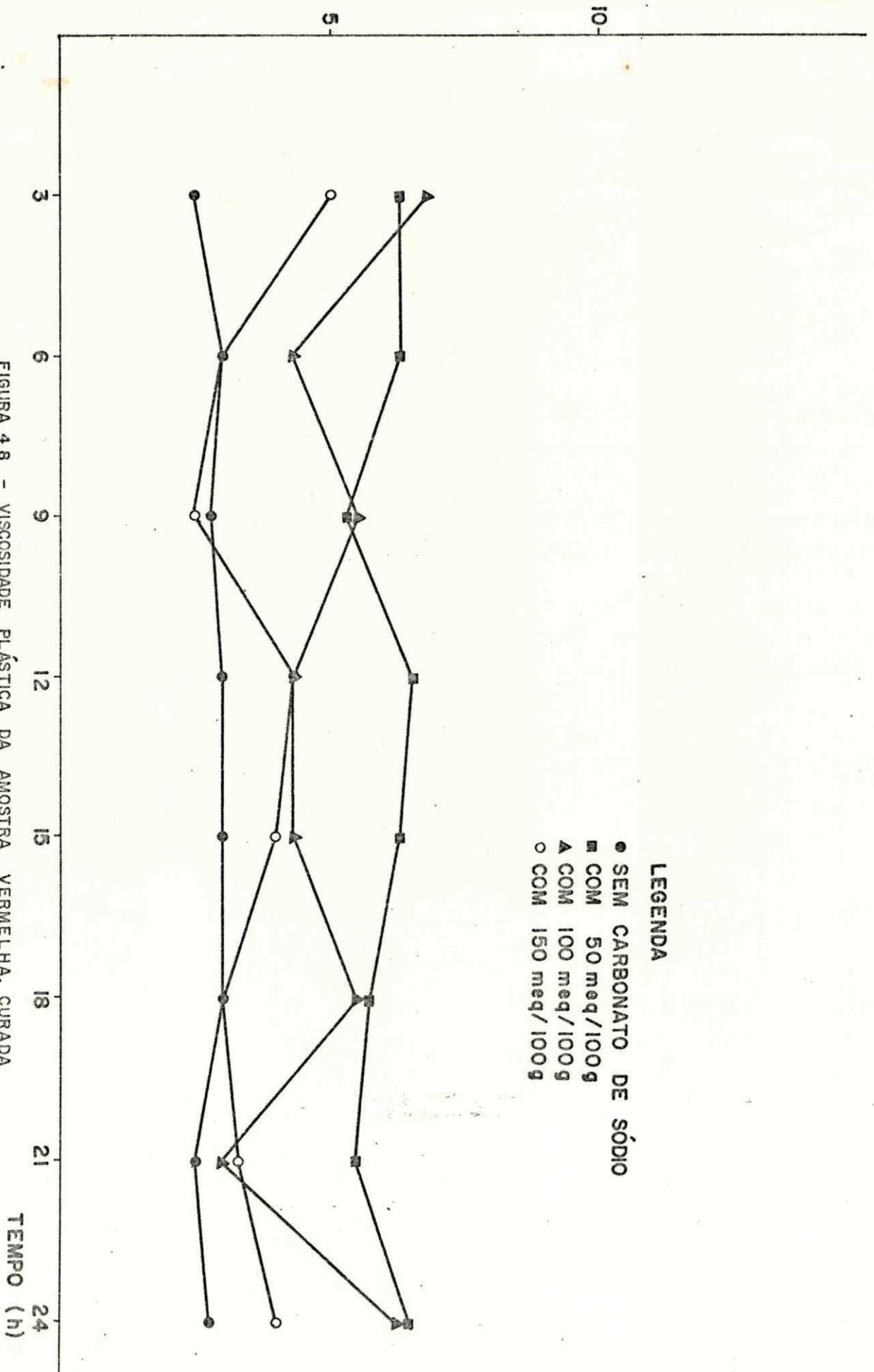


FIGURA 4.7 - VISCOSIDADE APARENTE DA AMOSTRA VERDE CLARA, CURADA À 100% DE UMIDADE RELATIVA E TEMPERATURA AMBIENTE.

VISCOSIDADE PLÁSTICA (cP)



LEGENDA

- SEM CARBONATO DE SÓDIO
- COM 50 meq/100g
- ▲ COM 100 meq/100g
- COM 150 meq/100g

FIGURA 4.8 - VISCOSIDADE PLÁSTICA DA AMOSTRA VERMELHA, CURADA À 100% DE UMIDADE RELATIVA E TEMPERATURA AMBIENTE.

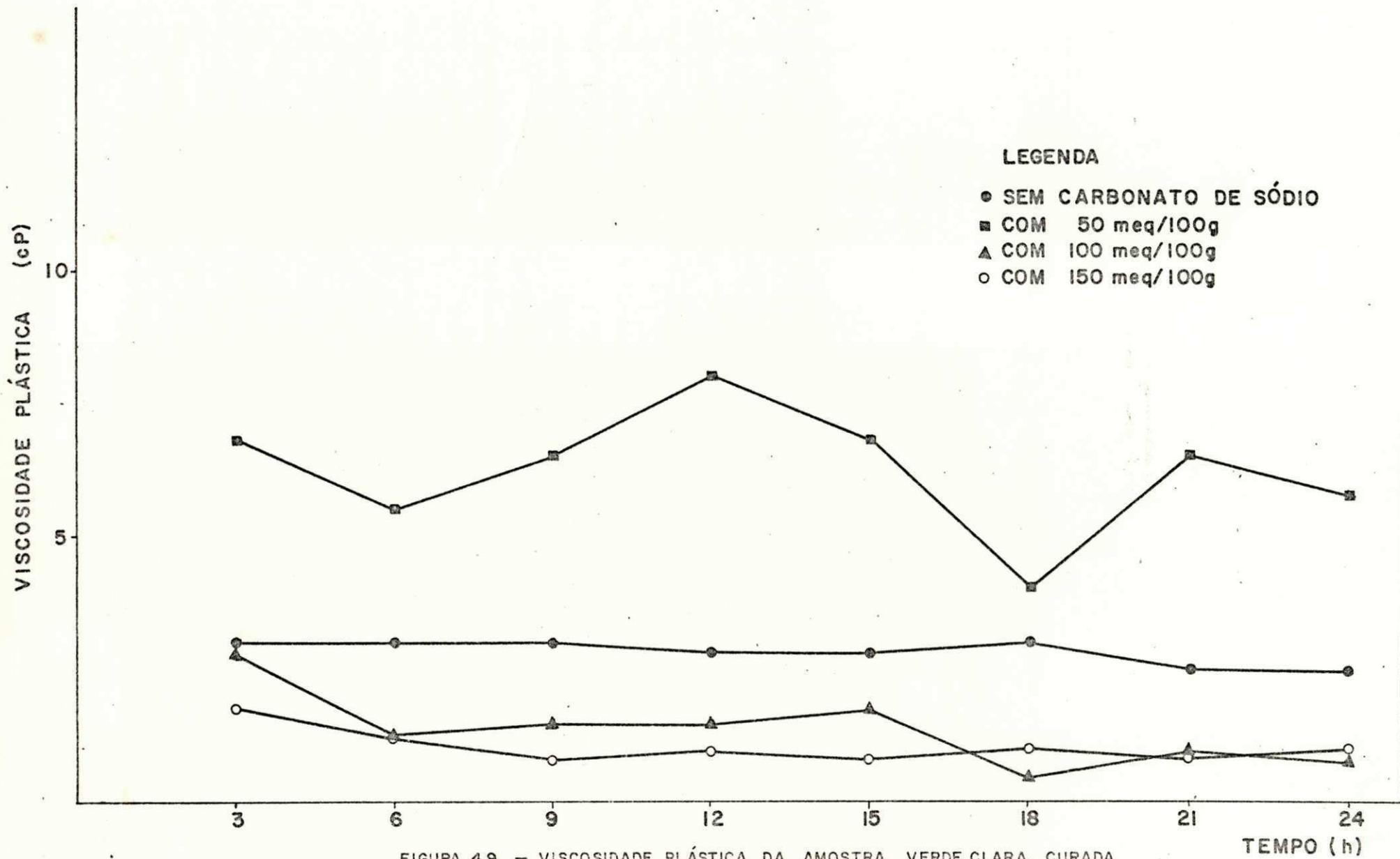


FIGURA 4.9 - VISCOSIDADE PLÁSTICA DA AMOSTRA VERDE CLARA, CURADA À 100% DE UMIDADE RELATIVA E TEMPERATURA AMBIENTE.

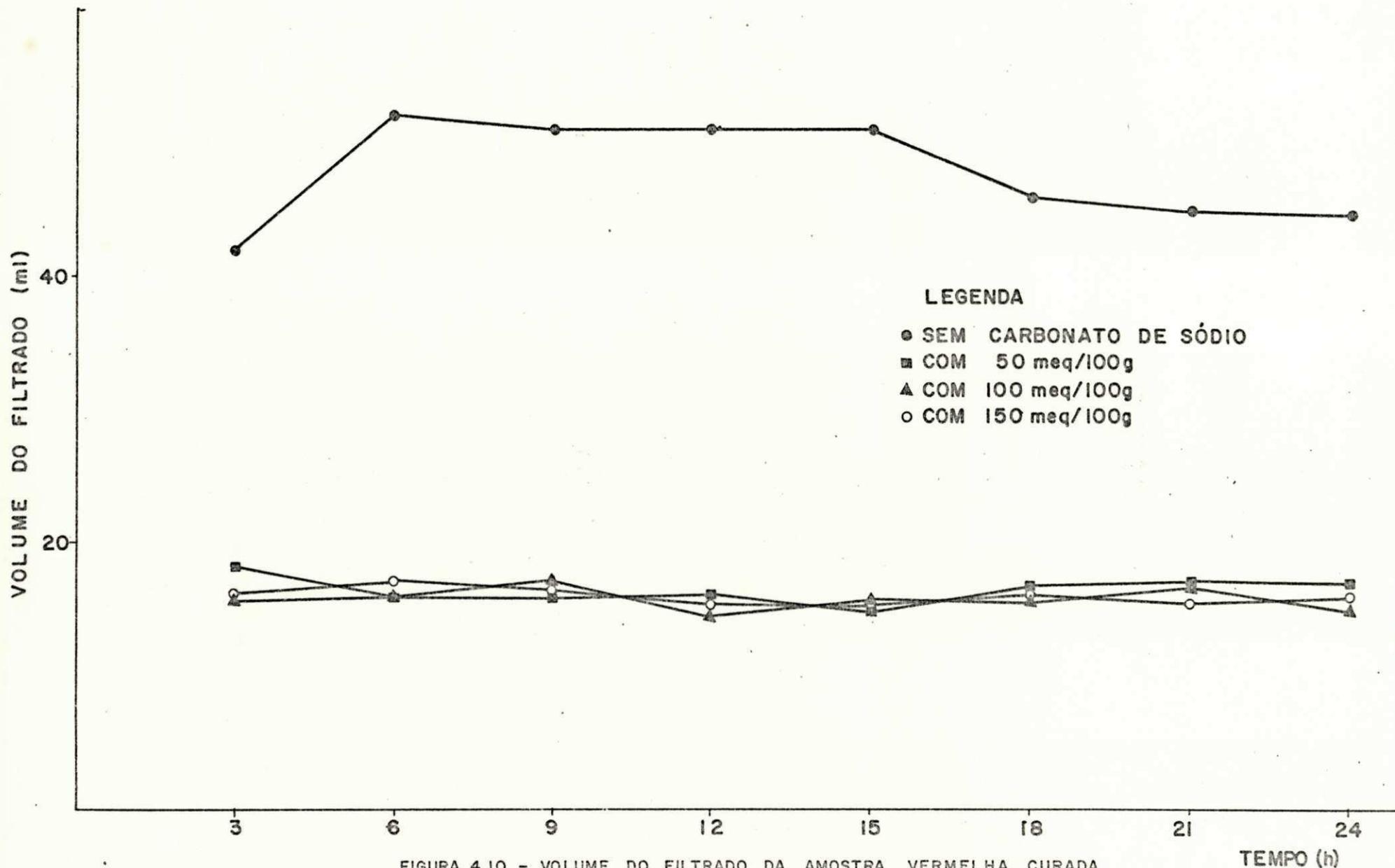


FIGURA 4.10 - VOLUME DO FILTRADO DA AMOSTRA VERMELHA, CURADA À 100% DE UMIDADE RELATIVA E TEMPERATURA AMBIENTE.

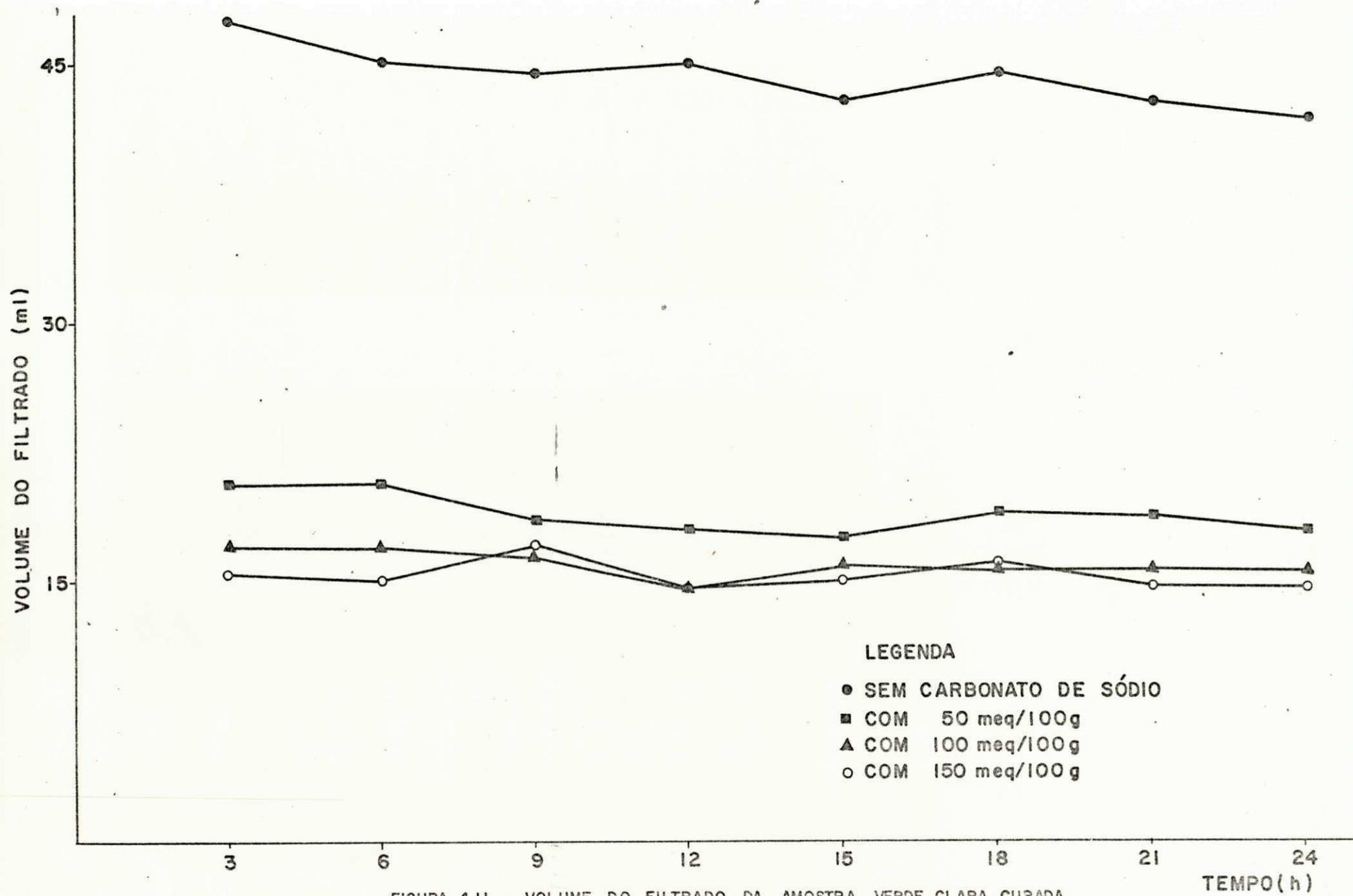


FIGURA 4.11 - VOLUME DO FILTRADO DA AMOSTRA VERDE CLARA, CURADA À 100% DE UMIDADE RELATIVA E TEMPERATURA AMBIENTE.

da viscosidade plástica inferiores a 4,0 cP e a tendência da viscosidade aparente foi crescente durante às 9h de cura atingindo 23,9 cP, permanecendo quase inalterada o restante do ciclo. As amostras de cor verde-clara saturadas com o carbonato de sódio apresentaram valores das viscosidades aparente e plástica e do volume do filtrado semelhantes aos obtidos quando tratadas com 100 meq/100g de carbonato de sódio à 100%UR e temperatura ambiente. Portanto, à 100%UR e temperatura ambiente, o tratamento de cura efetuado conforme mostrado na Figura 3.1 é recomendado para as amostras de cor vermelha tratadas com 50 meq/100g de carbonato de sódio após 6h de cura e com 100 meq/100g de carbonato de sódio após 3h de cura. Enquanto que as de cor verde-clara somente quando tratadas com no máximo 50 meq/100g durante 12h, 15h ou 24h de cura.

4.2.2 - Segundo Processo

Os resultados obtidos quando às amostras foram submetidas à cura em câmara climatizada, pelo segundo processo (Figura 3.2) tratadas com 50 meq/100g de carbonato de sódio e cura à 90%UR e 40°C, 50°C, 70°C e 90°C estão representadas nas Tabelas 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9 e Figuras 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 e 4.19.

As amostras vermelhas após submetidas a estes tratamentos de cura apresentaram valores dentro das especificações à 90%UR e 40°C até 6h de cura (Tabela 4.6 e Figura 4.12) e à 90%UR à 50°C (Tabela 4.7 e Figura 4.14) até 3h de cura. Observou-se que com o aumento do tempo de cura a viscosidade teve tendência decrescente enquanto que a viscosidade plástica ficou praticamente inalterada. Notou-se também que com o aumento da temperatura de 40°C à 90°C a viscosidade aparente tem tendência decrescente a viscosidade plástica tende também a decrescer a partir dos 50°C e o volume do filtrado em aumentar.

As amostras de cor verde-clara submetidas a estes tratamentos de cura apresentaram à 90%UR e 40°C e até às 24h de cura, todos os valores dentro das especificações (Tabela 4.6 e Figura 4.13). A 90%UR e 50°C após 6h de cura e à 90%UR e 70°C durante 3h, 9h, 12h e 15h de cura apresentaram valores dentro das especificações da Petrobrás (8). Observou-se que com o aumento

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	18,8	6,5	15,5
VERDE-CLARA		25,7	7,0	15,0
VERMELHA	6	15,0	7,3	15,0
VERDE-CLARA		26,8	6,0	15,0
VERMELHA	9	12,5	7,0	15,0
VERDE-CLARA		27,2	7,3	15,0
VERMELHA	12	11,0	7,0	15,5
VERDE-CLARA		27,5	6,3	15,0
VERMELHA	15	10,4	6,8	16,5
VERDE-CLARA		25,7	7,0	14,0
VERMELHA	18	9,3	6,5	16,0
VERDE-CLARA		26,2	7,0	16,0
VERMELHA	21	9,3	6,0	16,5
VERDE-CLARA		26,0	7,8	14,5
VERMELHA	24	9,5	6,5	16,5
VERDE-CLARA		24,7	6,5	16,0

Tabela 4.6 - Propriedades reológicas de argilas esmectínicas de Boa Vista - PB, tratadas com 50 meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 90%UR e 40°C.

Tabela *DT*

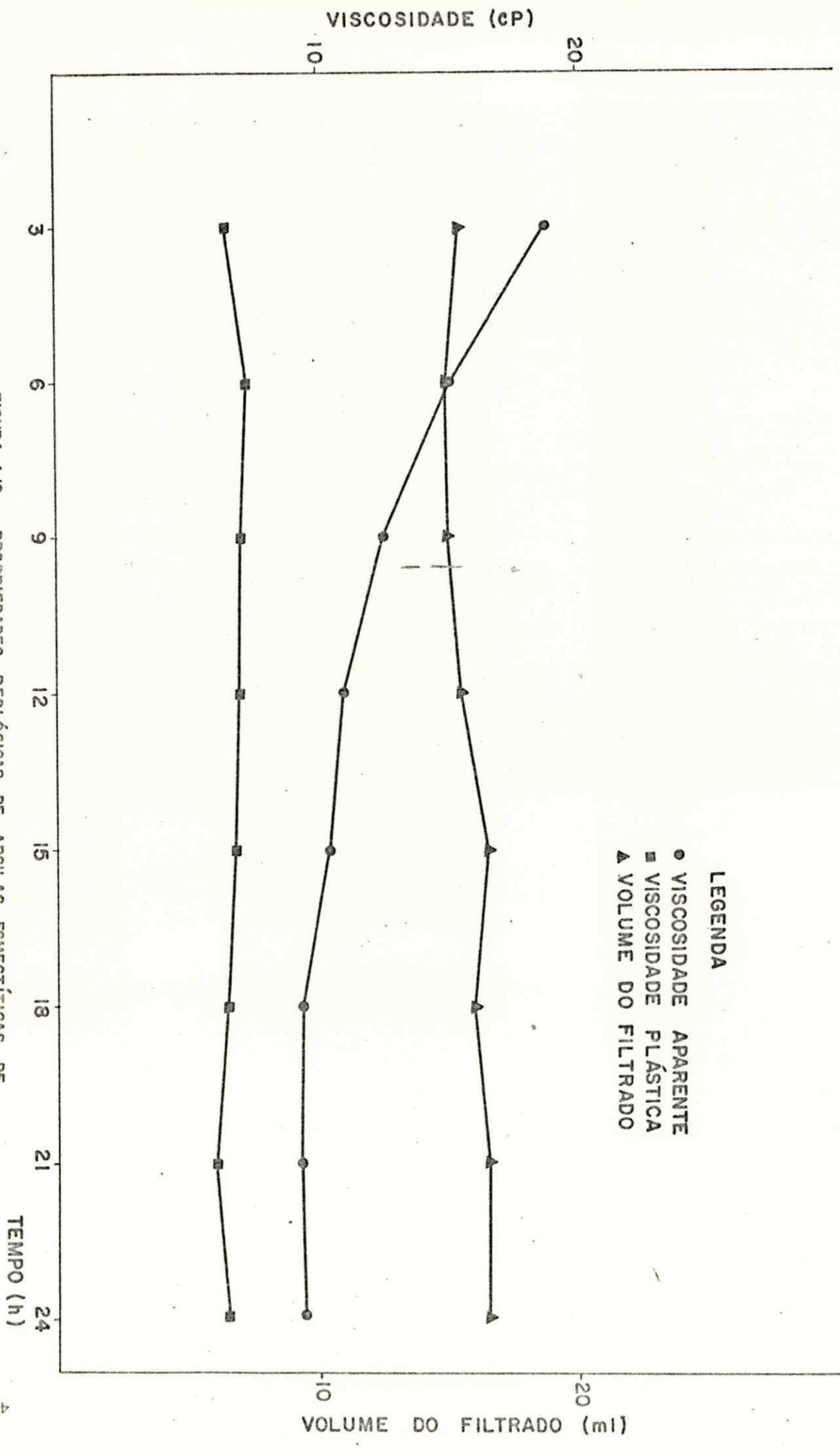


FIGURA 4.12 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍNICAS DE COR VERMELHA TRATADAS COM 50mg/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90% UR E 40°C.

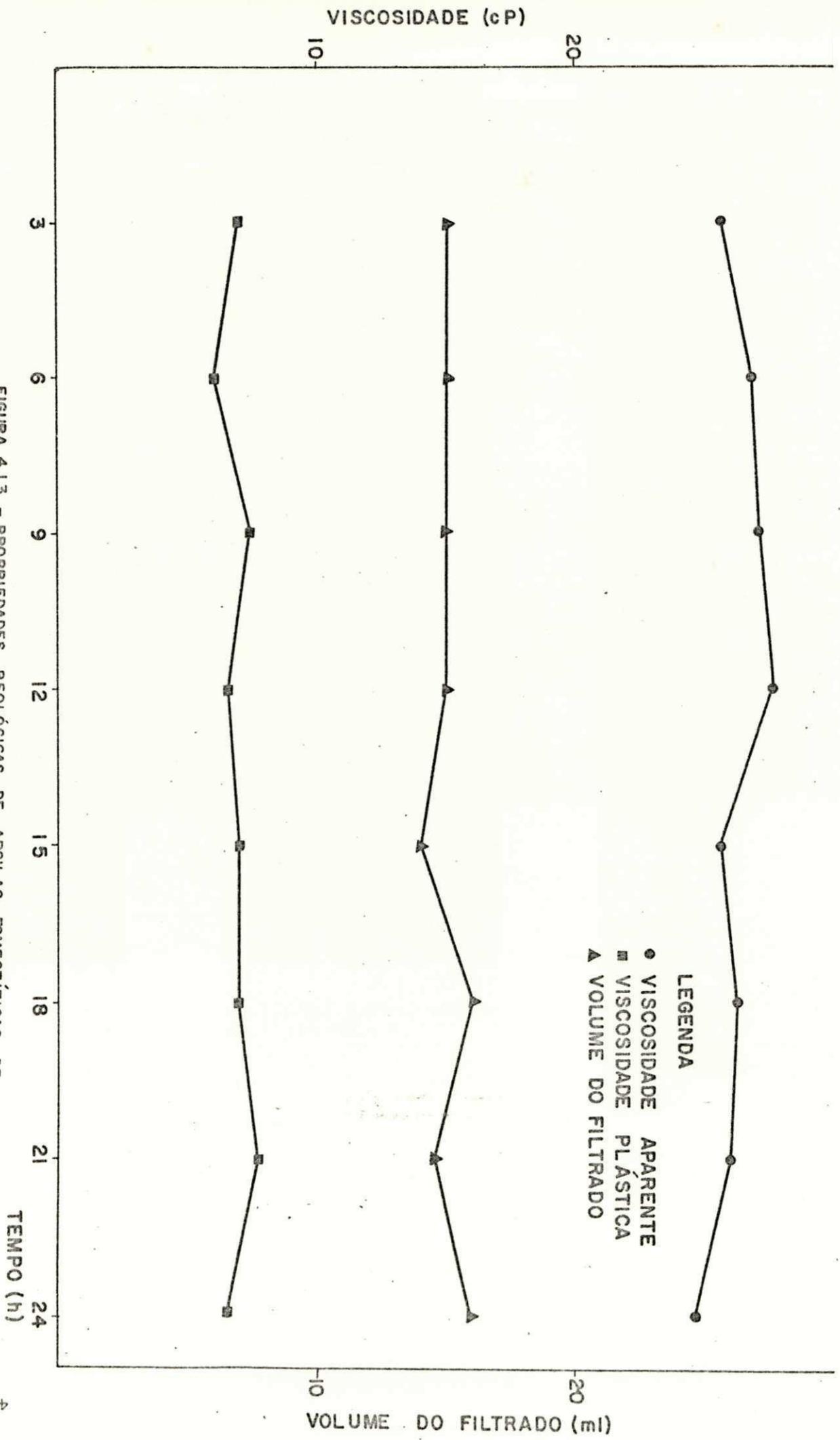


FIGURA 4.13 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 50mg/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90% UR E 40°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	17,9	8,0	15,0
VERDE-CLARA		33,2	6,3	19,0
VERMELHA	6	14,0	8,0	14,0
VERDE-CLARA		33,7	5,0	18,0
VERMELHA	9	12,4	7,5	14,0
VERDE-CLARA		32,4	5,5	16,0
VERMELHA	12	13,3	7,8	14,0
VERDE-CLARA		32,3	5,0	16,0
VERMELHA	15	12,7	7,5	15,0
VERDE-CLARA		30,9	6,0	18,0
VERMELHA	18	11,7	7,8	16,0
VERDE-CLARA		31,1	6,8	16,5
VERMELHA	21	11,3	7,0	15,5
VERDE-CLARA		30,0	7,0	15,0
VERMELHA	24	9,9	7,0	16,0
VERDE-CLARA		27,5	7,0	17,0

Tabela 4.7 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 50meq/100 g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 90%UR e 50°C.

Tabela III

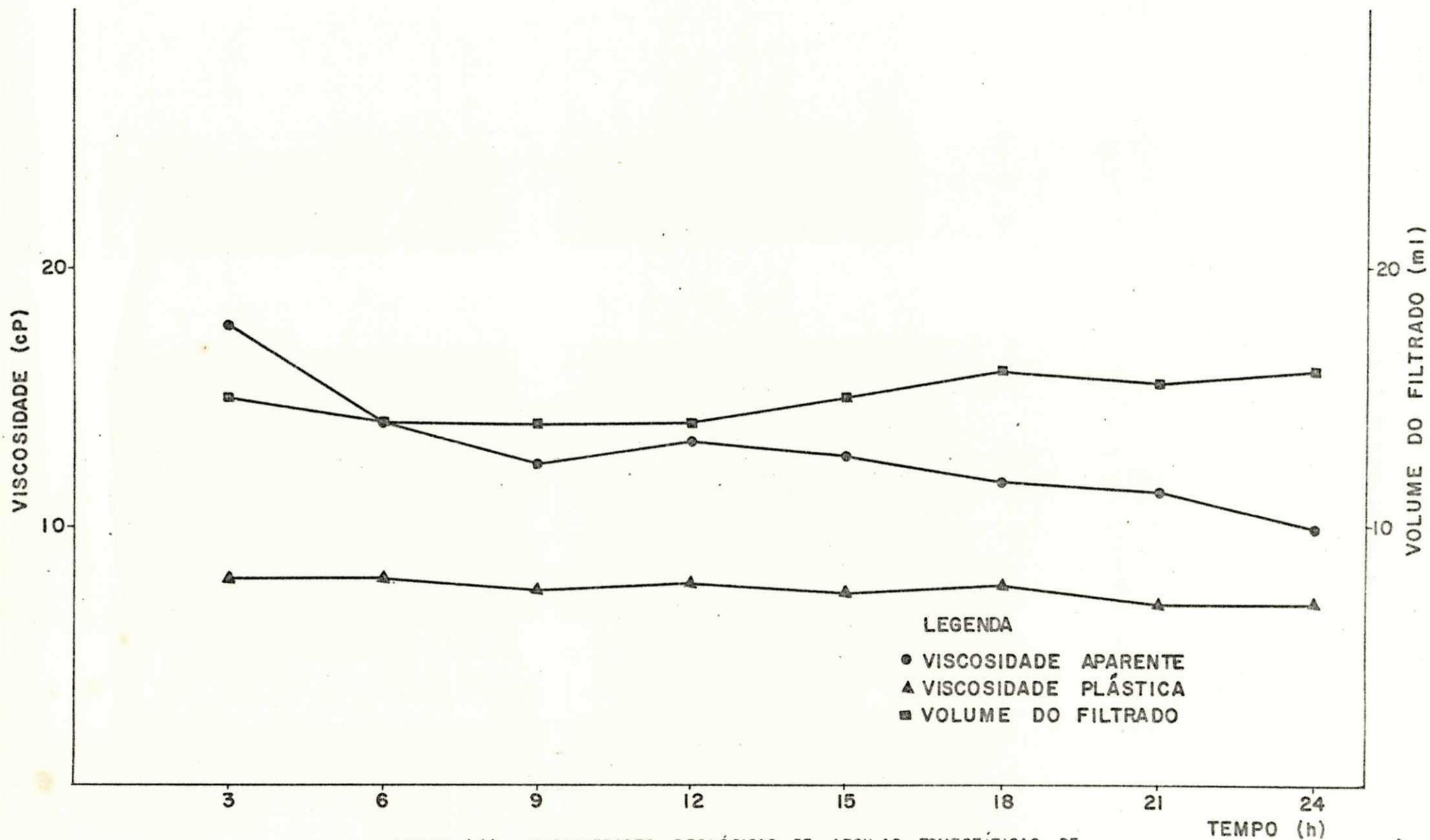


FIGURA 4.14 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERMELHA TRATADAS COM 50meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90%UR E 50°C.

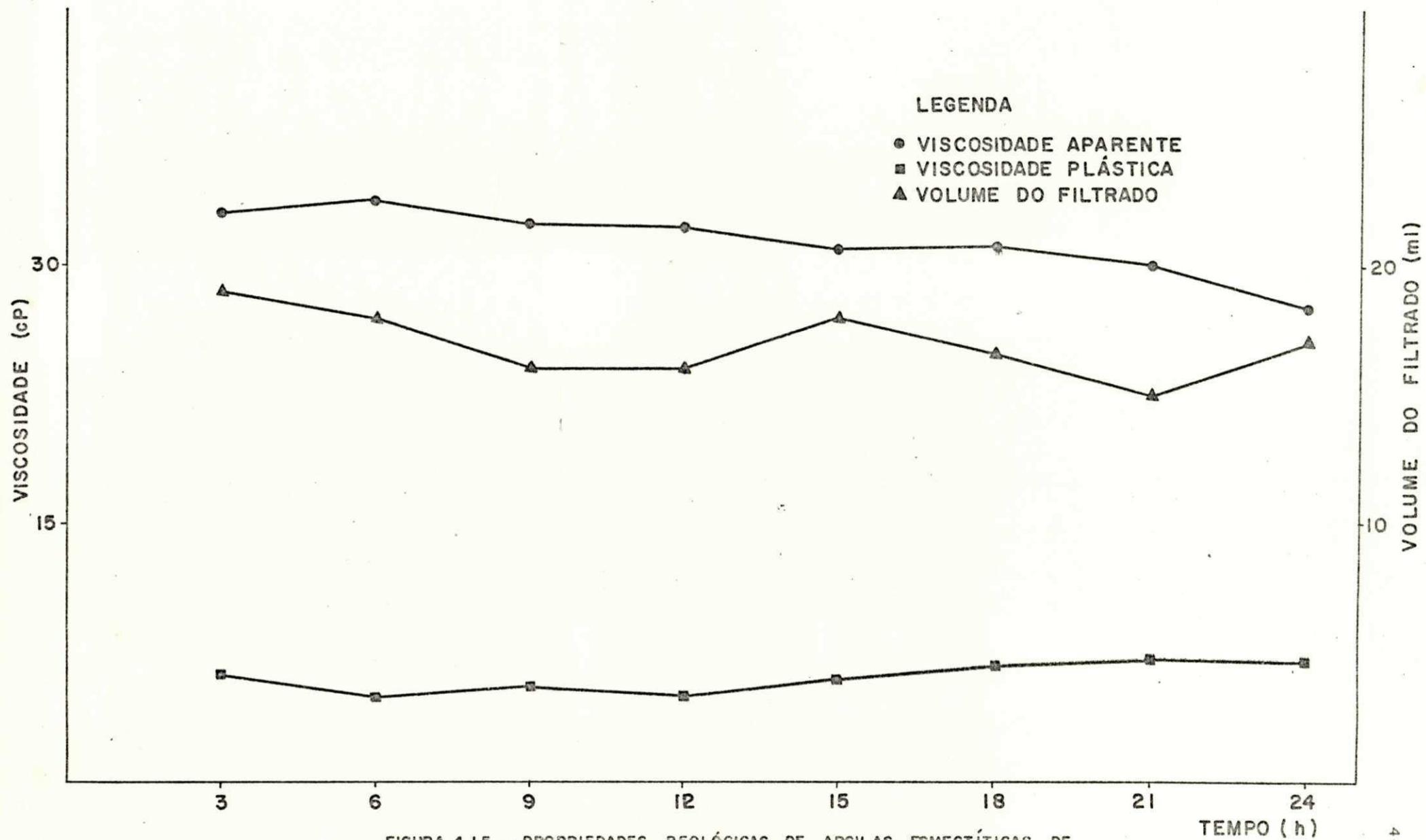


FIGURA 4.15 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 50meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90% UR E 50°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	9,0	6,8	16,5
VERDE-CLARA		25,8	7,0	17,0
VERMELHA	6	7,3	5,8	16,0
VERDE-CLARA		20,2	7,5	19,0
VERMELHA	9	6,9	5,5	16,5
VERDE-CLARA		17,7	7,5	18,0
VERMELHA	12	7,4	5,8	17,0
VERDE-CLARA		18,0	8,5	16,0
VERMELHA	15	7,0	5,5	16,5
VERDE-CLARA		15,4	8,0	17,5
VERMELHA	18	6,9	5,5	16,0
VERDE-CLARA		14,6	7,8	17,5
VERMELHA	21	6,8	5,5	17,0
VERDE-CLARA		11,0	7,5	19,0
VERMELHA	24	6,8	5,5	16,5
VERDE-CLARA		10,4	7,5	19,5

Tabela 4.8 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 50meq/100 g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada a 90%UR e 70°C.

Tabela IV

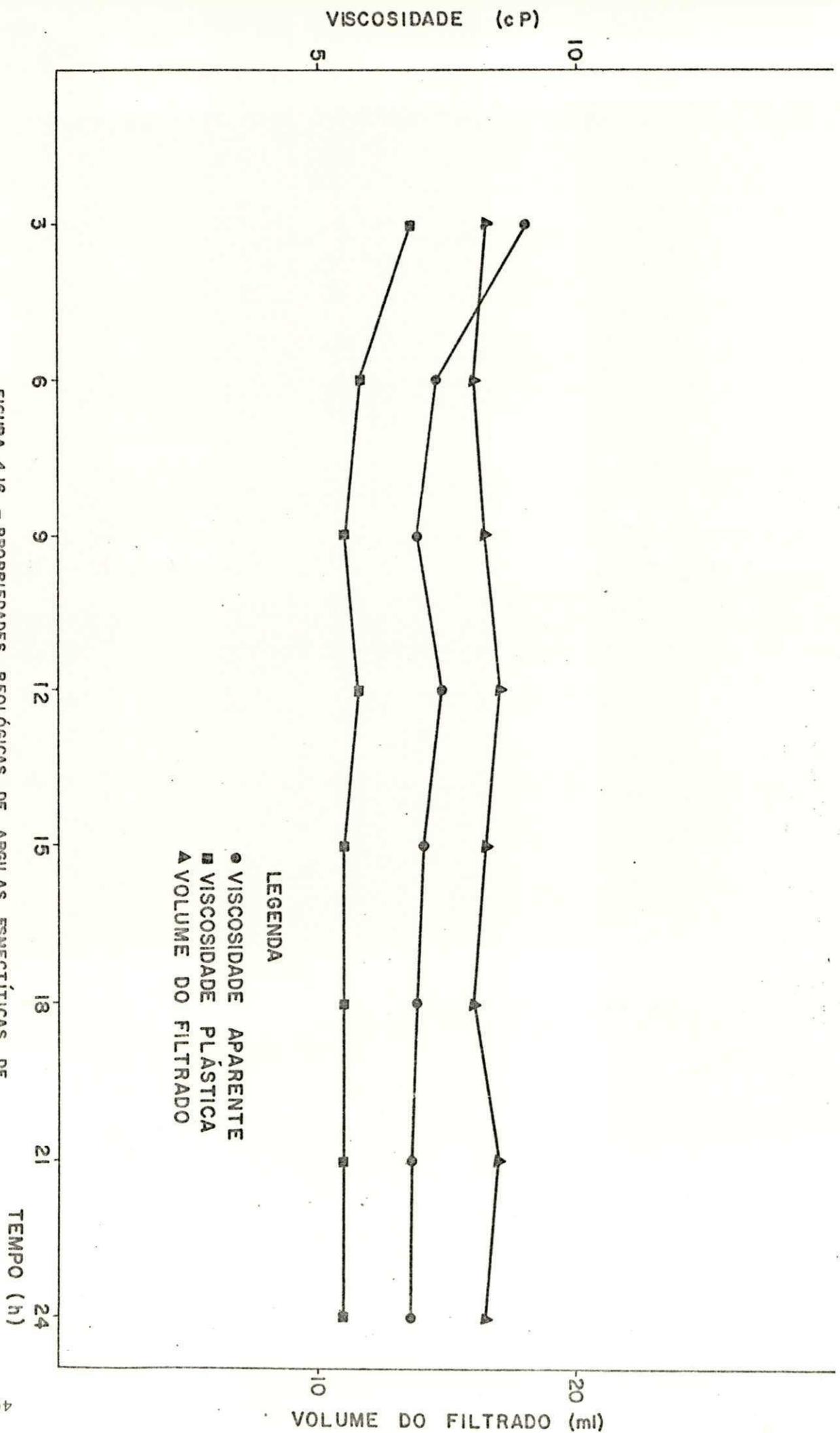


FIGURA 4.16 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍNICAS DE COR VERMELHA, TRATADAS COM 50mg/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90% UR E 70°C.

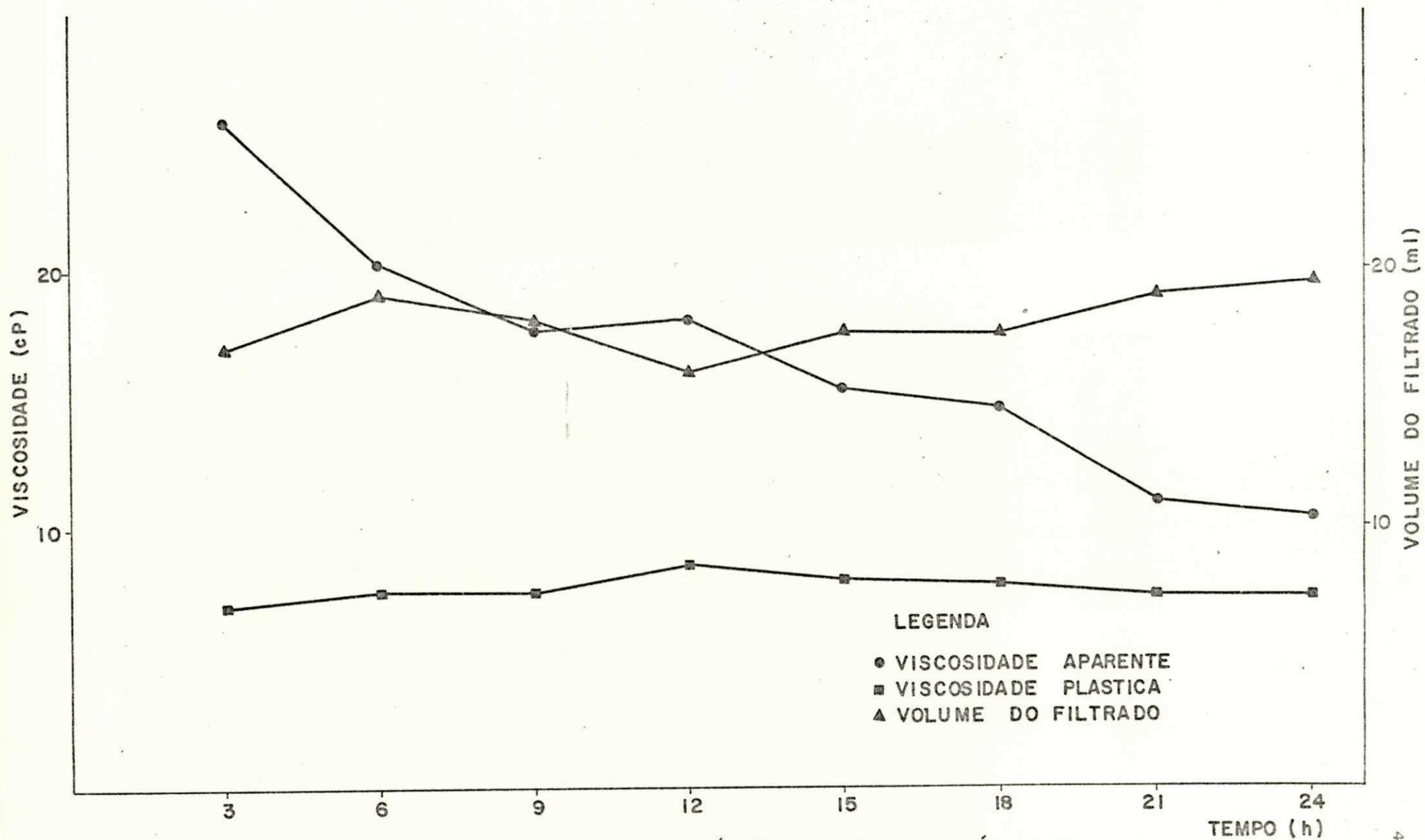


FIGURA 4.17 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 50meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90%UR E 70°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	7,1	5,8	16,5
VERDE-CLARA		10,6	7,3	18,0
VERMELHA	6	6,5	5,5	17,5
VERDE-CLARA		9,2	7,0	19,0
VERMELHA	9	6,7	5,5	17,5
VERDE-CLARA		8,5	6,5	20,0
VERMELHA	12	7,0	5,8	16,5
VERDE-CLARA		9,6	6,8	18,5
VERMELHA	15	6,8	6,0	17,0
VERDE-CLARA		9,4	7,0	18,5
VERMELHA	18	6,4	5,0	18,0
VERDE-CLARA		8,3	6,3	21,0
VERMELHA	21	6,3	5,3	17,5
VERDE-CLARA		8,0	6,0	20,5
VERMELHA	24	6,0	5,0	18,5
VERDE-CLARA		6,7	5,5	21,0

Tabela 4.9 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 50meq/100 g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 90%UR e 90°C.

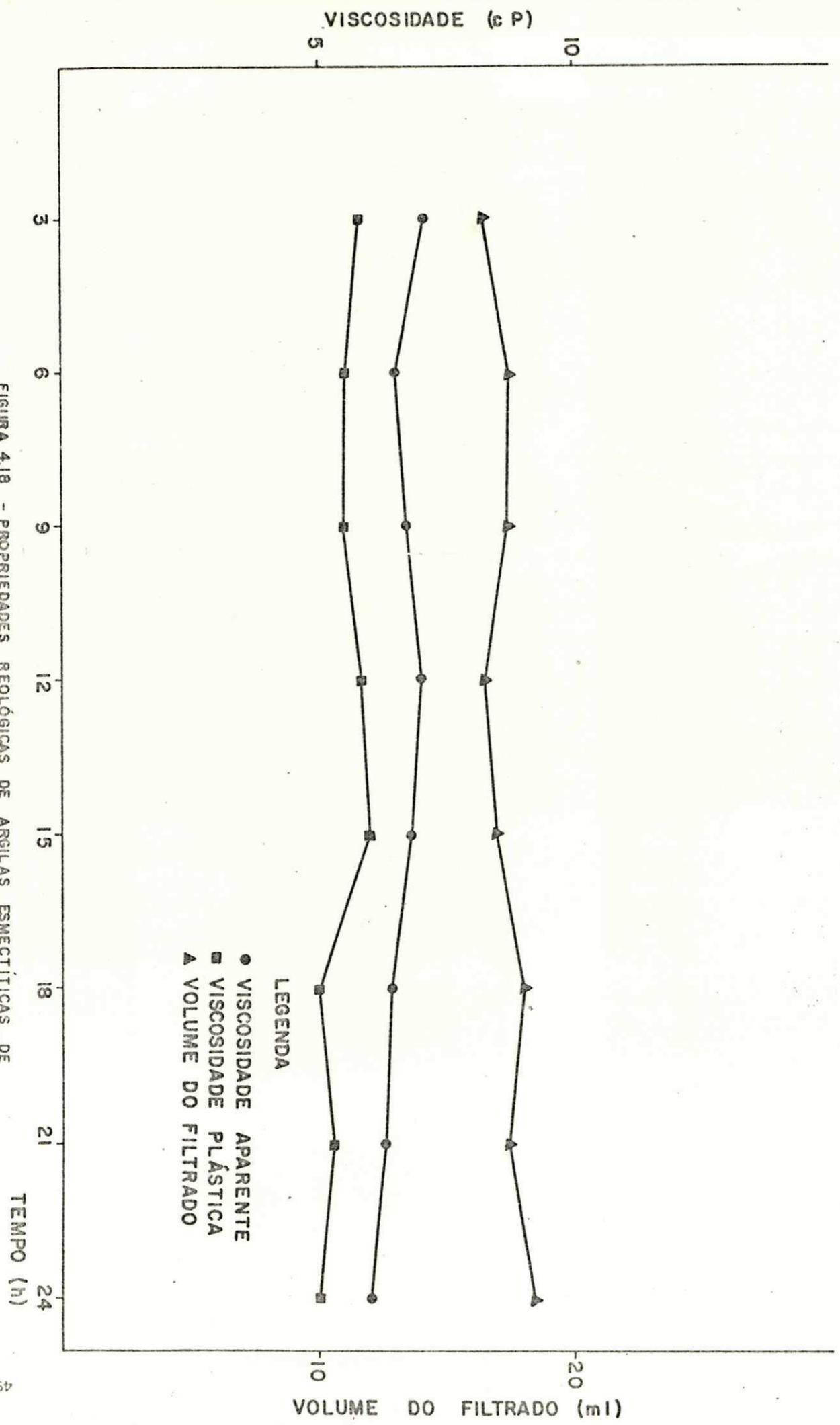


FIGURA 4.18 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍNICAS DE COR VERMELHA TRATADAS COM 50mg/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 90% UR E 90°C.

● VISCOSIDADE APARENTE
 ■ VISCOSIDADE PLÁSTICA
 ▲ VOLUME DO FILTRADO

LEGENDA

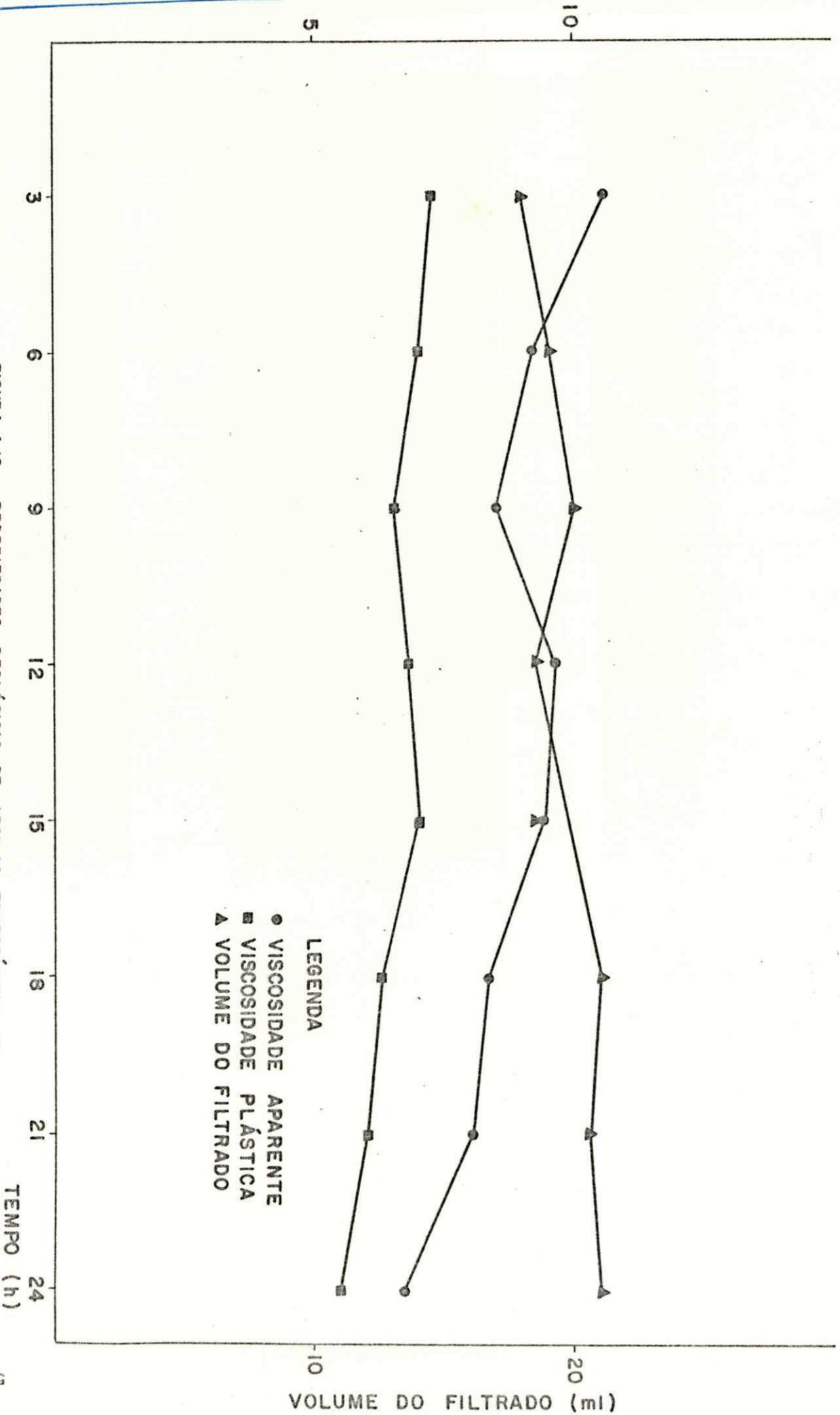


FIGURA 4.19 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTIICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 50mg/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90% UR E 90°C.

LEGENDA
 ● VISCOSIDADE APARENTE
 ■ VISCOSIDADE PLÁSTICA
 ▲ VOLUME DO FILTRADO

da temperatura a viscosidade aparente tende a aumentar até à 50°C, caindo bruscamente aos 90°C. Os valores da viscosidade plástica e do volume do filtrado permaneceram dentro das especificações e praticamente inalterados.

Os resultados obtidos após cura em câmara climatizada pelo segundo processo à 70%UR e 50°C, 70°C e 90°C, das amostras tratadas com 50 meq/100g de carbonato de sódio estão representados nas Tabelas 4.10, 4.11 e 4.12 e Figuras 4.20, 4.21, 4.22, 4.23, 4.24 e 4.25. Estes resultados mostram que as argilas de cor vermelha apresentam valores dentro das especificações somente à 70%UR e 50°C durante 3h de cura (Tabela 4.10 e Figura 4.20). Com o aumento do tempo de cura a tendência da viscosidade plástica é de aumentar de 7,3 cP à 9,0 cP até 9h de cura, à 70%UR e 50°C. Com o aumento da temperatura as viscosidades aparente e plástica diminuíram enquanto que o volume do filtrado aumentou.

As amostras de cor verde-clara apresentaram valores dentro das especificações da Petrobrás (8) à 70%UR e 50°C até às 24h de cura, à 70%UR à 70°C até 6h de cura e à 70%UR à 90°C até 3h de cura. Com o aumento da temperatura observou-se que a viscosidade aparente diminuiu enquanto que a viscosidade plástica e o volume do filtrado aumentou até os 50°C.

Devido as limitações da câmara não foi possível realizar o tratamento de cura à 70%UR à 40°C, mas segundo os dados obtidos à 70%UR e 50°C, 70°C e 90°C é possível estimar o comportamento que ambas as amostras apresentariam ao serem tratadas nestas condições. As amostras vermelhas apresentariam provavelmente valores dentro das especificações até 6h de cura enquanto as verde-clara até às 24h de cura.

Os resultados obtidos na forma de viscosidade aparente e plástica e do volume do filtrado das amostras tratadas com 50 meq/100g de carbonato de sódio e submetidas a cura em câmara climatizada pelo segundo processo, à 50%UR e 70°C e a 50%UR e 90°C, estão apresentados nas Tabelas 4.13 e 4.14 e Figuras 4.26, 4.27, 4.28 e 4.29.

As amostras de cor vermelha nestas condições de cura apresentaram valores da viscosidade aparente inferiores a 15,0 cP, especificado pela Petrobrás (8). Enquanto que os valores da viscosidade plástica ficaram sempre acima do especificado. As tendências das viscosidades aparente e plástica com o aumento da temperatura é de

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	20,8	7,3	14,0
VERDE-CLARA		32,0	4,5	15,0
VERMELHA	6	14,8	7,5	15,5
VERDE-CLARA		30,3	6,8	16,0
VERMELHA	9	14,3	7,8	14,0
VERDE-CLARA		28,2	6,8	16,0
VERMELHA	12	14,3	9,0	15,5
VERDE-CLARA		26,2	6,5	16,0
VERMELHA	15	12,8	8,0	14,5
VERDE-CLARA		23,8	6,3	15,0
VERMELHA	18	11,0	7,3	15,5
VERDE-CLARA		24,2	7,5	16,0
VERMELHA	21	11,7	8,0	15,5
VERDE-CLARA		22,7	6,8	15,5
VERMELHA	24	10,3	7,3	16,0
VERDE-CLARA		19,7	6,8	17,0

Tabela 4.10 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 50meq/100 g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 70%UR e 50°C.

tabela 4

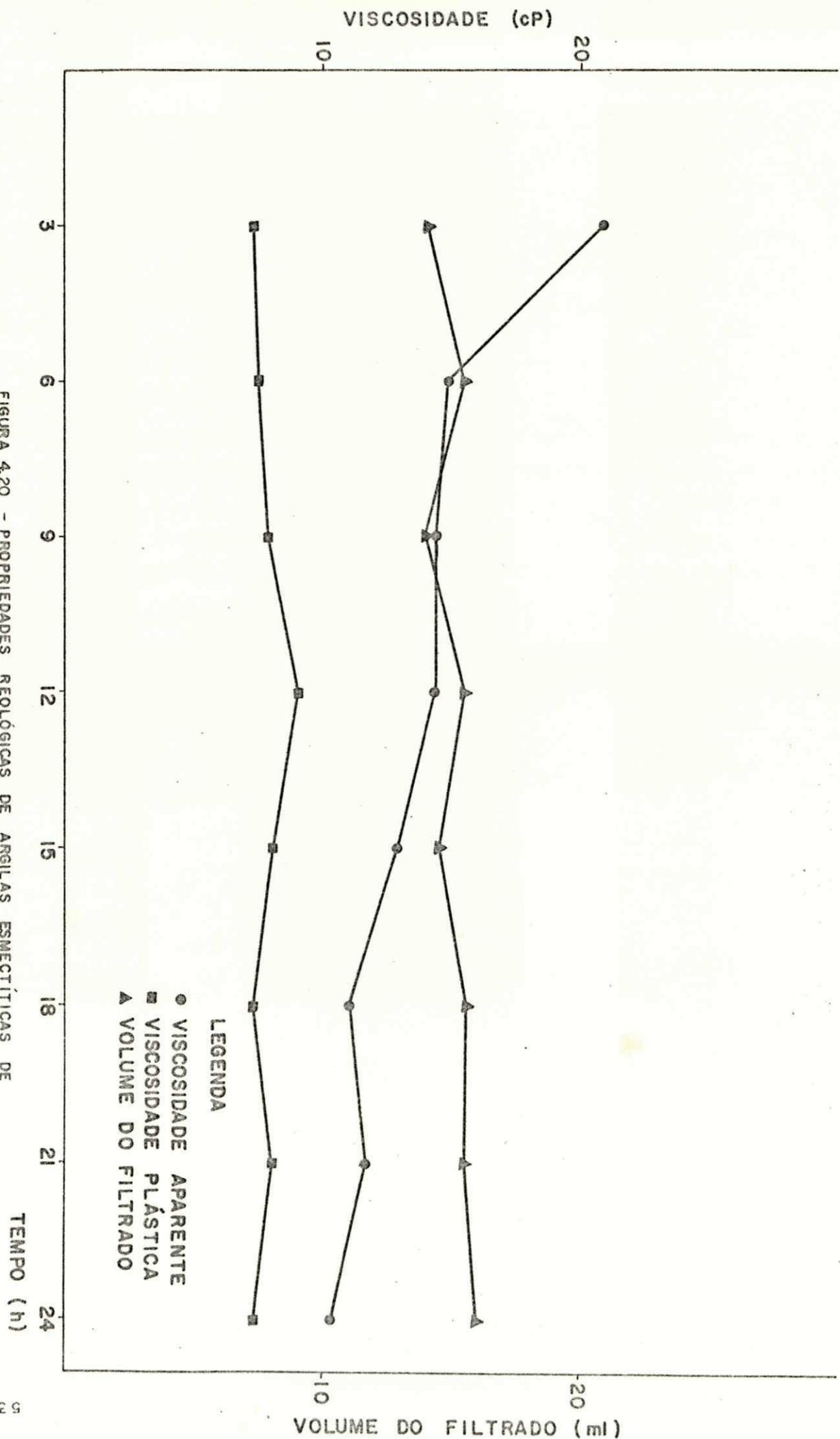


FIGURA 4.20 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍNICAS DE COR VERMELHA, TRATADAS COM 50mg/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 70%UR E 50°C.

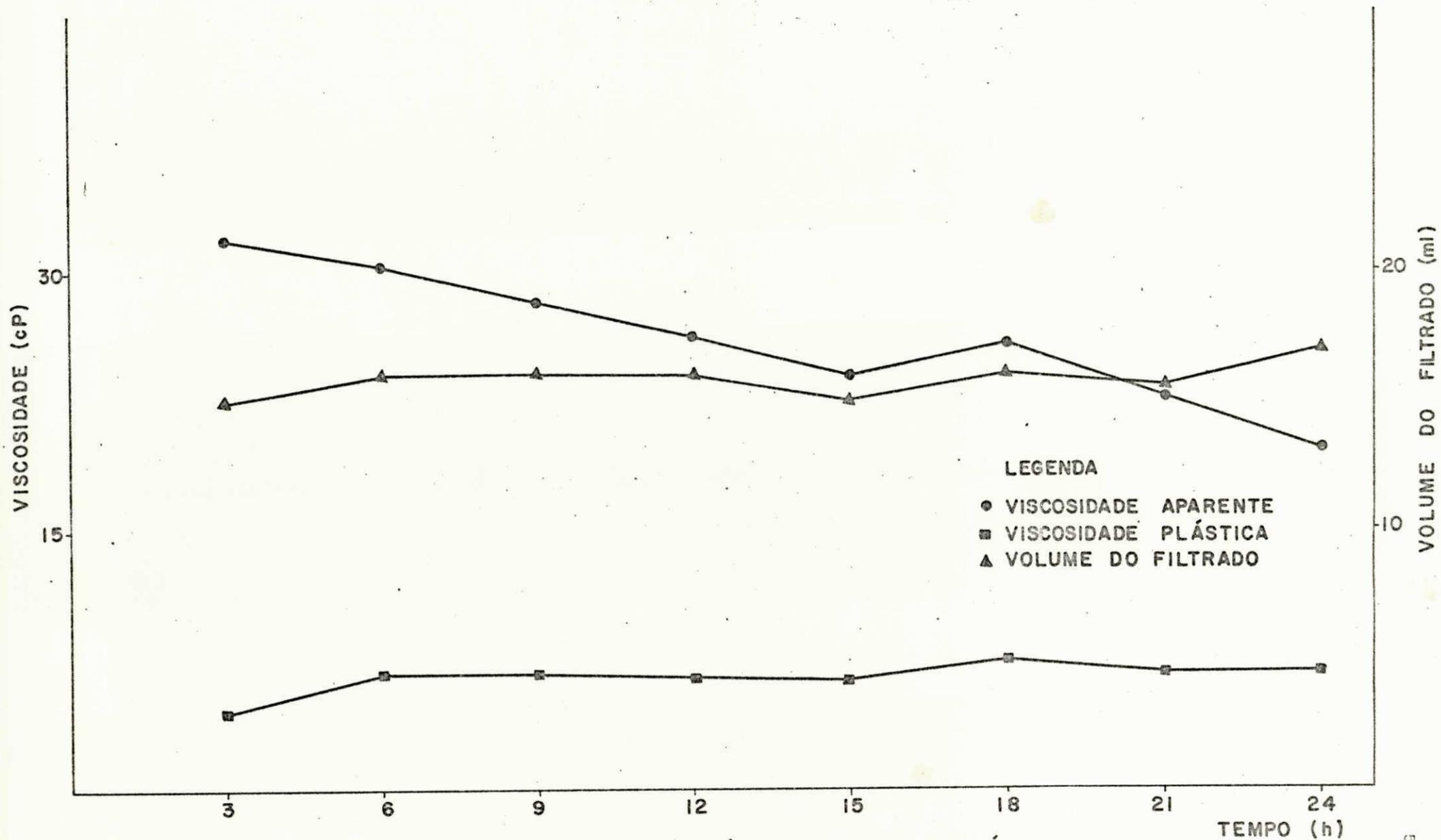


FIGURA 4.21 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 50meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 70%UR E 50°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	10,9	7,3	15,0
VERDE-CLARA		24,3	6,3	18,0
VERMELHA	6	8,8	7,0	15,0
VERDE-CLARA		19,0	8,3	15,5
VERMELHA	9	8,0	6,0	17,0
VERDE-CLARA		16,3	7,8	20,0
VERMELHA	12	8,2	6,5	16,5
VERDE-CLARA		13,7	8,0	17,0
VERMELHA	15	7,7	6,0	17,0
VERDE-CLARA		13,3	8,3	19,5
VERMELHA	18	7,0	5,5	17,0
VERDE-CLARA		11,6	7,3	20,5
VERMELHA	21	6,7	5,5	17,0
VERDE-CLARA		11,5	8,0	18,0
VERMELHA	24	6,3	5,0	19,0
VERDE-CLARA		11,8	9,4	19,0

Tabela 4.11 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 50meq/100g de carbonato de sódio e cura em Câmara climatizada à 70%UR e 70°C.

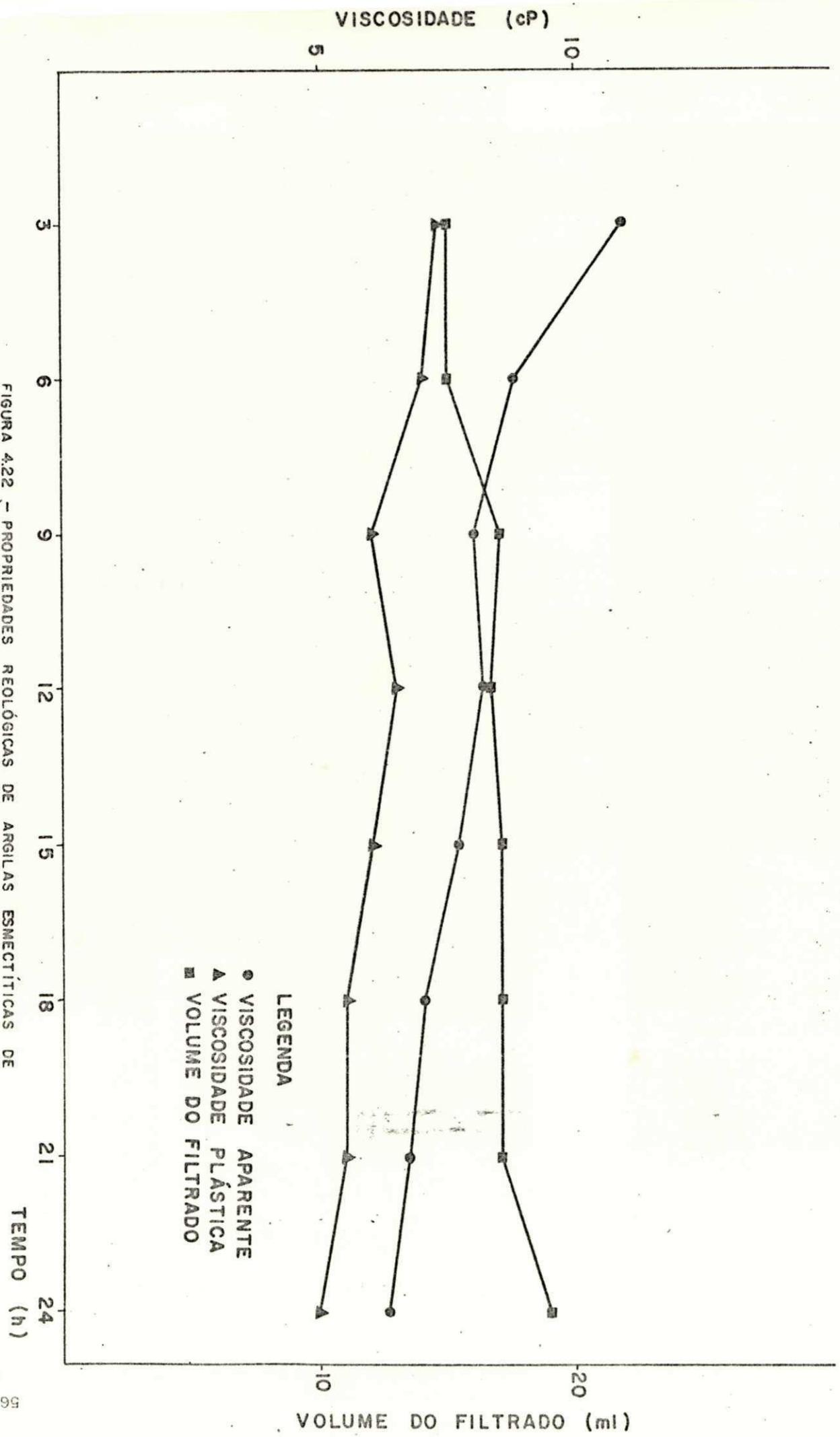


FIGURA 4.22 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTICAS DE COR VERMELHA, TRATADAS COM 50mg/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 70°C UR E 70°C.

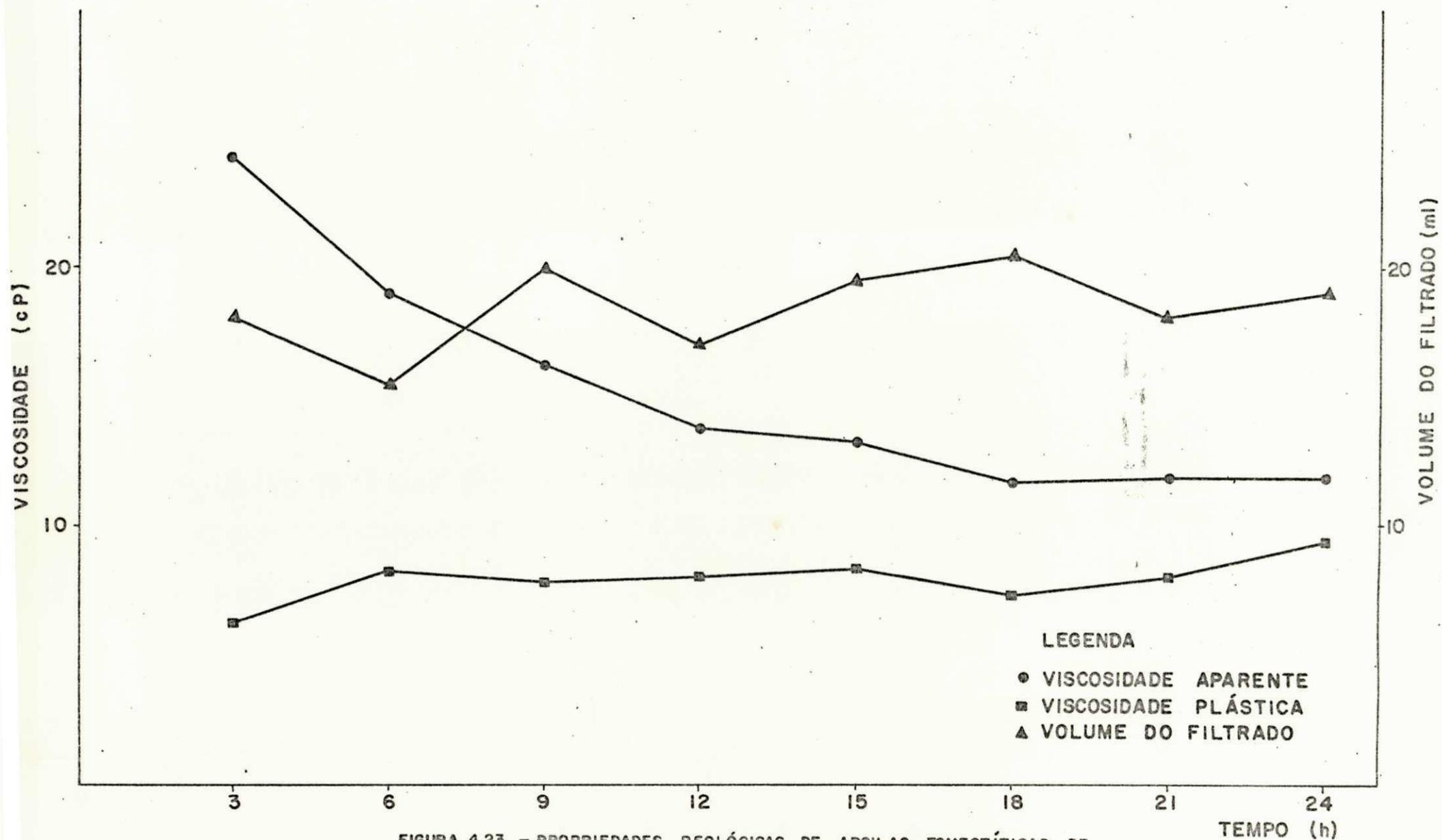


FIGURA 4.23 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 50meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 70%UR E 70°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	6,8	5,5	17,0
VERDE-CLARA		20,7	8,7	16,5
VERMELHA	6	5,7	4,5	19,0
VERDE-CLARA		14,3	7,5	16,5
VERMELHA	9	5,3	4,3	19,5
VERDE-CLARA		11,8	6,0	17,0
VERMELHA	12	6,3	5,0	20,0
VERDE-CLARA		8,9	7,0	19,0
VERMELHA	15	5,8	4,7	21,0
VERDE-CLARA		8,2	6,7	20,5
VERMELHA	18	5,2	4,3	17,5
VERDE-CLARA		7,7	5,8	21,0
VERMELHA	21	5,3	4,3	21,5
VERDE-CLARA		6,9	5,5	21,0
VERMELHA	24	5,0	4,2	22,0
VERDE-CLARA		7,3	6,0	22,0

Tabela 4.12 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 50meq/100 g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 70%UR e 90°C.

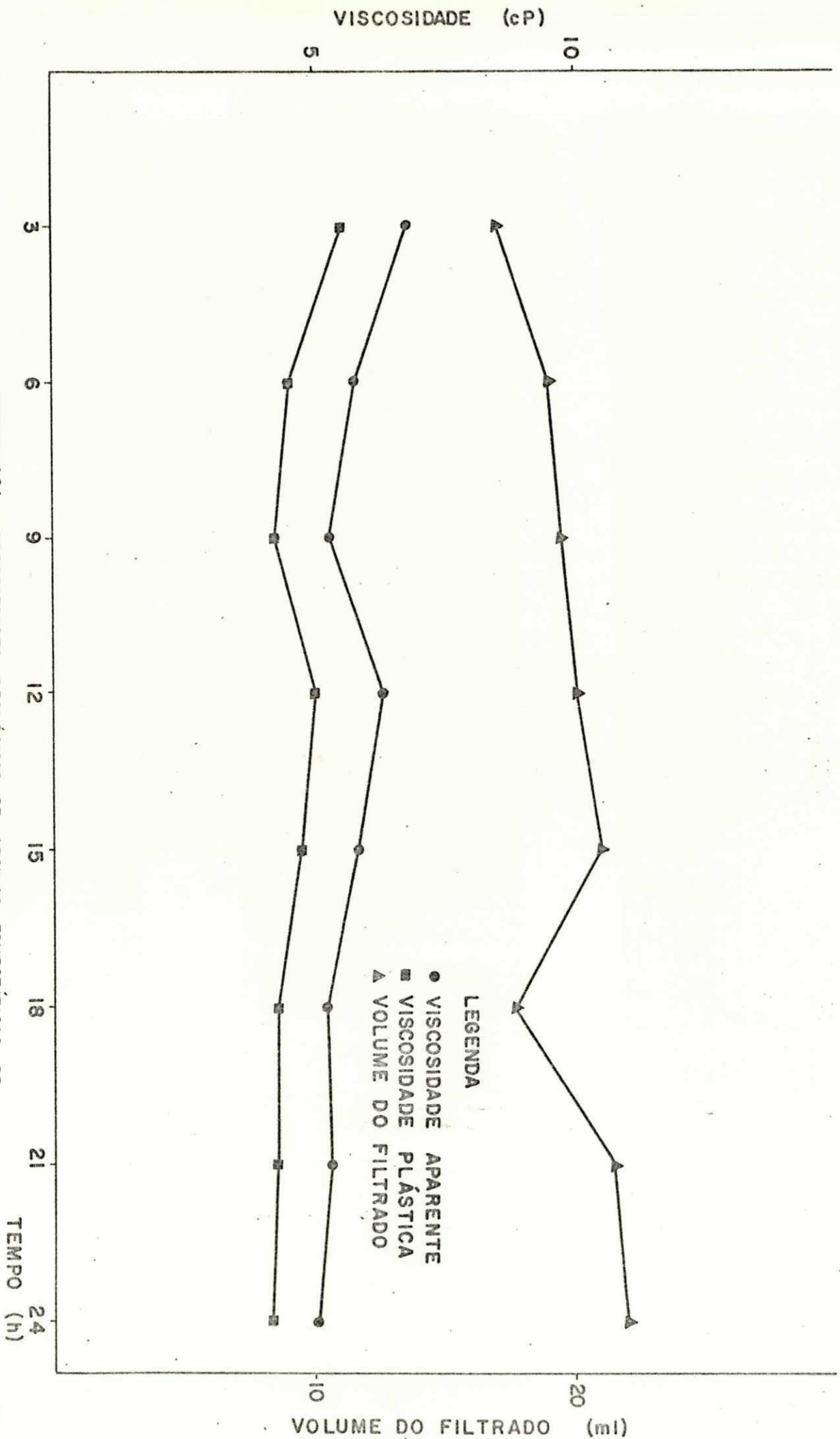


FIGURA 4.24 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍNICAS DE COR VERMELHA, TRATADAS COM 50mg/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 70% UR E 90°C.

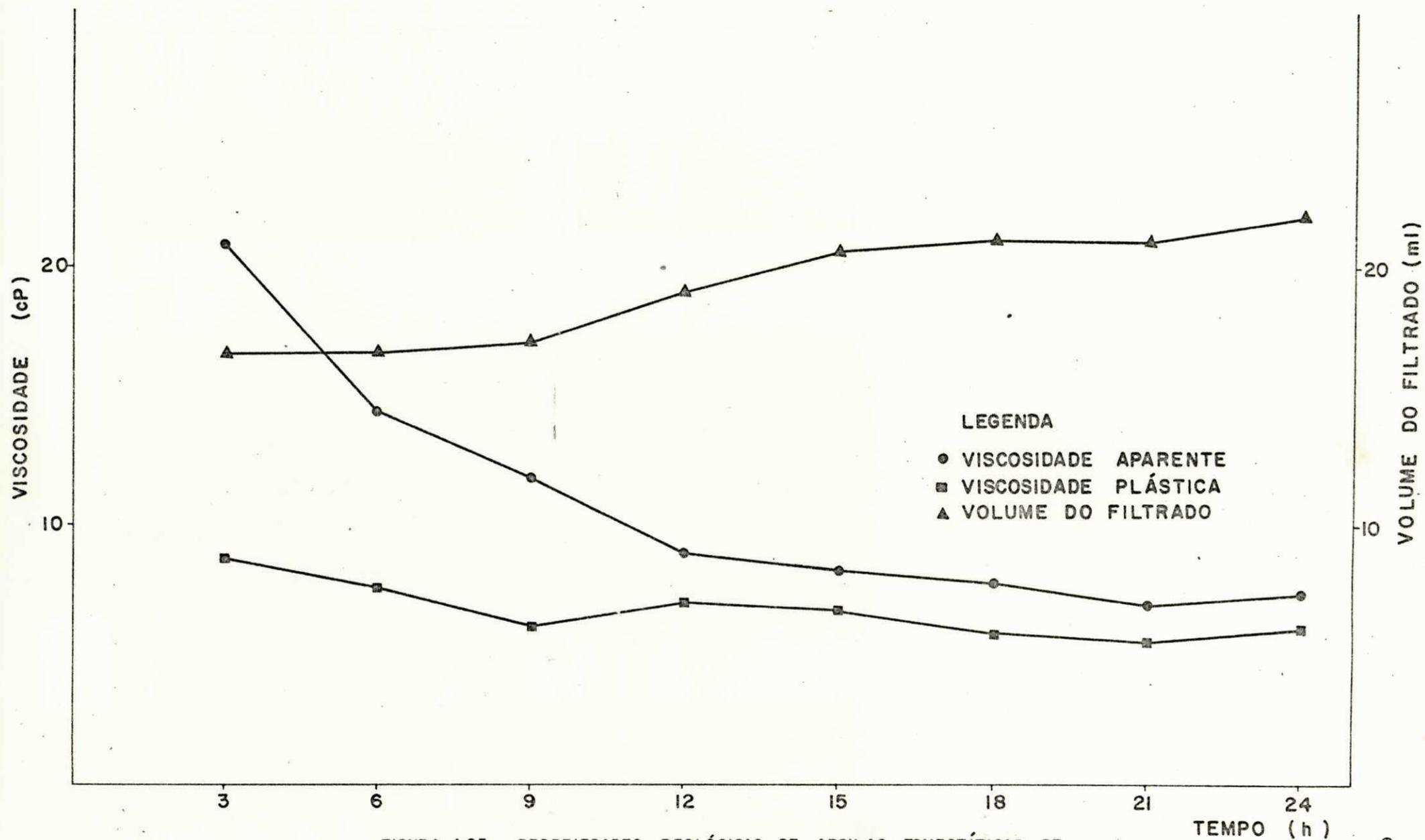


FIGURA 4.25 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 50meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 70% UR E 90°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	13,4	7,5	15,5
VERDE-CLARA		28,2	7,0	16,0
VERMELHA	6	11,0	7,5	16,0
VERDE-CLARA		23,2	7,5	16,0
VERMELHA	9	9,4	7,0	15,0
VERDE-CLARA		19,9	7,8	18,5
VERMELHA	12	7,4	5,5	18,0
VERDE-CLARA		21,7	7,3	19,0
VERMELHA	15	7,5	6,0	17,0
VERDE-CLARA		21,9	6,3	18,0
VERMELHA	18	6,7	5,3	18,5
VERDE-CLARA		20,3	6,8	20,0
VERMELHA	21	6,4	5,5	20,0
VERDE-CLARA		18,5	6,0	19,0
VERMELHA	24	5,9	5,3	19,5
VERDE-CLARA		11,1	6,5	22,0

Tabela 4.13 - Propriedades reológicas de argilas esmectíticas de Boa Vista - PB, tratadas com 50meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 50%UR e 70°C.

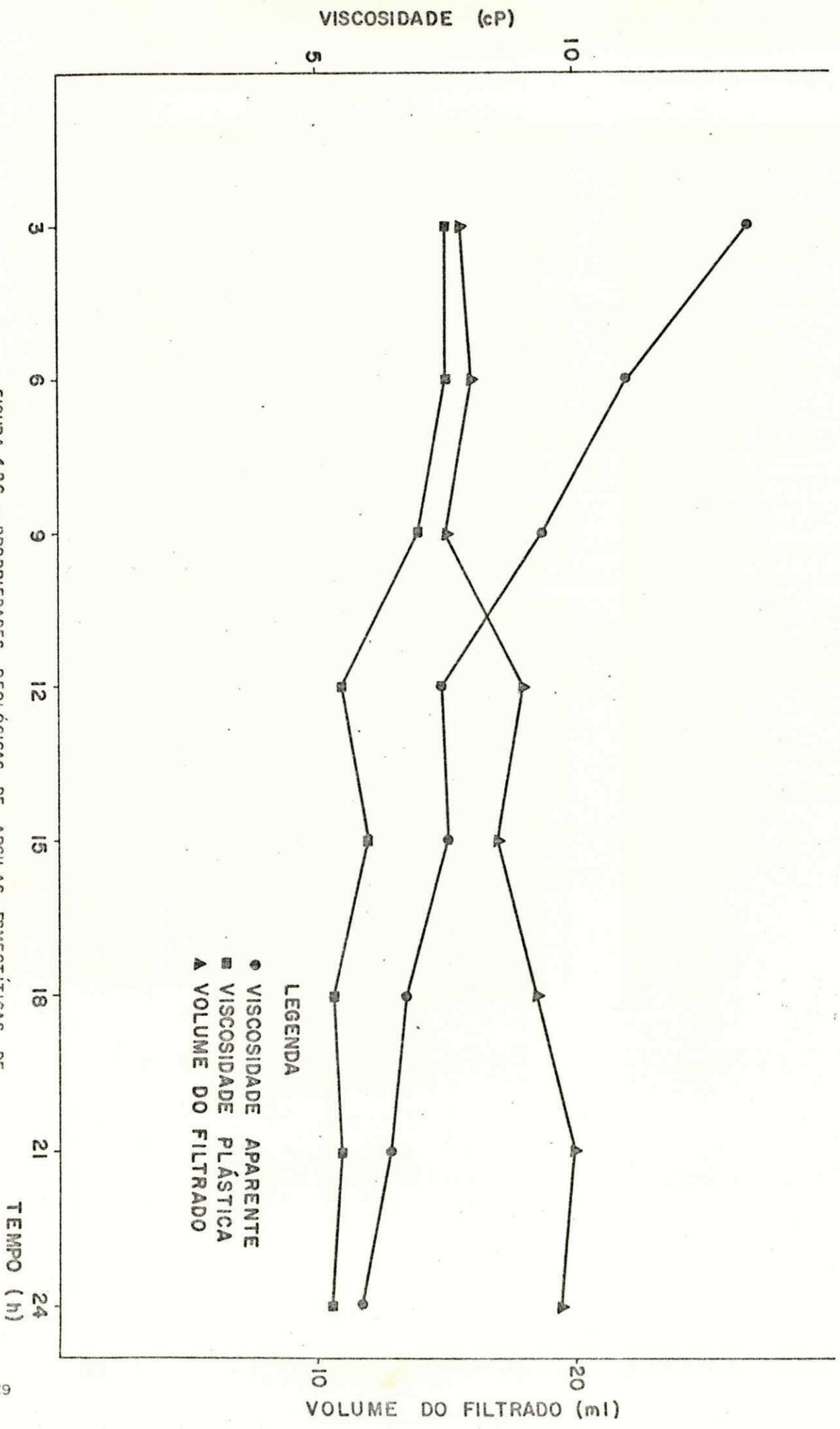


FIGURA 4.26 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTICAS DE COR VERMELHA, TRATADAS COM 50mg/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 50% UR E 70°C.

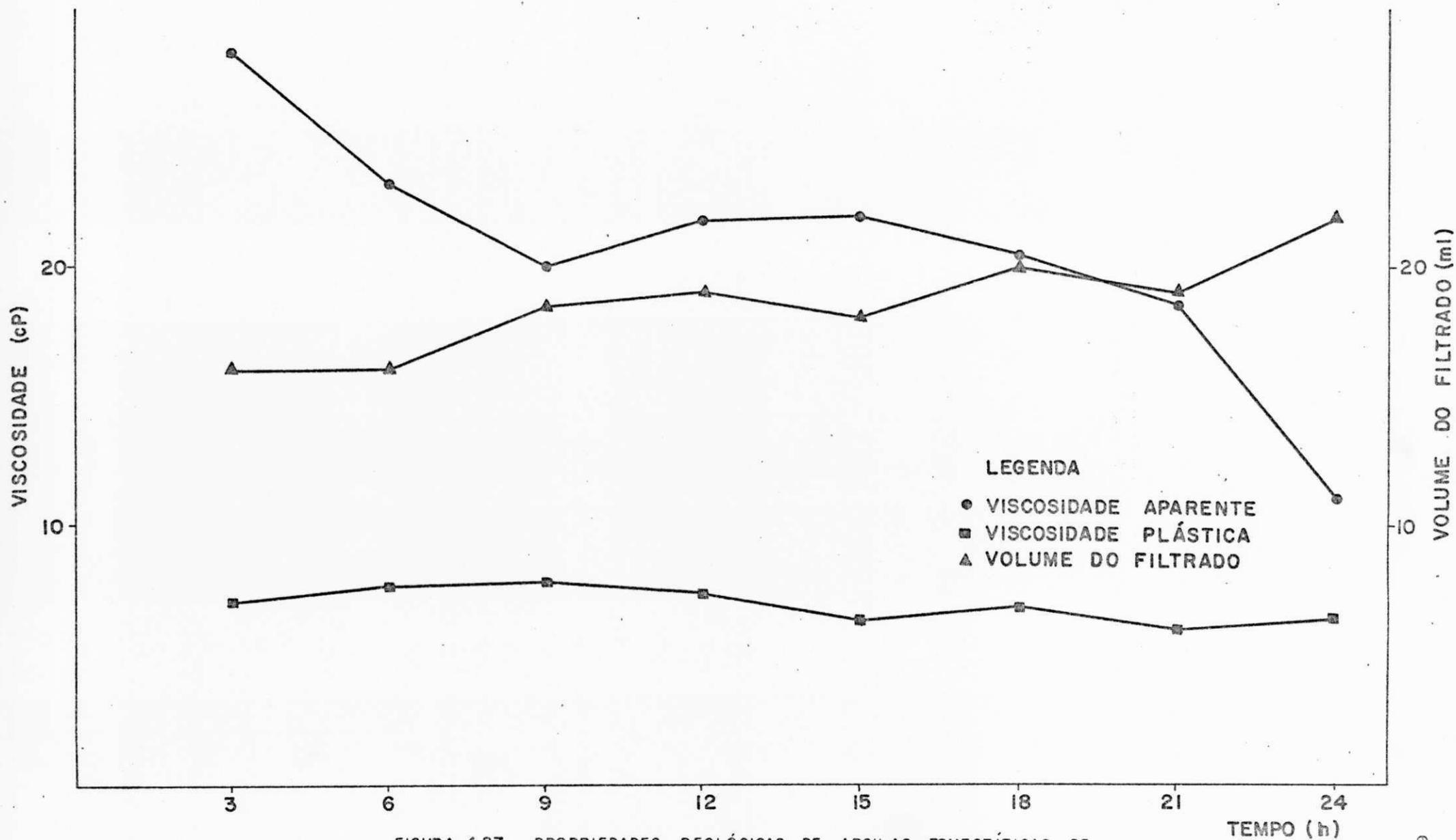


FIGURA 4.27 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍCAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 50meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 50% UR E 70°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	8,5	6,8	17,0
VERDE-CLARA		23,0	7,8	18,0
VERMELHA	6	6,8	5,3	17,5
VERDE-CLARA		16,7	7,8	20,0
VERMELHA	9	6,0	5,0	20,0
VERDE-CLARA		12,8	7,8	21,0
VERMELHA	12	6,7	5,5	18,0
VERDE-CLARA		11,7	7,0	21,0
VERMELHA	15	6,4	5,3	19,0
VERDE-CLARA		10,5	6,8	21,0
VERMELHA	18	5,9	5,0	19,0
VERDE-CLARA		10,4	7,0	21,0
VERMELHA	21	6,0	5,0	19,0
VERDE-CLARA		8,3	6,0	23,0
VERMELHA	24	5,0	3,3	21,0
VERDE-CLARA		7,9	5,8	21,5

Tabela 4.14 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 50meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 50%UR e 90°C.

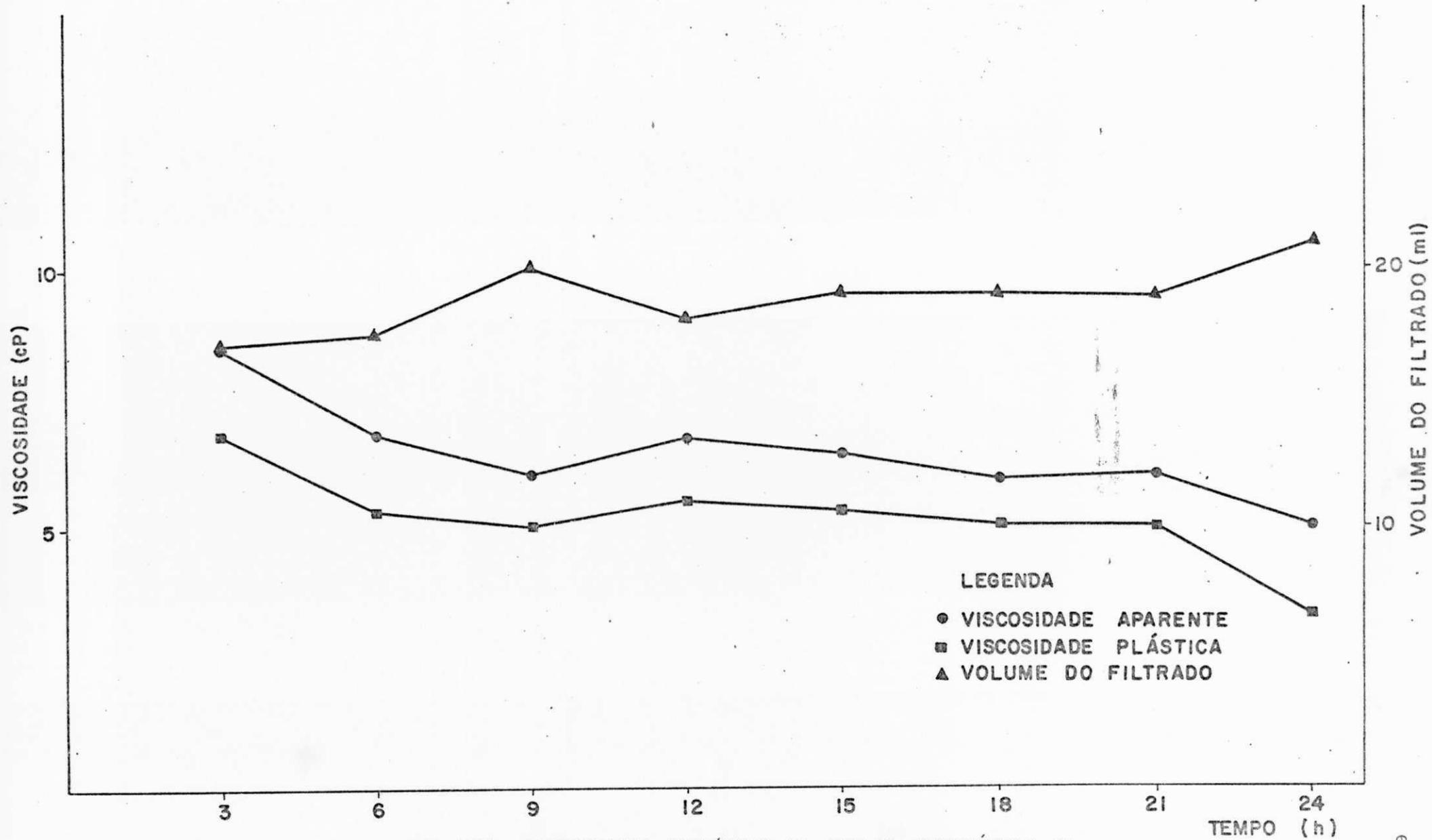


FIGURA 4.28 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE COR VERMELHA, TRATADAS COM 50meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 50% UR E 90°C.

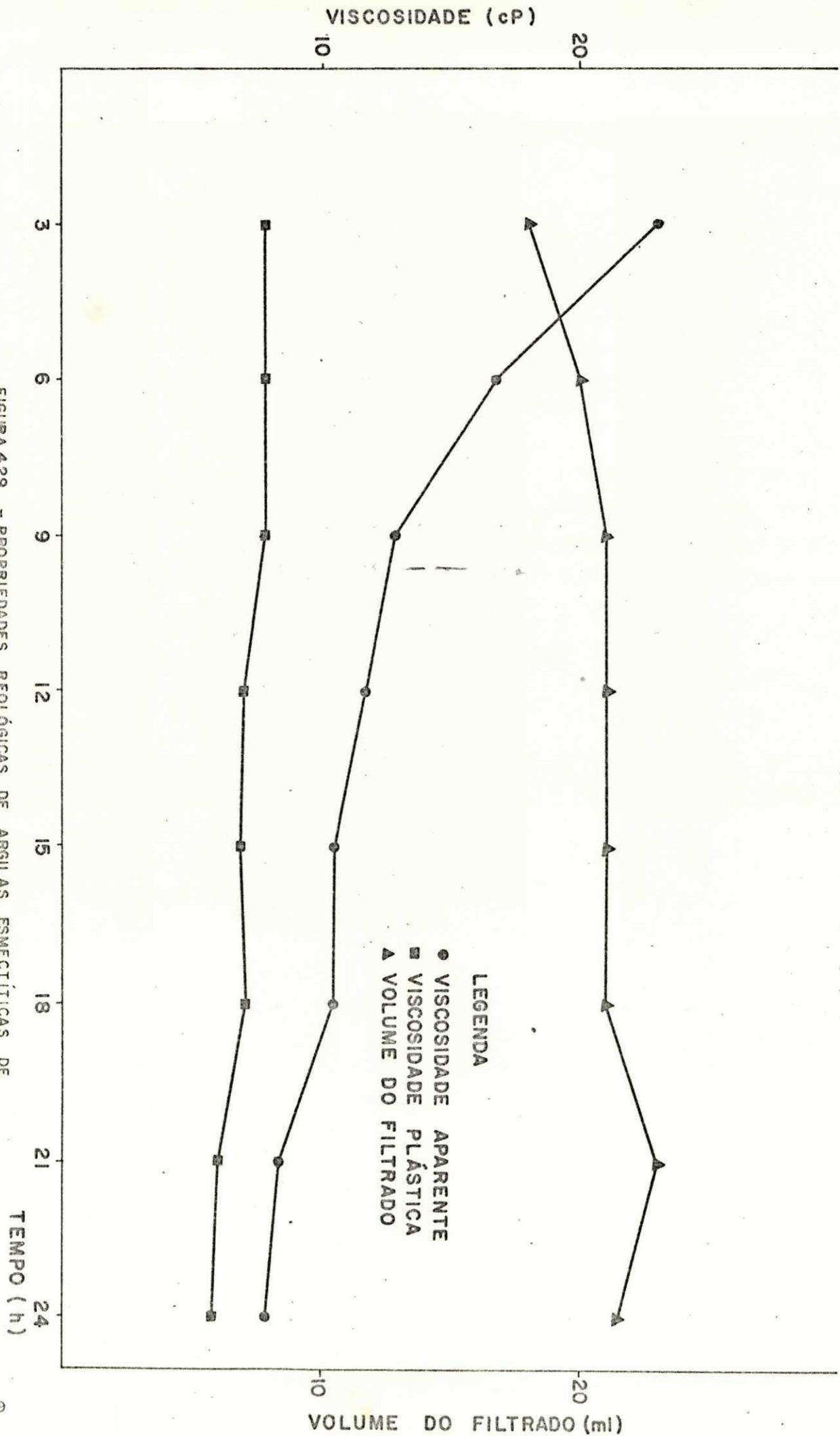


FIGURA 4.29 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 50mg/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 50%UR E 90°C.

crescente enquanto que o volume do filtrado aumentou. As amostras de cor verde-clara apresentaram à 50%UR e 70°C até 6h de cura e à 50%UR e 90°C até 3h de cura valores dentro das especificações da Petrobrás (8). Com o aumento da temperatura a viscosidade aparente diminuiu e o volume do filtrado aumentou.

Devido as limitações da câmara não foi possível realizar o tratamento de cura à 50%UR à 40°C e 50°C, mas segundo os dados obtidos à 50%UR à 70°C e 90°C é possível estimar o comportamento que ambas as amostras apresentariam ao serem tratadas nestas condições. As amostras vermelhas apresentariam provavelmente valores dentro das especificações de 3h a 6h de cura enquanto que as verde-clara durante todo o ciclo, com viscosidade aparente mais alta e viscosidade plástica mais baixa, mas dentro das especificações (8).

Os resultados obtidos nas amostras tratadas com 100 meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 90%UR e 40°C, 50°C, 70°C e 90°C conforme o segundo processo descrito no fluxograma da Figura 3.2, estão apresentados nas Tabelas 4.15, 4.16, 4.17 e 4.18 e Figuras 4.30, 4.31, 4.32, 4.33, 4.34, 4.35, 4.36 e 4.37.

As amostras de cor vermelha quando submetidas a estes tratamentos de cura apresentaram valores dentro dos especificados pela Petrobrás (8) à 90%UR e 40°C até 6h de cura e a 90%UR e 50°C até 3h de cura. Observou-se que com o aumento da temperatura as viscosidades aparente e plástica diminuíram enquanto que o volume do filtrado tendeu em aumentar. Com o aumento do tempo de cura à viscosidade aparente diminuiu o volume do filtrado aumentou e a viscosidade plástica diminuiu a partir dos 70°C.

Nas amostras de cor verde-clara observou-se que com o aumento da temperatura de 40°C para 50°C e para 70°C a viscosidade aparente diminuiu porém a viscosidade plástica aumentou, melhorando desta forma as propriedades reológicas destas amostras e fazendo com que à 90%UR e 50°C após 12h de cura e à 90%UR à 70°C até 9h de cura estas amostras apresentem valores das viscosidades aparente e plástica e do volume do filtrado dentro das especificações (8). Observou-se também que com o aumento do tempo de cura a viscosidade aparente diminuiu, a viscosidade plás

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	20,3	5,5	15,0
VERDE-CLARA		49,2	0,5	14,0
VERMELHA	6	16,0	7,3	14,0
VERDE-CLARA		47,5	0,8	15,0
VERMELHA	9	11,3	6,8	16,0
VERDE-CLARA		56,0	1,8	16,0
VERMELHA	12	17,2	7,3	13,5
VERDE-CLARA		49,5	0,8	15,0
VERMELHA	15	14,9	7,5	15,0
VERDE-CLARA		47,7	1,3	14,5
VERMELHA	18	13,4	7,5	14,0
VERDE-CLARA		50,5	1,0	15,5
VERMELHA	21	12,9	7,5	14,5
VERDE-CLARA		46,5	0,8	15,0
VERMELHA	24	12,5	8,0	14,5
VERDE-CLARA		44,3	1,8	12,0

Tabela 4.15 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 100meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 90%UR e 40°C.

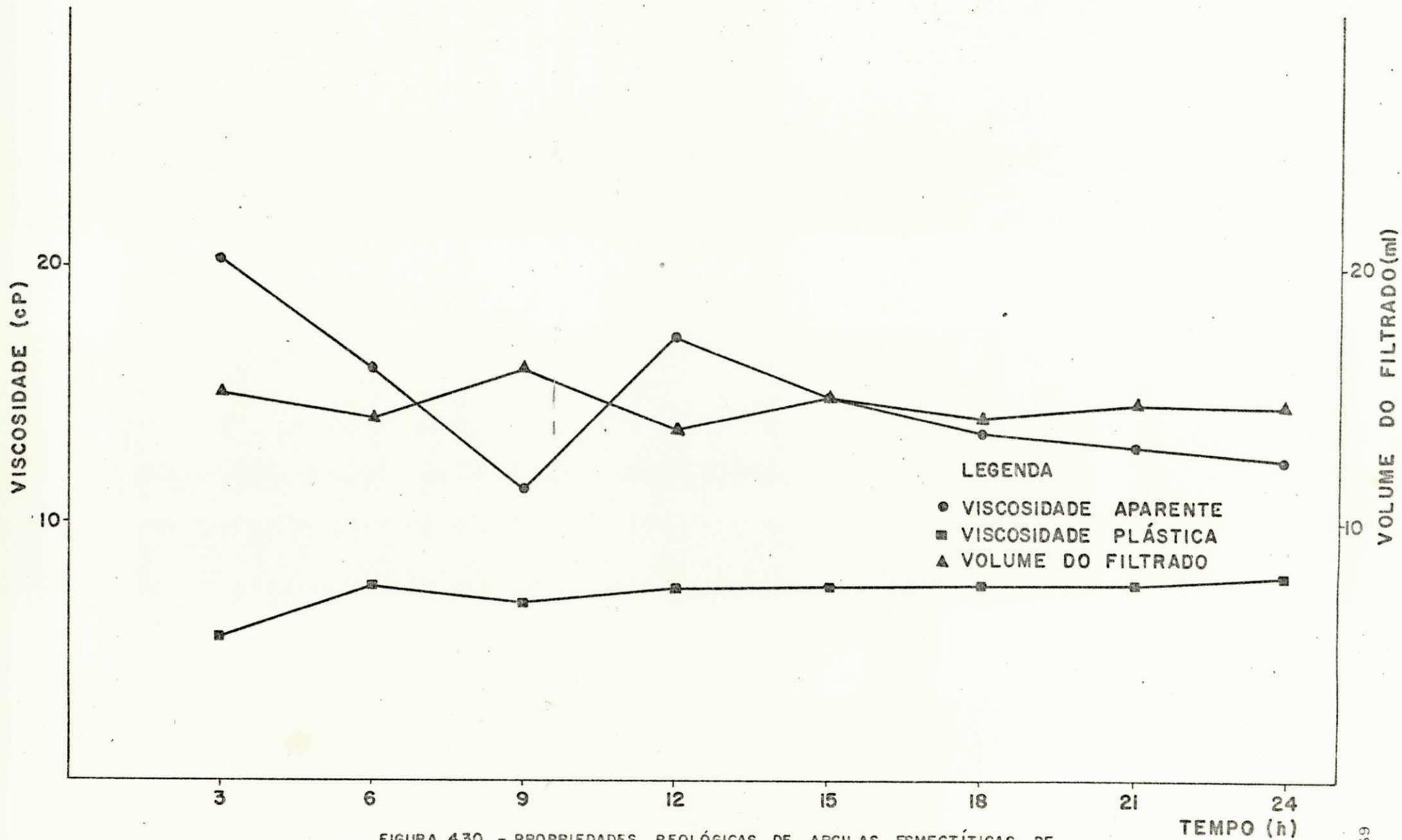


FIGURA 4.30 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERMELHA, TRATADAS COM 100meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90%UR E 40°C.

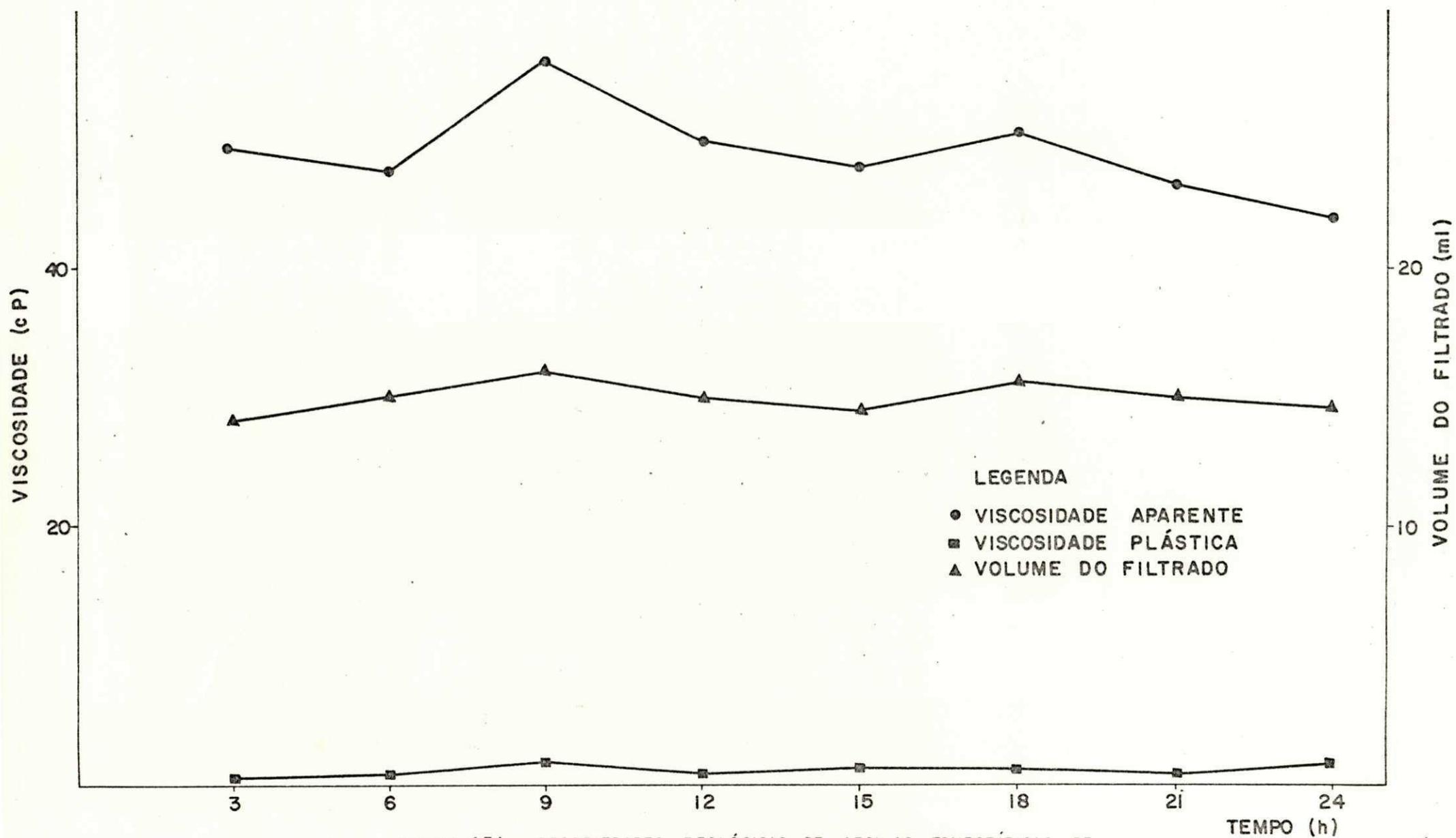


FIGURA 4.31 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 100meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90% UR E 40°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	17,7	7,3	13,5
VERDE-CLARA		42,0	1,8	16,0
VERMELHA	6	11,5	7,5	14,0
VERDE-CLARA		42,2	2,0	15,5
VERMELHA	9	9,8	7,0	15,0
VERDE-CLARA		37,8	3,8	14,5
VERMELHA	12	10,0	7,5	14,5
VERDE-CLARA		37,6	3,3	15,0
VERMELHA	15	8,9	6,5	15,0
VERDE-CLARA		34,7	5,5	15,0
VERMELHA	18	8,4	6,5	15,5
VERDE-CLARA		34,2	5,3	16,0
VERMELHA	21	7,7	5,3	16,0
VERDE-CLARA		32,5	5,5	17,0
VERMELHA	24	7,9	6,3	15,5
VERDE-CLARA		29,3	7,0	16,0

Tabela 4.16 - Propriedades reológicas de argilas esmectíticas de Boa Vista - PB, tratadas com 100meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 90%UR e 50°C.

VISCOSIDADE (cP)

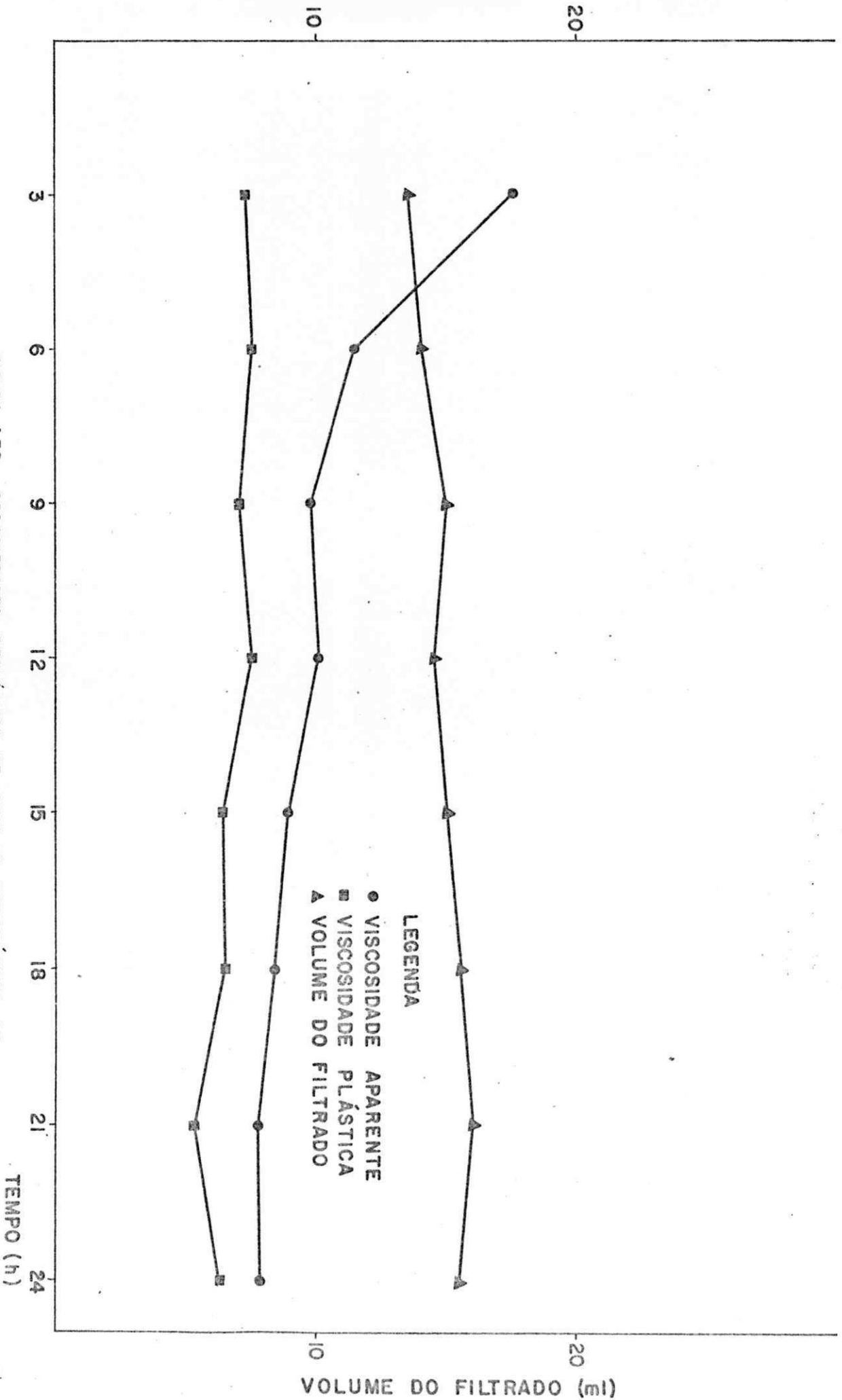


FIGURA 4.32 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERMELHA, TRATADAS COM 100mg/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 90% UR E 50°C.

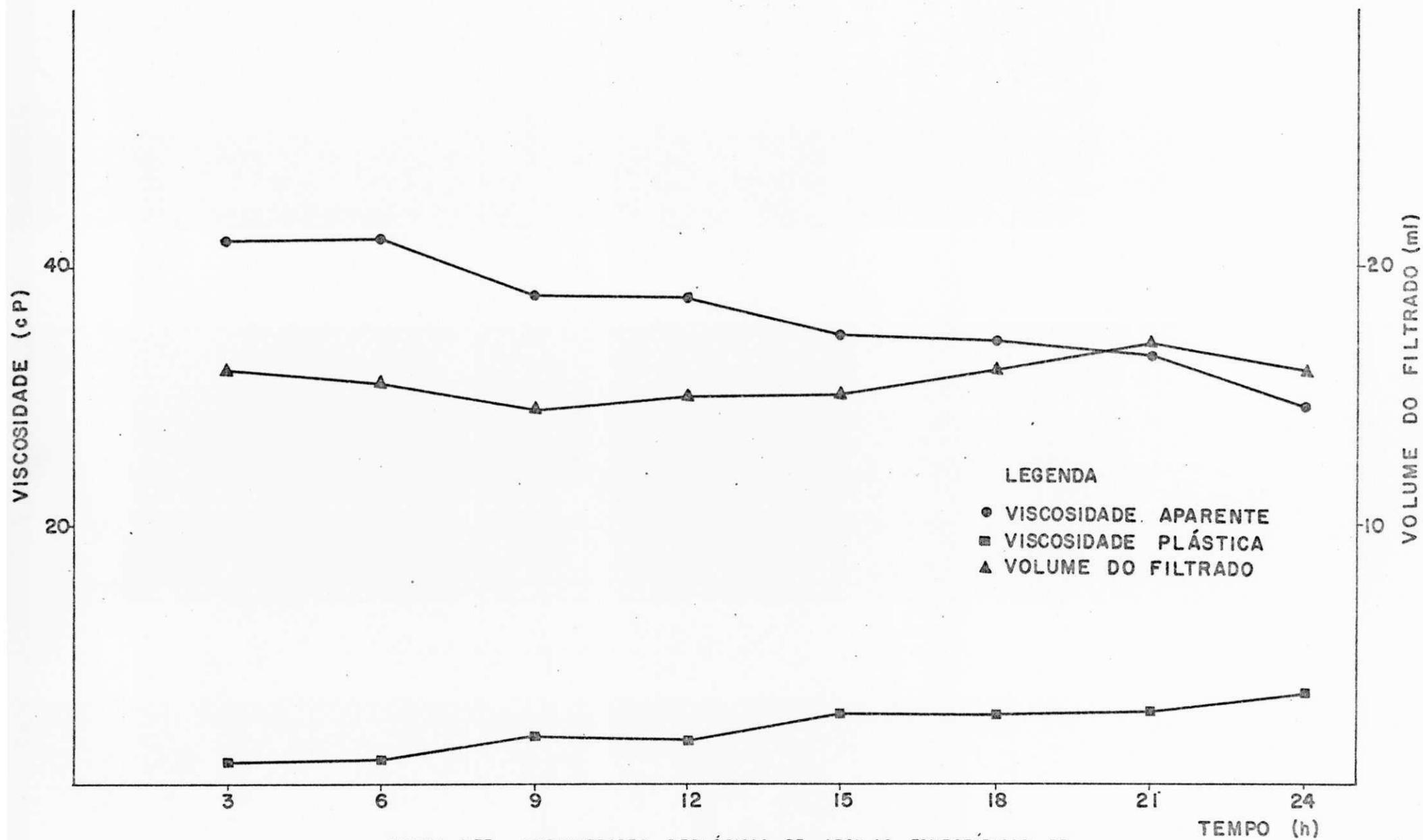


FIGURA 4.33 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 100meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90%UR E 50°C

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	7,2	5,8	16,0
VERDE-CLARA		31,3	7,3	17,0
VERMELHA	6	6,9	4,8	18,0
VERDE-CLARA		19,3	7,0	17,0
VERMELHA	9	6,3	5,3	16,0
VERDE-CLARA		18,4	8,0	16,5
VERMELHA	12	6,2	5,0	17,0
VERDE-CLARA		13,8	8,0	18,5
VERMELHA	15	5,7	4,5	19,0
VERDE-CLARA		12,1	7,8	19,5
VERMELHA	18	5,5	4,5	19,0
VERDE-CLARA		11,4	7,3	19,0
VERMELHA	21	5,5	4,5	19,0
VERDE-CLARA		11,0	7,5	19,0
VERMELHA	24	5,5	4,5	19,0
VERDE-CLARA		12,2	7,8	18,0

Tabela 4.17 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 100meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 90%UR e 70°C.

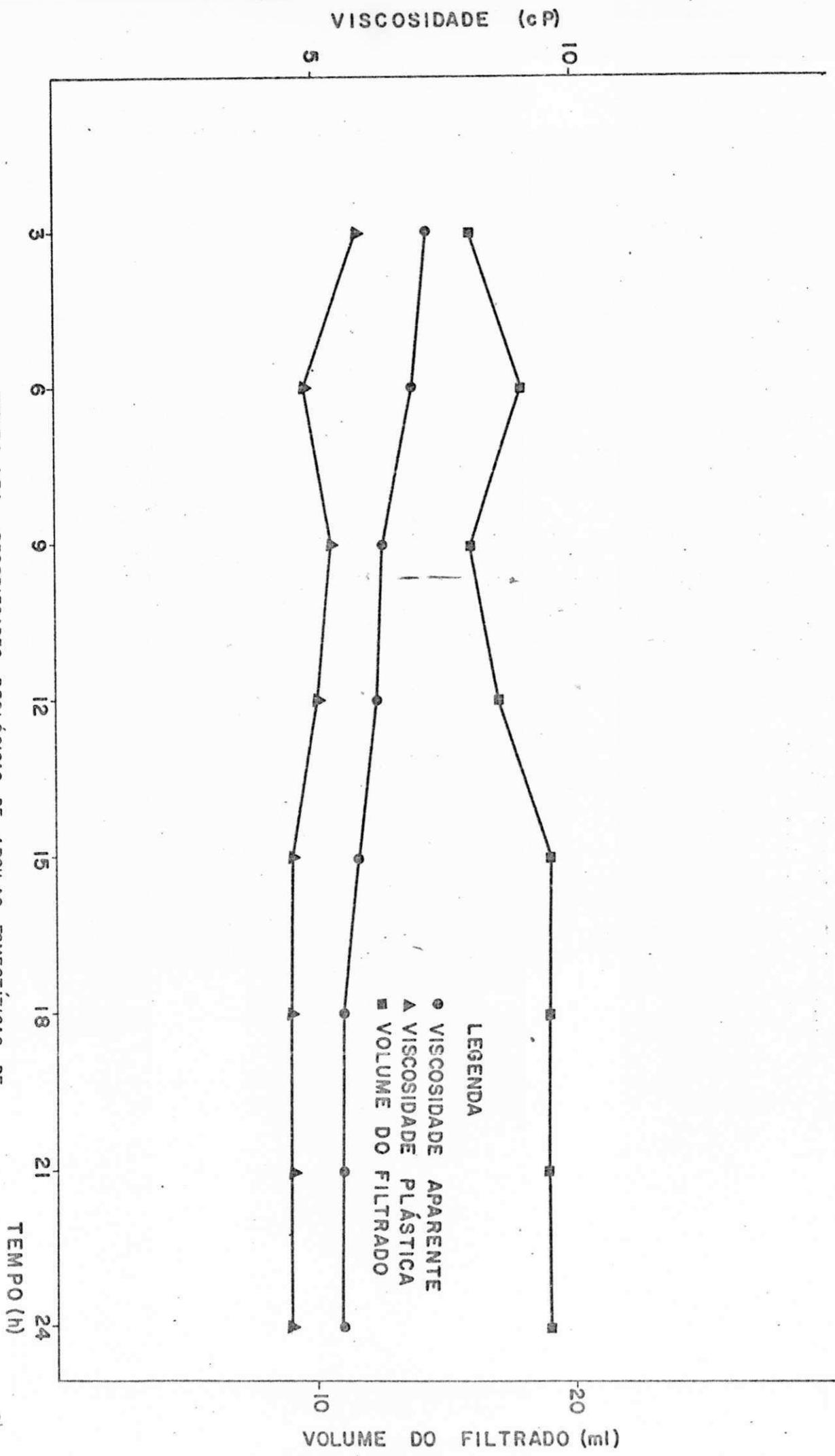


FIGURA 4.34 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERMELHA, TRATADAS COM ICOMED/100 g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 90% UR E 70°C.

VISCOSIDADE (cP)

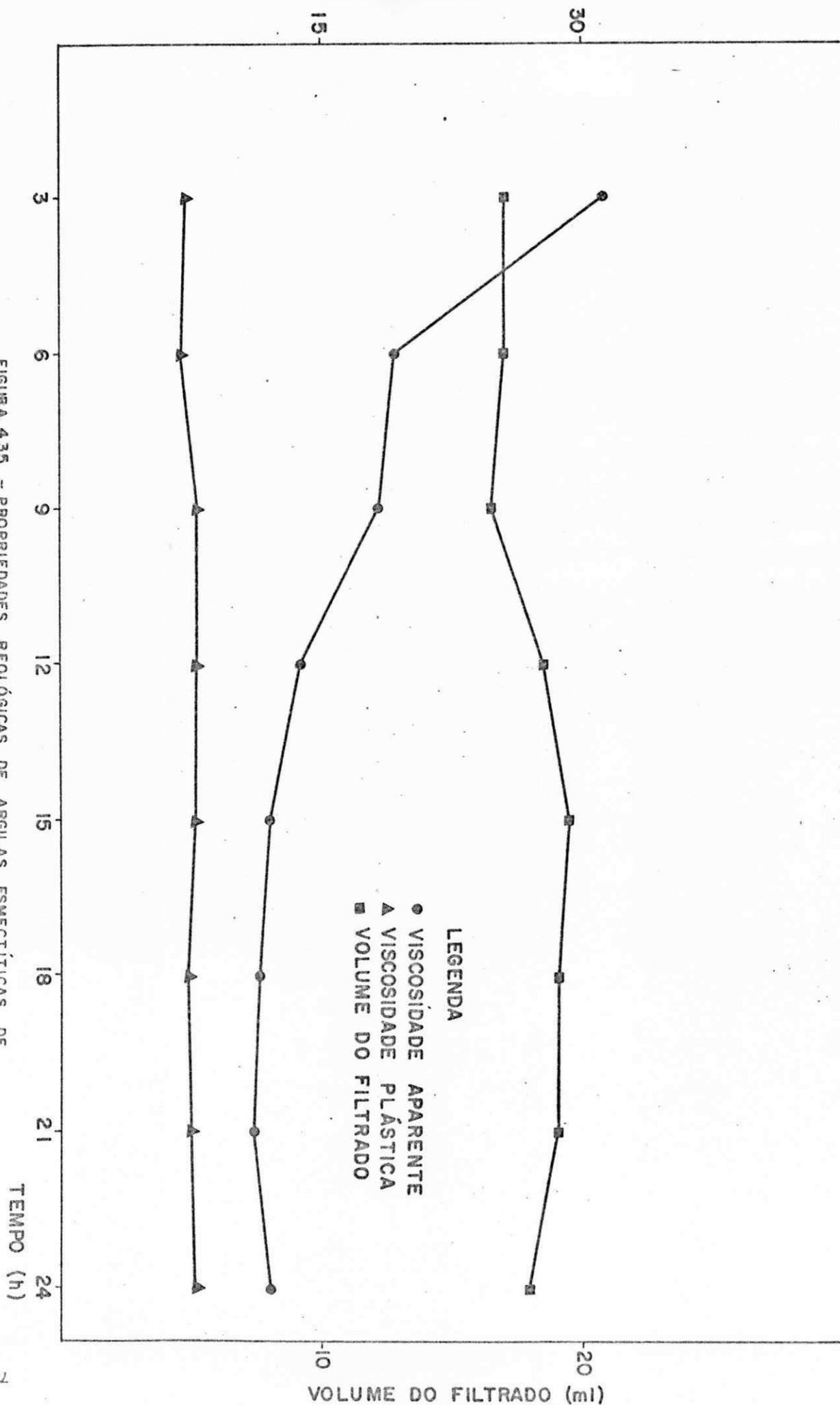


FIGURA 4.35 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 100mg/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 90% UR E 70°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	5,6	5,0	20,0
VERDE-CLARA		8,7	6,5	16,0
VERMELHA	6	5,0	4,0	21,0
VERDE-CLARA		7,3	6,0	19,0
VERMELHA	9	5,0	4,5	21,5
VERDE-CLARA		6,9	6,7	18,5
VERMELHA	12	4,9	4,0	26,0
VERDE-CLARA		6,9	5,8	21,0
VERMELHA	15	4,8	4,0	28,0
VERDE-CLARA		6,7	5,8	22,0
VERMELHA	18	4,5	4,0	28,5
VERDE-CLARA		6,4	5,5	19,0
VERMELHA	21	4,5	4,0	28,0
VERDE-CLARA		6,3	5,5	22,0
VERMELHA	24	4,5	4,0	30,0
VERDE-CLARA		5,7	4,5	22,0

Tabela 4.18 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 100meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 90%UR e 90°C.

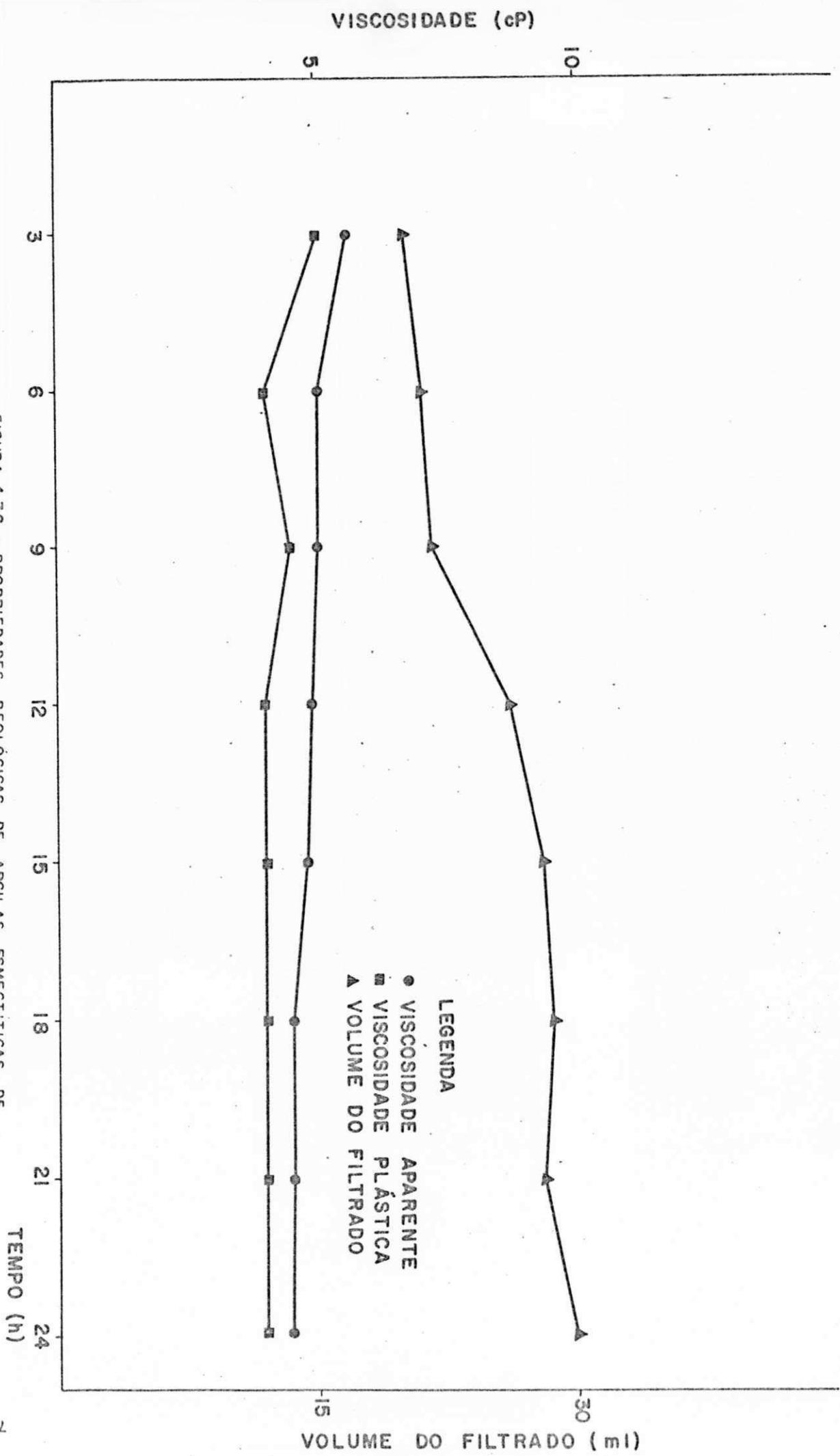


FIGURA 4.36 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTICAS DE COR VERMELHA, TRATADAS COM $100\text{mg}/100\text{g}$ DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 90°C .

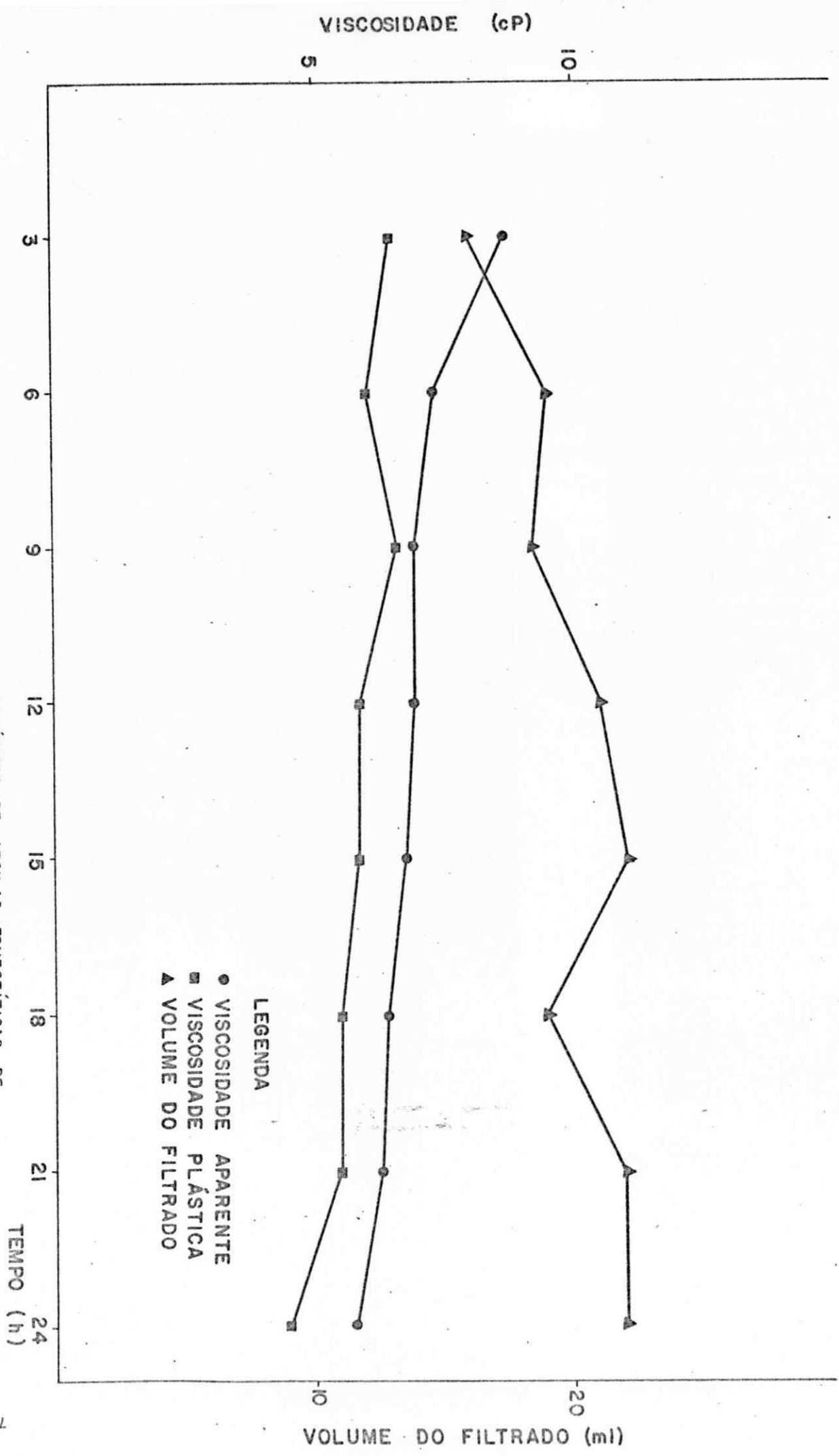


FIGURA 4.37 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM $\text{Na}_2\text{CO}_3/100\text{g}$ DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 90°C . E 90°C .

tica aumentou muito pouco.

Estes resultados quando comparados com os obtidos tratando as amostras com 50 meq/100g nas mesmas condições de cura (Tabela 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9 e Figuras 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 e 4.19) apresentam grande diferença nas amostras verde-clara ficando claro que o aumento da concentração do carbonato de sódio prejudicou as propriedades reológicas das mesmas enquanto que as vermelhas praticamente apresentaram os mesmos comportamentos quando tratadas com 50 meq/100g e 100 meq/100g de carbonato de sódio.

Os resultados obtidos após cura em câmara climatizada à 70%UR e 50°C, 70°C e 90°C das amostras tratadas com 100 meq/100g de carbonato de sódio como ilustrado na Figura 3.2, estão apresentados nas Tabelas 4.19, 4.20 e 4.21 e Figuras 4.38, 4.39, 4.40, 4.41, 4.42 e 4.43.

As amostras vermelhas apresentaram nestas condições de cura todos os valores da viscosidade aparente inferiores à 15,0 cP, ficando assim fora das especificações da Petrobrás (8). Com o aumento da temperatura e do tempo de cura as viscosidades aparente e plástica diminuíram e o volume do filtrado aumentou.

As amostras de cor verde-clara apresentaram valores dentro das especificações à 70%UR e 50°C após 12h de cura, à 70%UR e 70°C até 15h de cura e à 70%UR e 90°C até 6h de cura. Com o aumento do tempo de cura a viscosidade aparente diminuiu e a viscosidade plástica e o volume do filtrado à 70%UR e 50°C tenderam em aumentar. Observou-se também que o efeito da temperatura favoreceu ao decréscimo da viscosidade aparente e aumento da plástica até 70°C.

Todos estes resultados quando comparados com os obtidos quando as amostras foram tratadas com 50 meq/100g de carbonato de sódio nas mesmas condições de cura (Tabelas 4.10, 4.11 e 4.12 e Figuras 4.20, 4.21, 4.22, 4.23, 4.24 e 4.25) apresentaram os mesmos comportamentos reológicos. Observou-se também que nas amostras verde-clara quando tratadas com 100 meq/100g as viscosidades aparentes ficaram com valores altos e as viscosidades plásticas com valores muito baixos, estando floculadas; fato não observado quando tratadas com 50 meq/100g de carbonato de sódio.

Os resultados obtidos com as amostras submetidas à cura em câmara climatizada à 50%UR à 70°C e 90°C tratadas com 100 meq/100g de carbonato de sódio conforme a Figura 3.2, estão apre

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	11,7	6,8	14,5
VERDE-CLARA		40,0	1,0	14,0
VERMELHA	6	8,4	6,3	15,0
VERDE-CLARA		36,6	1,8	16,0
VERMELHA	9	7,7	5,5	16,0
VERDE-CLARA		31,5	3,5	15,0
VERMELHA	12	7,5	6,0	15,5
VERDE-CLARA		31,4	4,5	16,0
VERMELHA	15	7,2	6,0	15,5
VERDE-CLARA		29,3	5,8	15,5
VERMELHA	18	6,8	5,5	16,0
VERDE-CLARA		27,0	5,5	16,0
VERMELHA	21	6,5	5,3	17,0
VERDE-CLARA		26,9	7,0	15,0
VERMELHA	24	6,5	4,0	15,5
VERDE-CLARA		23,3	7,3	15,5

Tabela 4.19 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 100meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 70%UR e 50°C.

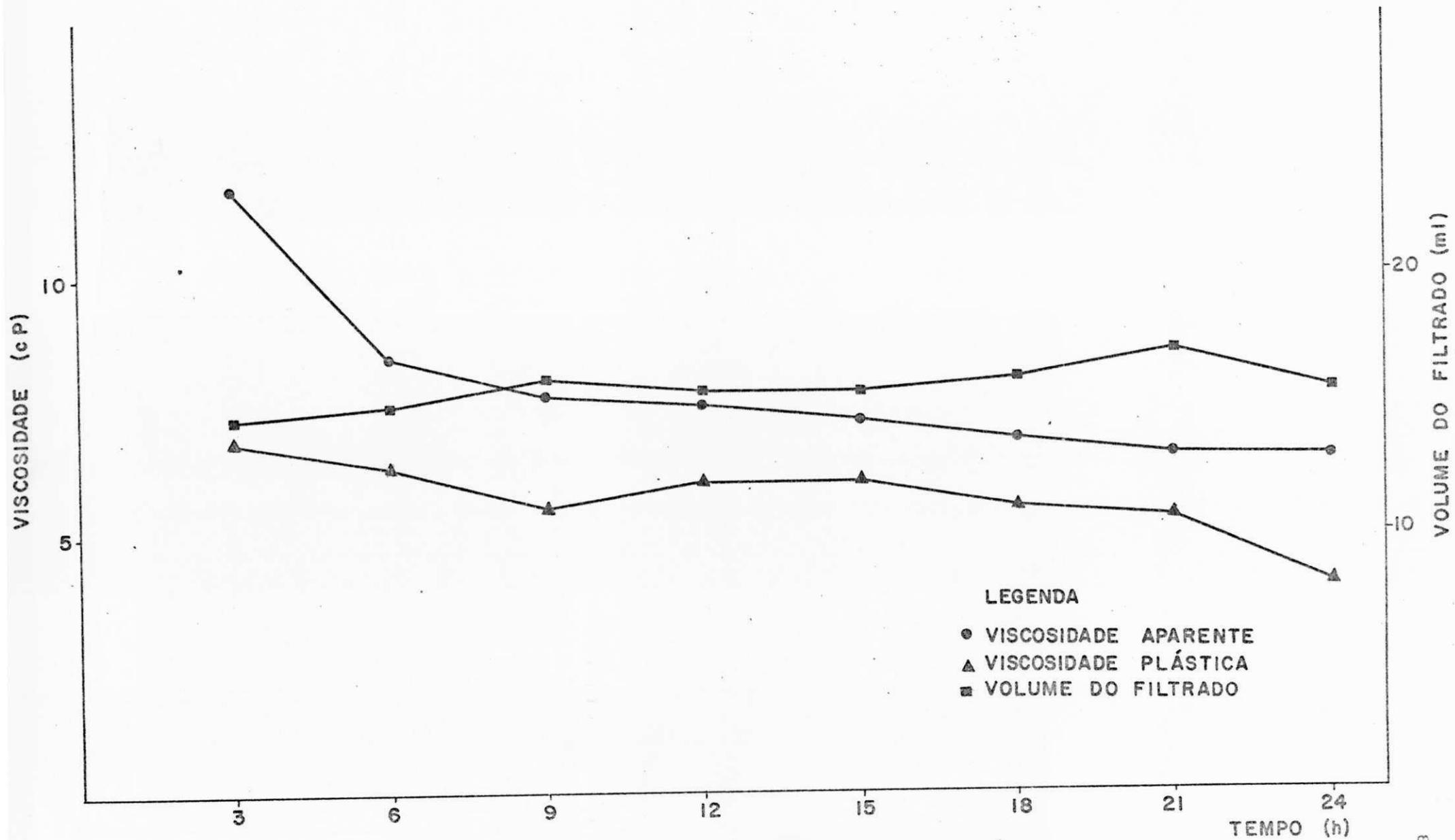


FIGURA 4.38 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERMELHA TRATADAS COM 100meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 70%UR E 50°C.

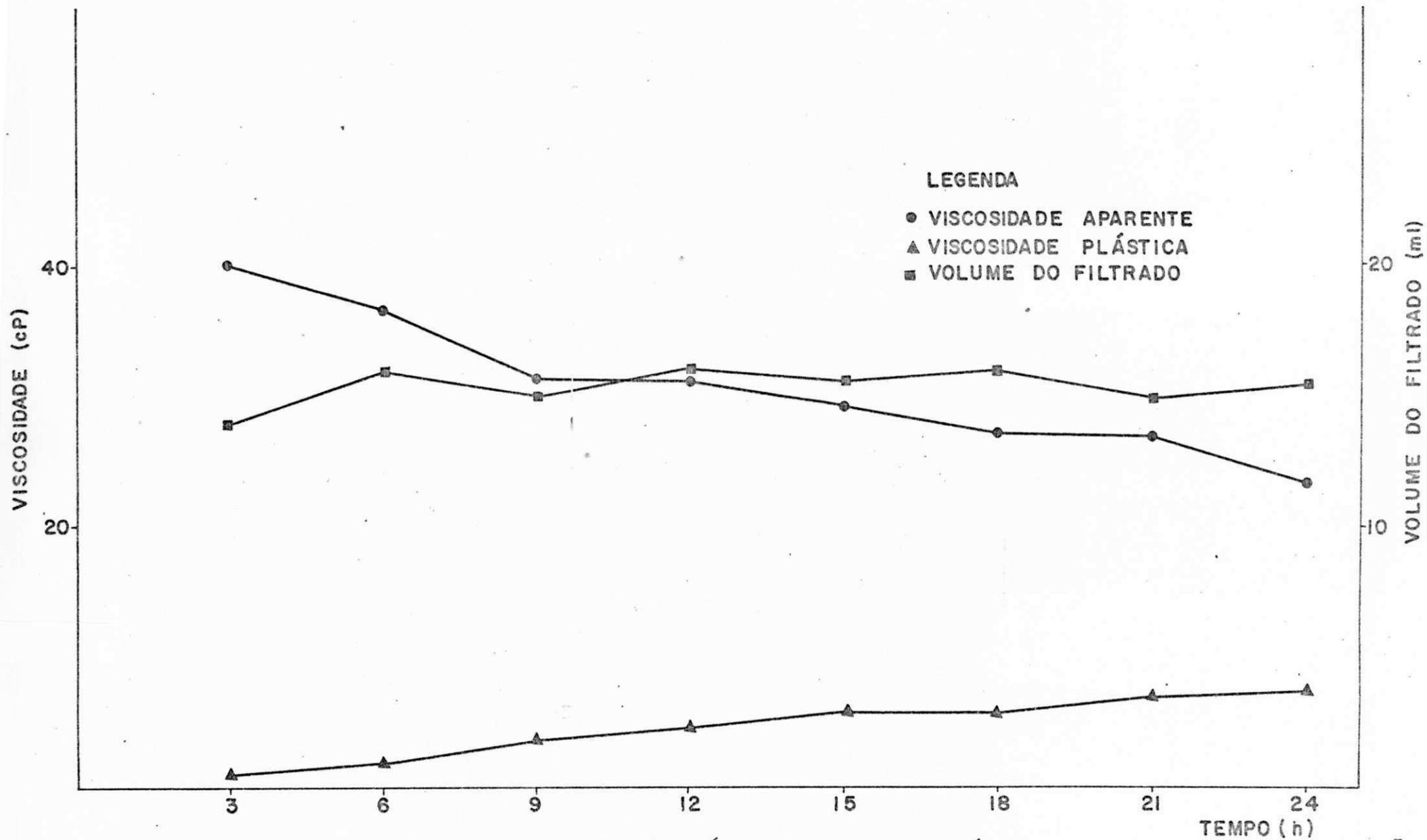


FIGURA 4.39 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERDE CLARA, TRATADAS COM 100meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 70% UR E 50°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	9,0	6,8	16,0
VERDE-CLARA		34,4	4,0	16,5
VERMELHA	6	7,2	5,8	15,5
VERDE-CLARA		26,4	7,5	18,0
VERMELHA	9	6,5	5,5	17,0
VERDE-CLARA		22,3	7,8	18,0
VERMELHA	12	6,5	5,5	19,0
VERDE-CLARA		19,4	7,5	17,0
VERMELHA	15	6,0	5,3	19,0
VERDE-CLARA		17,0	6,5	17,5
VERMELHA	18	5,7	4,8	19,5
VERDE-CLARA		16,4	7,3	19,0
VERMELHA	21	5,7	5,0	20,0
VERDE-CLARA		15,5	8,3	18,5
VERMELHA	24	5,3	4,3	22,0
VERDE-CLARA		12,2	7,3	17,5

Tabela 4.20 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 100meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 70%UR e 70°C.

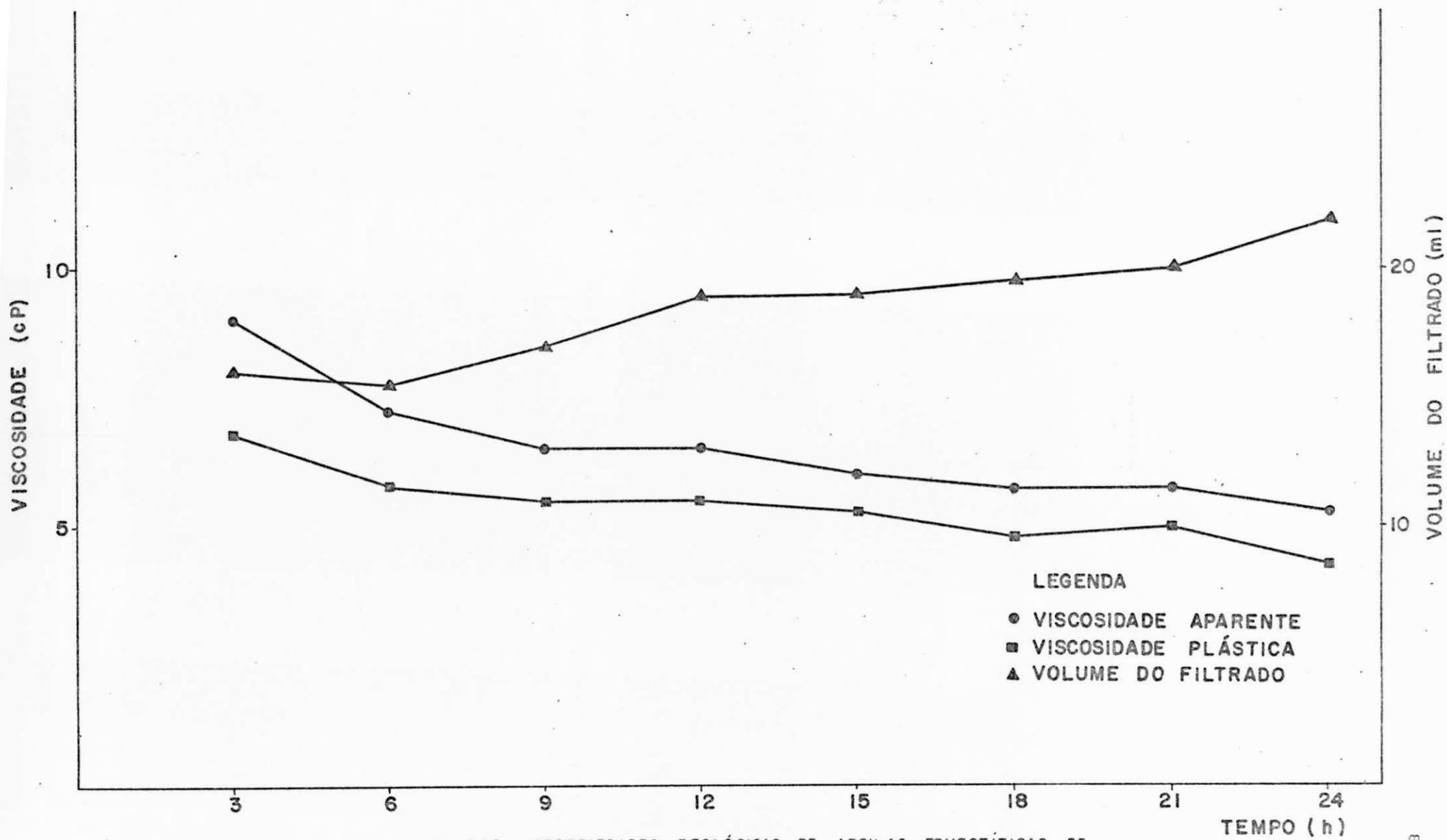


FIGURA 4.40 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE COR VERMELHA, TRATADAS COM 100meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 70%UR E 70°C.

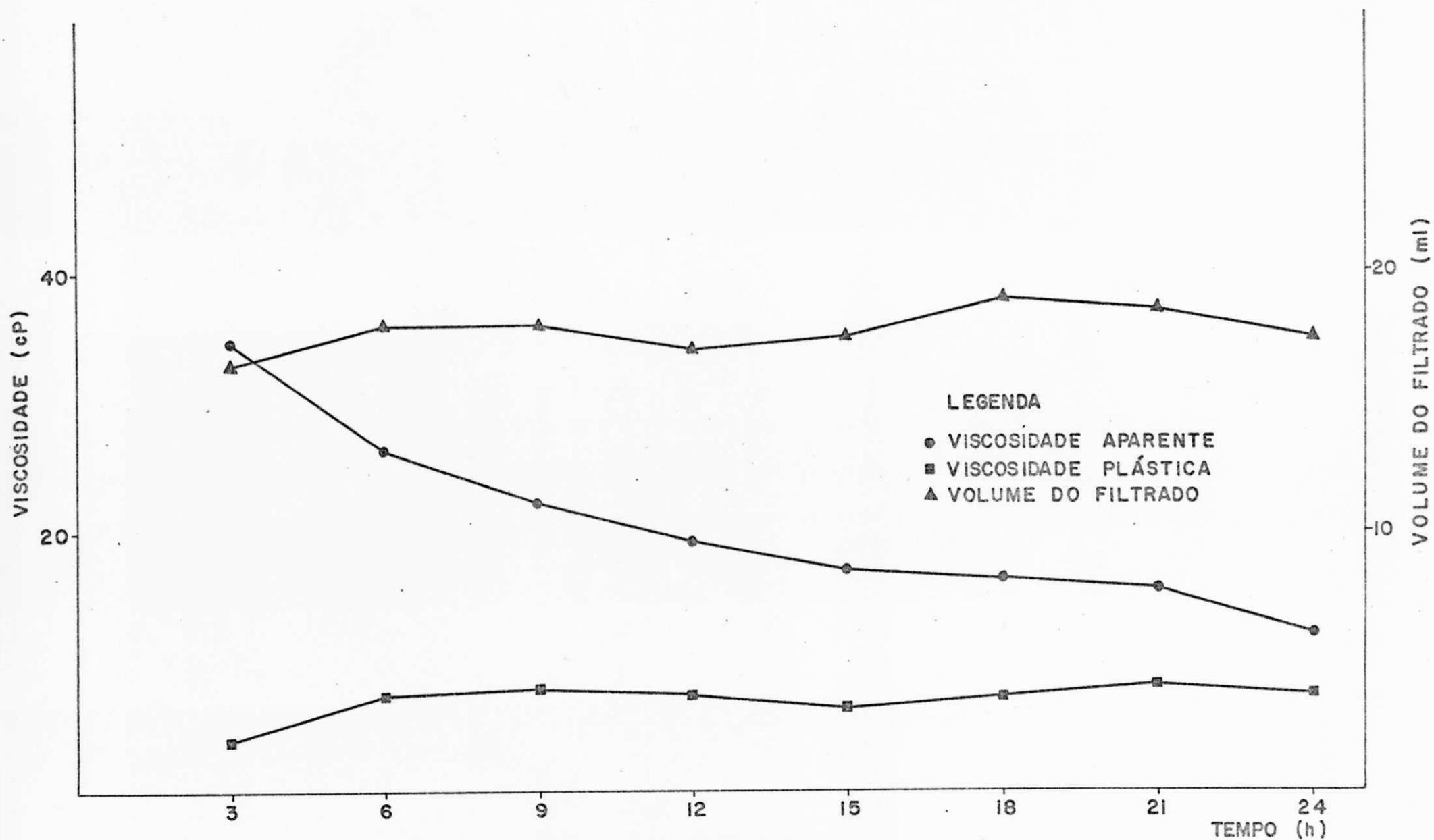


FIGURA 4.41 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERDE CLARA, TRATADAS COM 100meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 70% UR E 70°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	5,8	5,0	20,5
VERDE-CLARA		21,4	7,8	17,5
VERMELHA	6	4,7	4,0	27,0
VERDE-CLARA		15,5	6,8	18,0
VERMELHA	9	4,3	3,5	33,0
VERDE-CLARA		10,7	7,0	20,0
VERMELHA	12	4,5	4,0	33,0
VERDE-CLARA		9,0	7,0	21,0
VERMELHA	15	4,3	3,5	35,0
VERDE-CLARA		7,7	6,0	22,5
VERMELHA	18	4,0	3,0	37,5
VERDE-CLARA		6,9	5,5	23,5
VERMELHA	21	4,0	3,5	38,5
VERDE-CLARA		6,7	5,5	25,0
VERMELHA	24	4,0	3,5	40,0
VERDE-CLARA		6,7	5,5	26,5

Tabela 4.21 - Propriedades reológicas de argilas esmectínicas de Boa Vista - PB, tratadas com 100meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 70%UR e 90°C.

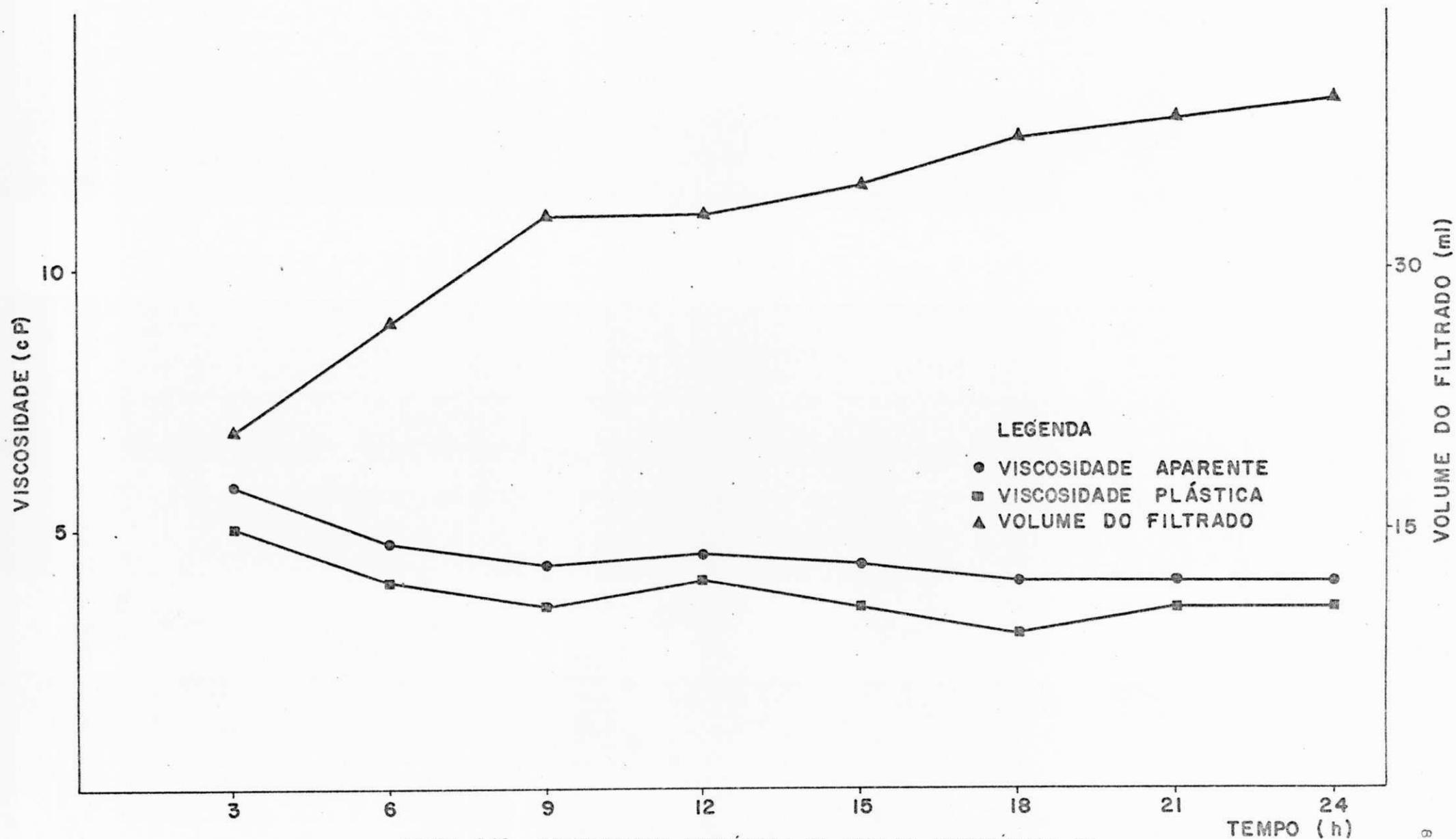


FIGURA 4.42 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE COR VERMELHA TRATADAS COM 100meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 70% UR E 90°C.

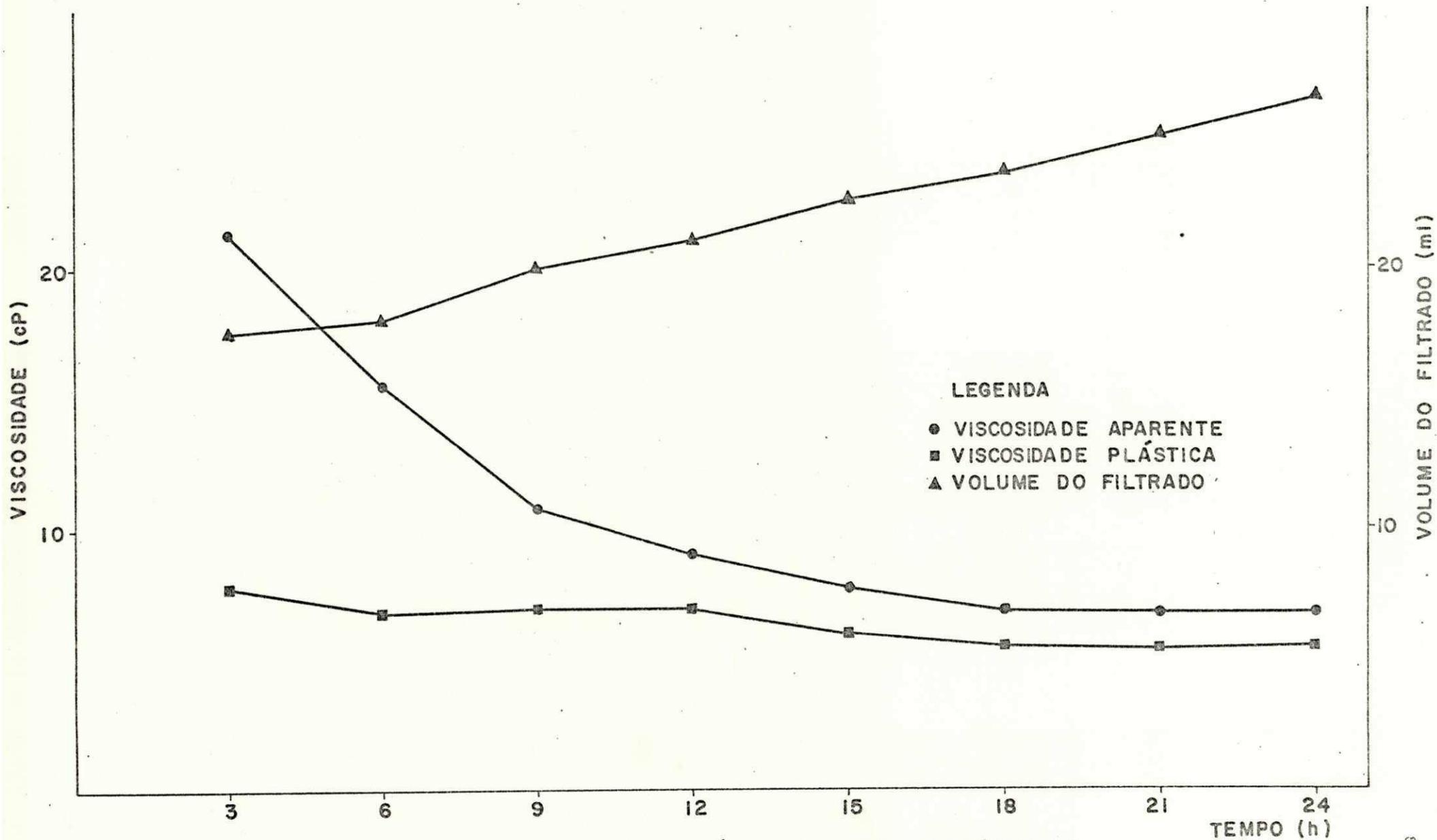


FIGURA 4.43 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERDE CLARA, TRATADAS COM 100meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 70% UR E 90°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	11,1	7,5	16,0
VERDE-CLARA		34,6	2,5	17,5
VERMELHA	6	7,7	6,3	17,0
VERDE-CLARA		28,6	6,5	17,5
VERMELHA	9	6,3	5,3	20,0
VERDE-CLARA		23,3	7,3	15,5
VERMELHA	12	6,2	5,3	20,5
VERDE-CLARA		18,8	7,5	16,5
VERMELHA	15	5,7	5,0	22,0
VERDE-CLARA		17,2	7,3	17,0
VERMELHA	18	5,3	4,0	21,5
VERDE-CLARA		16,2	7,8	17,5
VERMELHA	21	5,2	4,3	22,0
VERDE-CLARA		15,8	7,5	16,5
VERMELHA	24	5,0	4,5	24,5
VERDE-CLARA		14,2	7,8	17,5

Tabela 4.22 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 100meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 50%UR e 70°C.

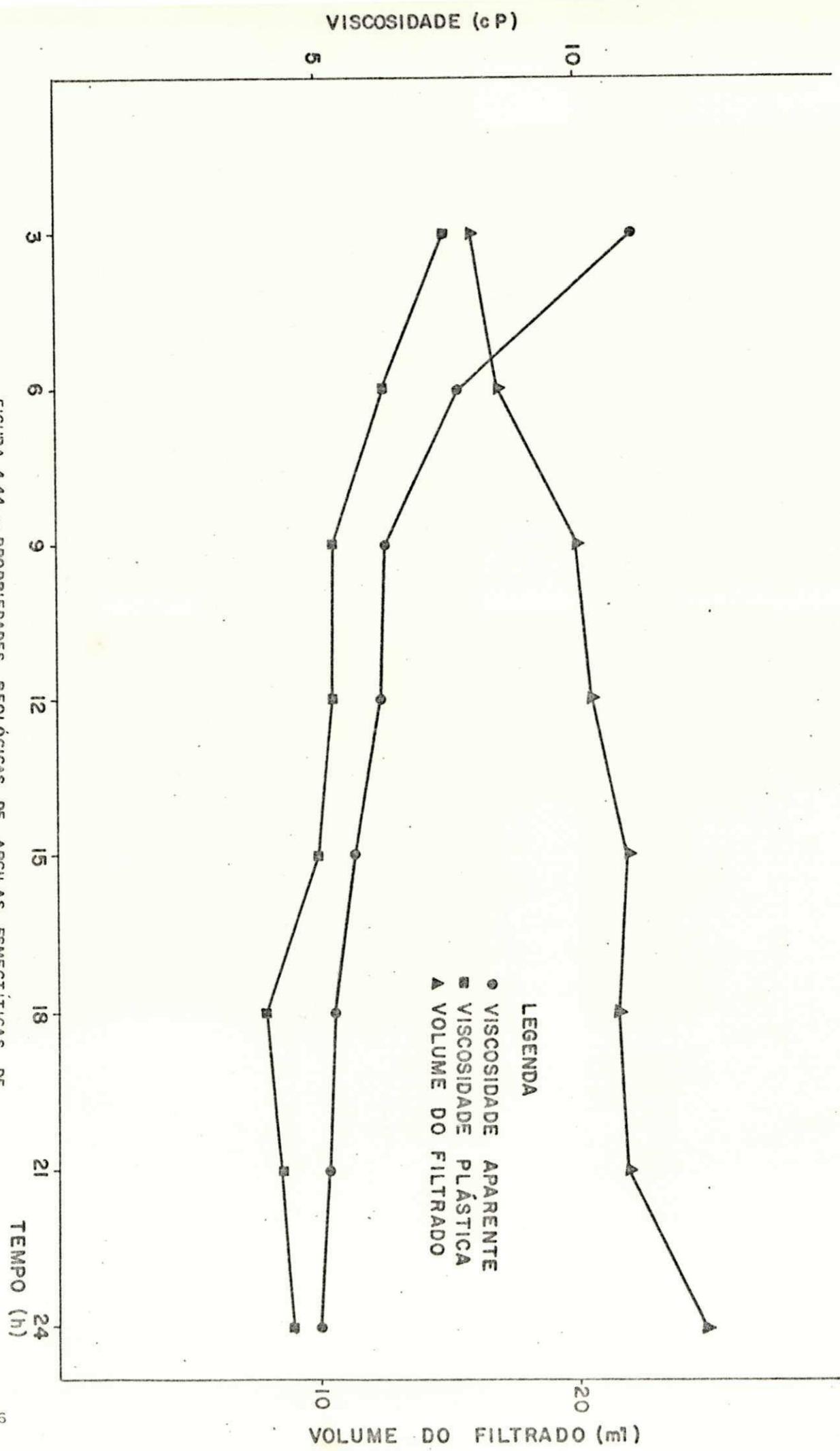


FIGURA 4.44 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍNICAS DE COR VERMELHA TRATADAS COM 100mg/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 50% UR E 70°C.

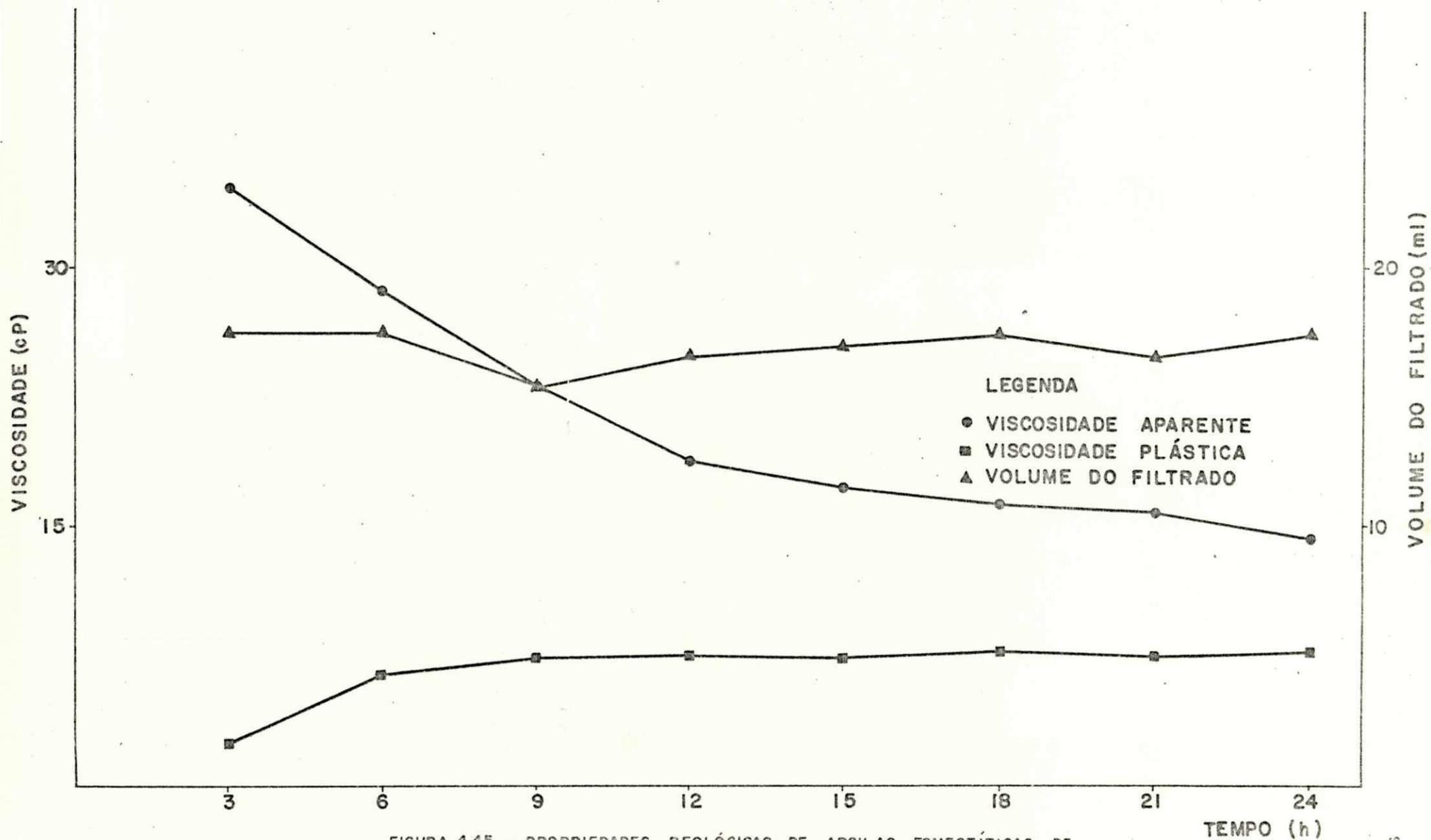


FIGURA 4.45 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 100meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 50% UR E 70°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	9,0	6,8	16,0
VERDE-CLARA		20,0	6,5	18,0
VERMELHA	6	7,2	5,8	15,5
VERDE-CLARA		14,4	8,5	18,5
VERMELHA	9	6,5	5,5	17,0
VERDE-CLARA		10,2	6,8	19,0
VERMELHA	12	6,5	5,5	19,0
VERDE-CLARA		8,5	7,0	20,0
VERMELHA	15	6,0	5,3	19,0
VERDE-CLARA		6,9	5,5	22,0
VERMELHA	18	5,7	4,8	19,5
VERDE-CLARA		6,7	5,5	22,0
VERMELHA	21	5,7	5,0	20,0
VERDE-CLARA		5,8	4,8	23,0
VERMELHA	24	5,3	4,3	22,0
VERDE-CLARA		6,3	5,0	23,0

Tabela 4.23 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 100meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 50%UR e 90°C.

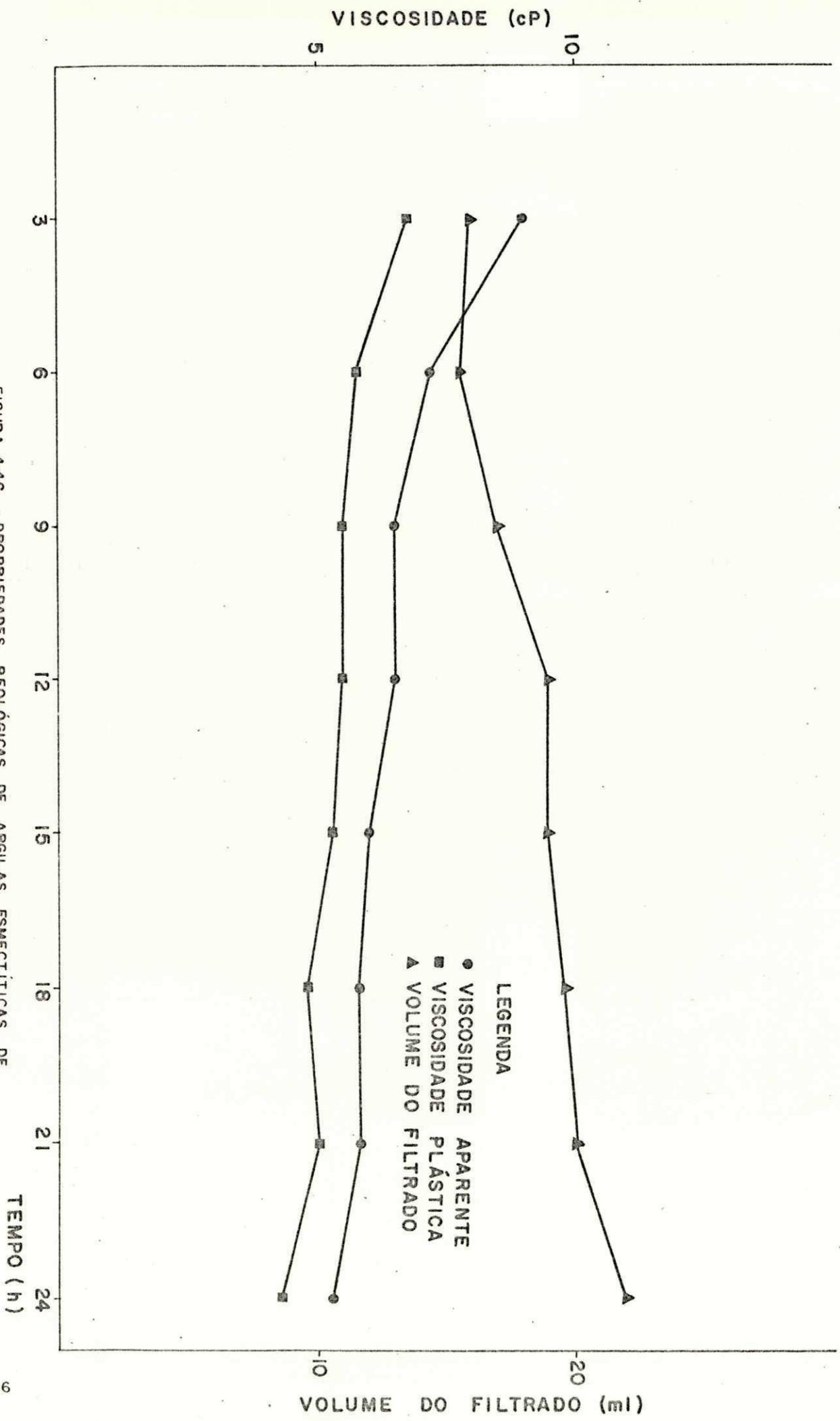


FIGURA 4.46 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE COR VERMELHA TRATADAS COM 100mg/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 50%UR E 90°C.

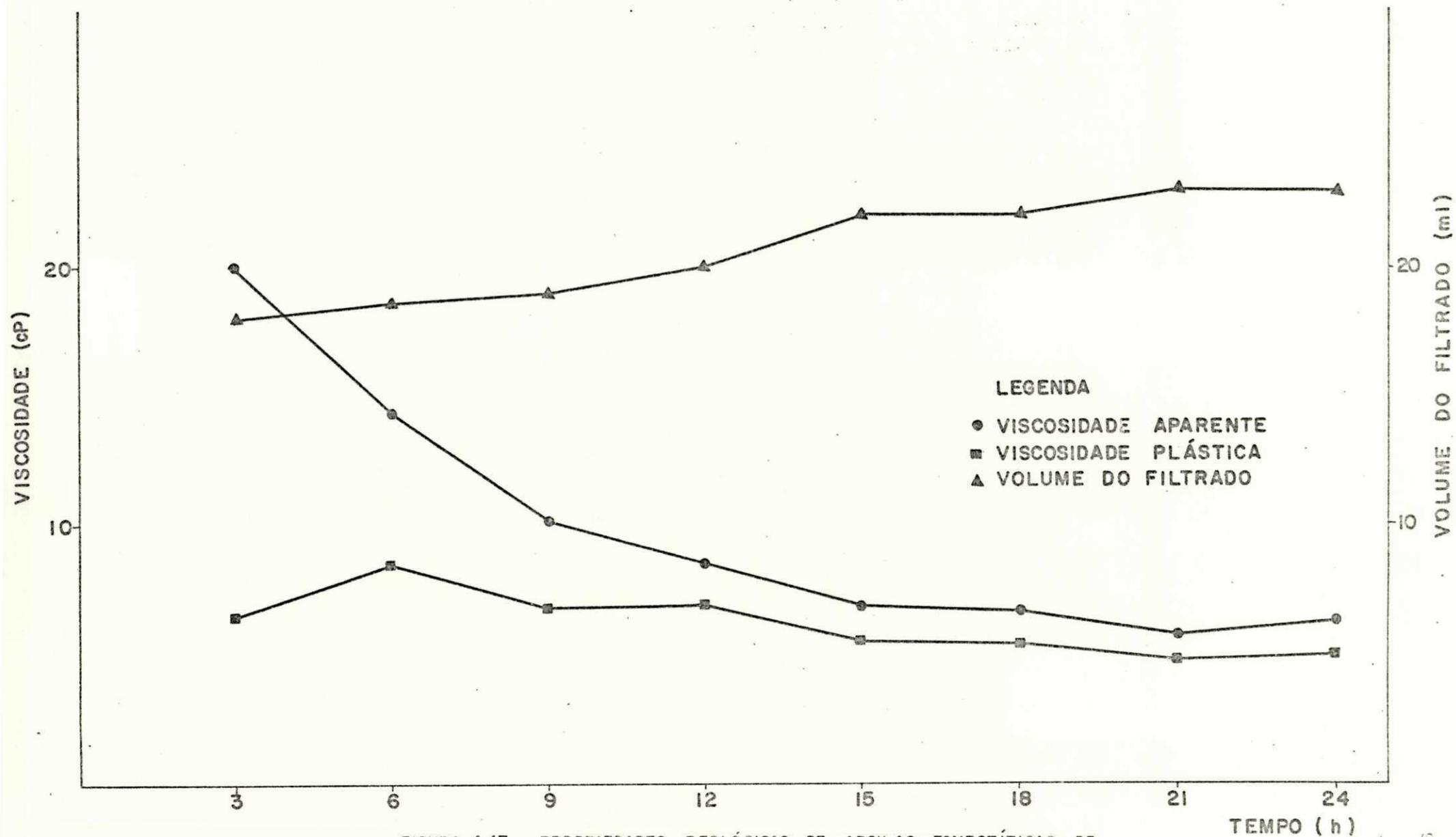


FIGURA 4.47 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 100meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 50%UR E 90°C.

sentados nas Tabelas 4.22 e 4.23 e Figuras 4.44, 4.45, 4.46 e 4.47.

As amostras verde-clara apresentaram propriedades reológicas dentro das especificações pela Petrobrás à 50%UR e 70°C após 6h de cura e à 50%UR e 90°C com 3h de cura. Observou-se que com o aumento da temperatura as viscosidades aparente e plástica diminuíram e o volume do filtrado aumentou na maioria dos casos e com o aumento do tempo de cura a viscosidade aparente diminuiu, o volume do filtrado aumentou e a viscosidade plástica não apresentou tendência definida. As amostras vermelhas não apresentaram resultados satisfatórios em nenhuma das condições acima citadas.

Estes resultados quando comparados com os obtidos nas amostras tratadas com 50 meq/100g de carbonato de sódio e submetidos aos mesmos tratamentos de cura (Tabela 4.13 e 4.14) apresentaram o mesmo comportamento com o efeito da temperatura e com o tempo de cura, porém o aumento da concentração do carbonato de sódio para 100 meq/100g melhorou os valores do volume do filtrado à 50%UR e 70°C, adquirindo desta forma valores dentro das especificações da Petrobrás (8).

Os resultados para amostras tratadas com 150 meq/100g de carbonato de sódio e submetidas à cura em câmara climatizada pelo segundo processo, segundo a Figura 3.2 quando submetidas à cura à 90%UR e 40°C, 50°C, 70°C e 90°C estão apresentados nas Tabelas 4.24, 4.25, 4.26 e 4.27 e Figuras 4.48, 4.49, 4.50, 4.51, 4.52, 4.53, 4.54 e 4.55.

As amostras de cor vermelha nestas condições de cura apresentaram somente à 90%UR e 40°C até 6h de cura valores das viscosidades aparente e plástica e do volume do filtrado dentro das especificações (8). Com o aumento da temperatura e do tempo de cura a viscosidade aparente diminuiu, o volume do filtrado aumentou e a viscosidade plástica diminuiu a partir de 50°C.

As amostras verde-clara apresentaram-se à 90%UR e 40°C floculadas, porém com o aumento do tempo de cura até 24h a viscosidade aparente diminuiu a partir de 15h e a viscosidade plástica aumentou, obtendo-se desta forma valores dentro das especificações. Com o aumento da temperatura para 50°C observou-se também um decréscimo na viscosidade aparente e aumento da viscosidade plástica, a partir de 6h de cura fazendo com que após 15h de cura todas as

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	22,8	6,0	14,0
VERDE-CLARA		40,0	0,8	13,5
VERMELHA	6	15,3	6,0	14,0
VERDE-CLARA		44,9	0,5	14,0
VERMELHA	9	12,2	6,8	14,5
VERDE-CLARA		47,4	0,5	15,0
VERMELHA	12	9,8	6,5	15,0
VERDE-CLARA		53,8	0,5	13,0
VERMELHA	15	8,9	6,3	16,0
VERDE-CLARA		48,4	0,8	13,5
VERMELHA	18	8,7	6,0	16,0
VERDE-CLARA		42,3	1,0	14,0
VERMELHA	21	8,3	6,0	16,0
VERDE-CLARA		36,4	2,3	13,5
VERMELHA	24	8,0	6,0	15,5
VERDE-CLARA		29,5	5,0	13,5

Tabela 4.24 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 150meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada a 90%UR e 40°C.

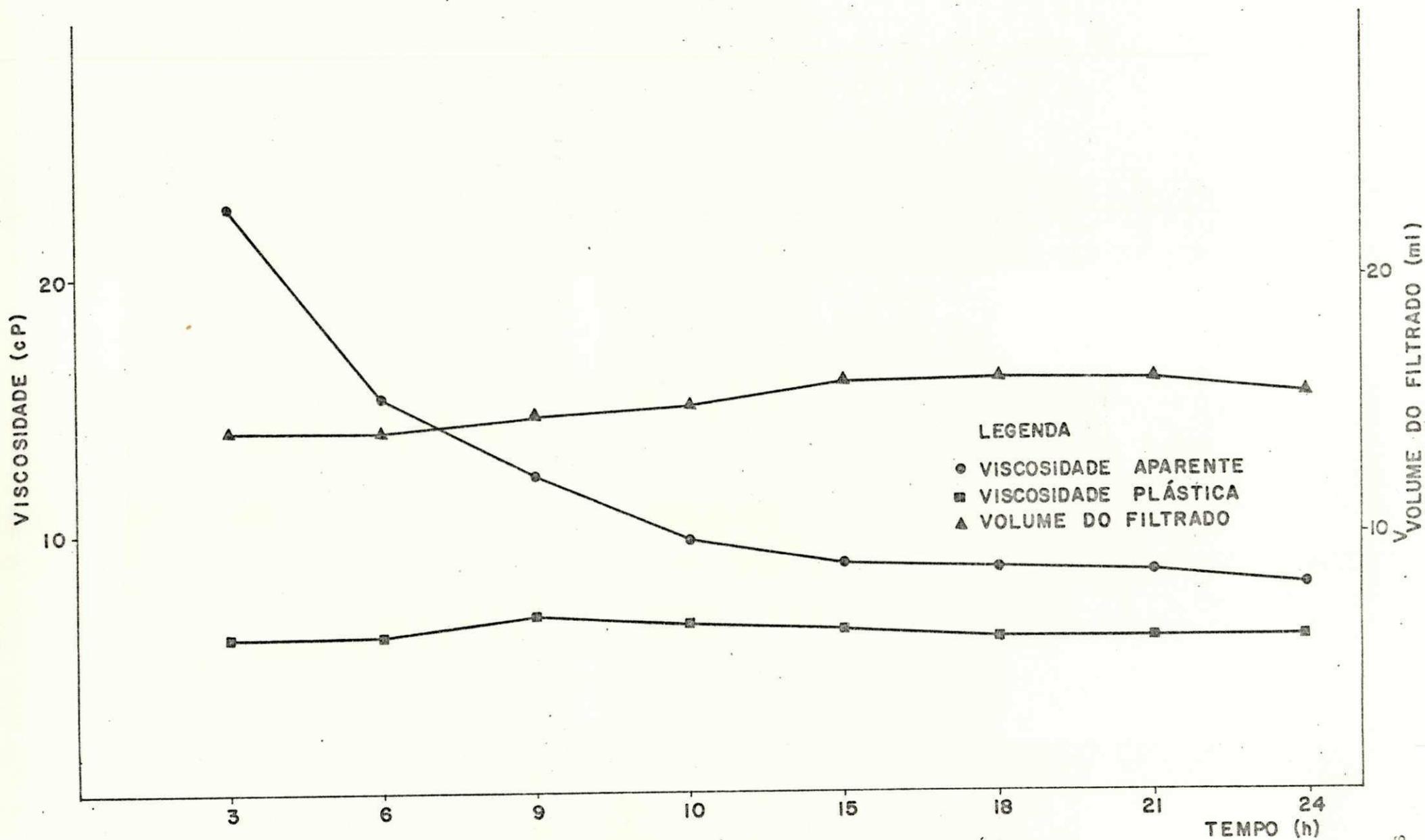


FIGURA 4.48 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERMELHA TRATADAS COM 150meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90% UR E 40°C.

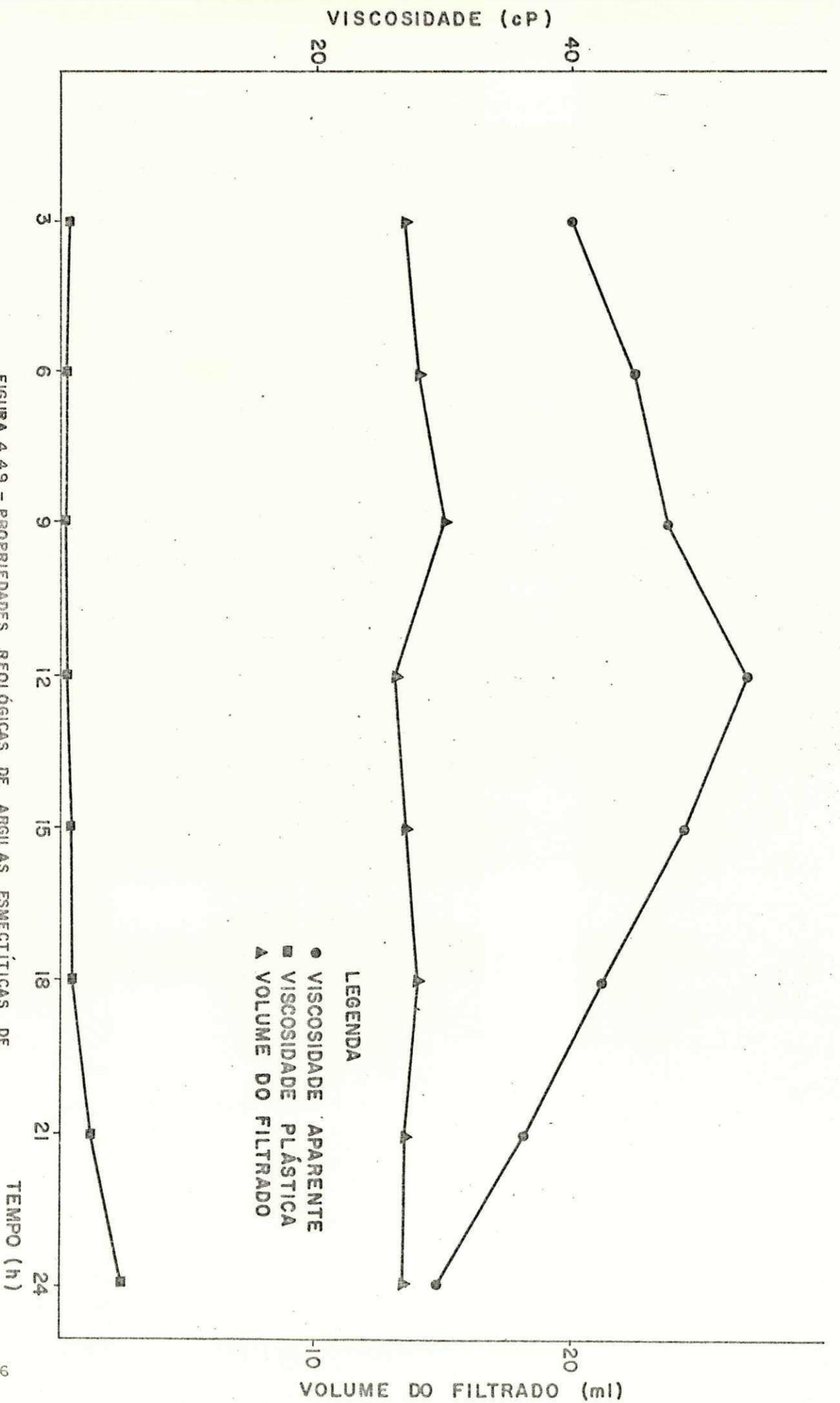


FIGURA 4.49 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM ISOMEQ/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90% UR E 40°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	11,9	6,5	15,5
VERDE-CLARA		45,2	0,8	15,0
VERMELHA	6	9,5	6,0	16,0
VERDE-CLARA		40,5	1,3	16,5
VERMELHA	9	8,7	5,8	17,0
VERDE-CLARA		38,3	1,8	15,0
VERMELHA	12	8,5	6,0	15,5
VERDE-CLARA		36,8	2,5	16,0
VERMELHA	15	8,2	6,0	15,0
VERDE-CLARA		31,5	4,0	15,5
VERMELHA	18	7,7	5,8	15,0
VERDE-CLARA		31,6	5,0	16,0
VERMELHA	21	7,5	5,5	15,0
VERDE-CLARA		28,5	6,0	15,5
VERMELHA	24	7,0	5,0	16,0
VERDE-CLARA		26,7	7,0	15,5

Tabela 4.25 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 150meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 90%UR e 50°C.

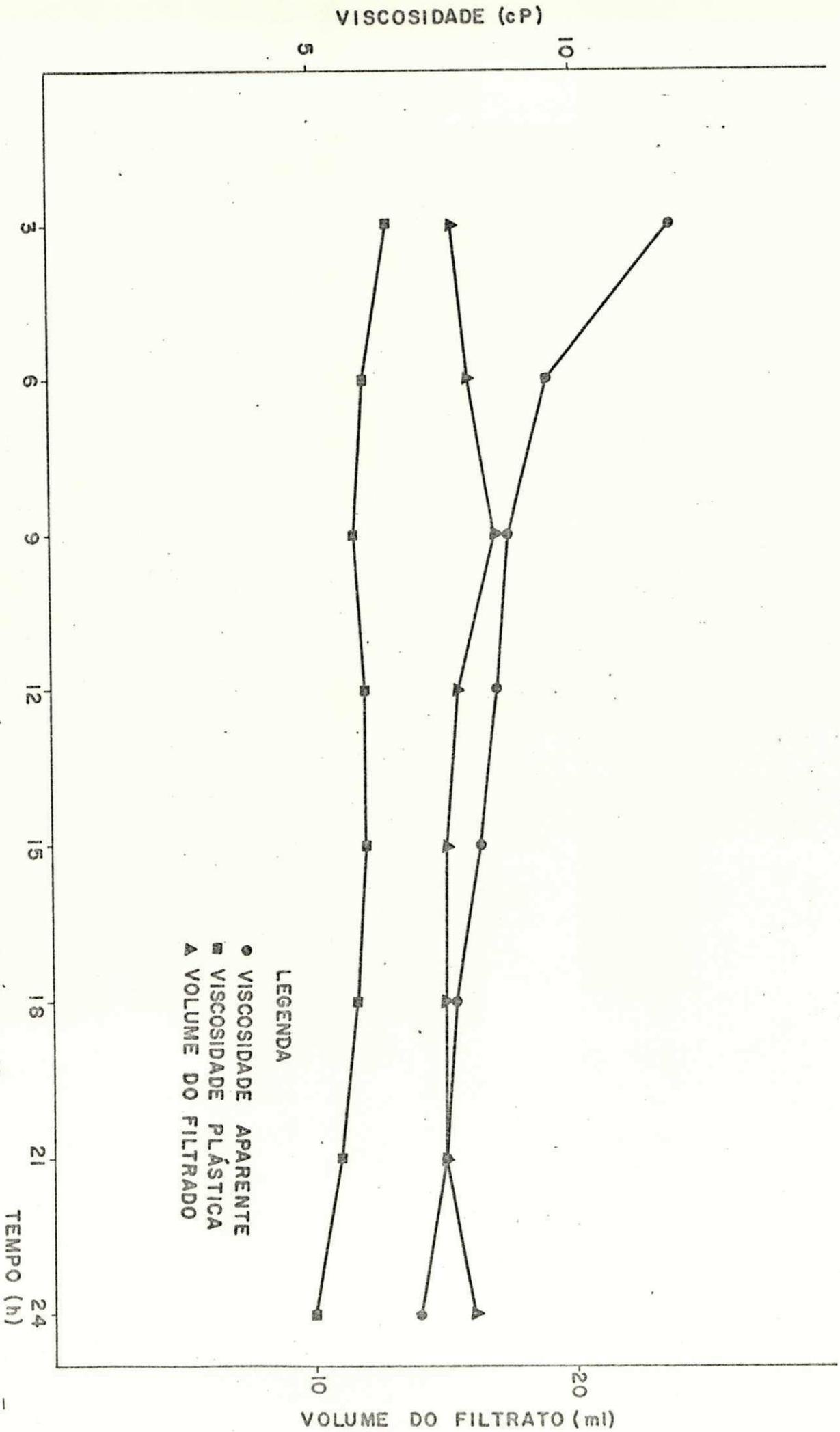


FIGURA 4.50 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍNICAS DE COR VERMELHA, TRATADAS COM ISOMEQ/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 90%UR E 50°C.

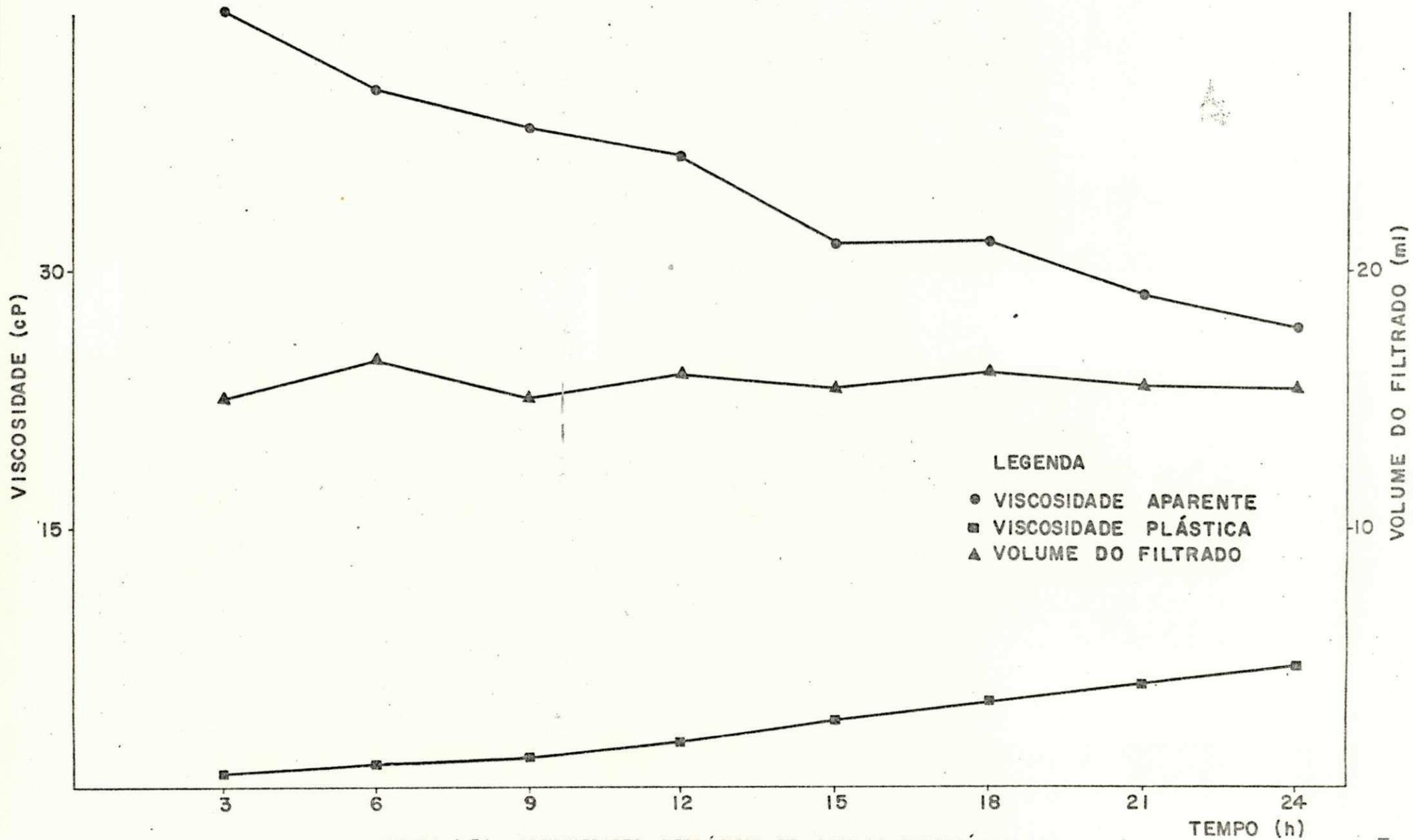


FIGURA 4.51 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 150meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90%UR E 50°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	6,5	5,5	18,0
VERDE-CLARA		27,7	3,3	17,0
VERMELHA	6	5,5	4,8	18,5
VERDE-CLARA		17,4	5,8	18,0
VERMELHA	9	5,3	4,5	19,0
VERDE-CLARA		13,6	6,8	17,5
VERMELHA	12	5,7	4,7	20,0
VERDE-CLARA		11,3	7,3	15,0
VERMELHA	15	5,0	3,7	22,0
VERDE-CLARA		8,7	6,0	21,0
VERMELHA	18	4,8	3,7	23,0
VERDE-CLARA		7,7	5,5	20,5
VERMELHA	21	4,8	3,7	22,5
VERDE-CLARA		7,3	5,3	23,0
VERMELHA	24	4,8	4,0	23,0
VERDE-CLARA		6,9	5,5	22,5

Tabela 4.26 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 150meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada a 90%UR e 70°C.

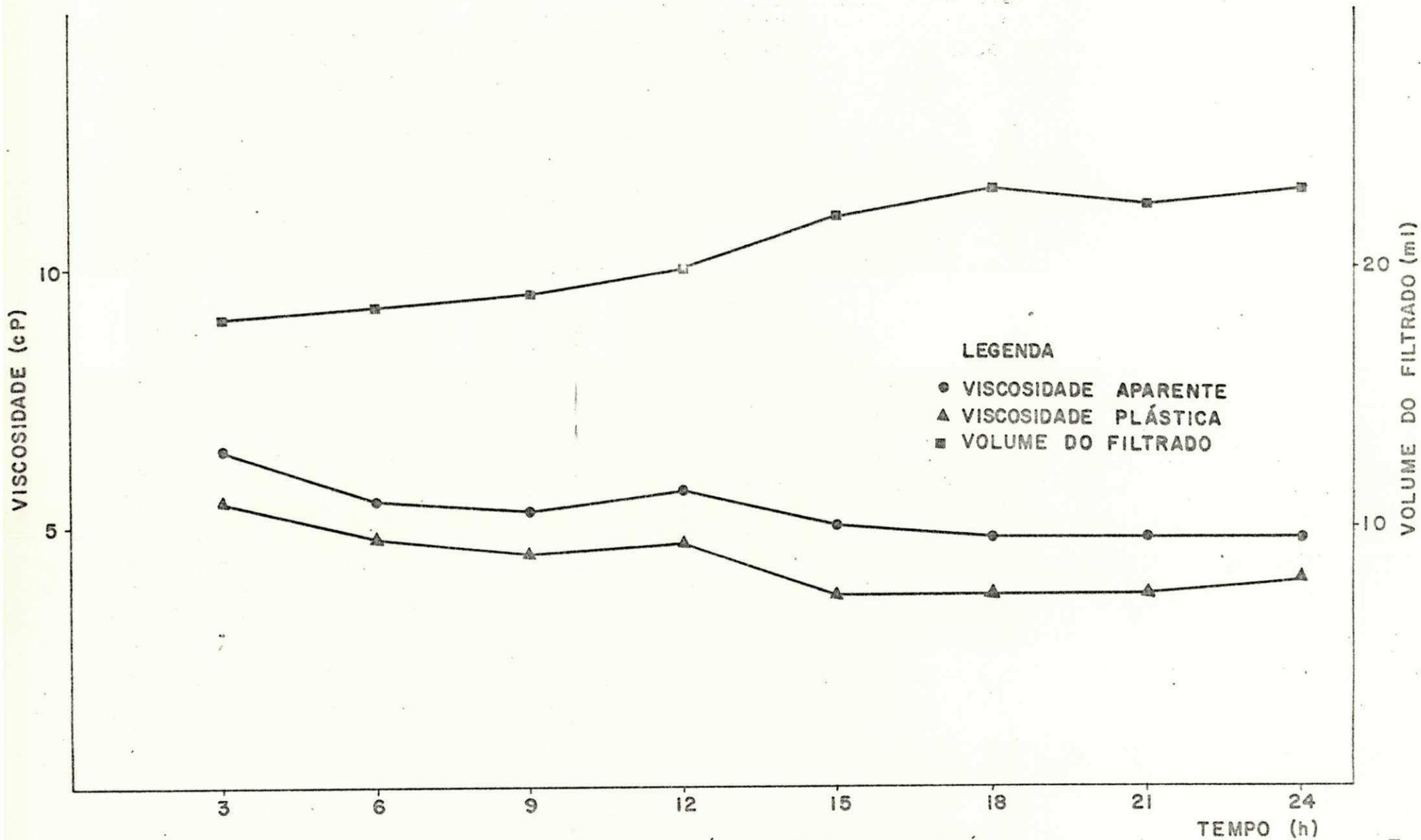


FIGURA 4.52 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE COR VERMELHA TRATADAS COM 150meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90% UR E 70°C.

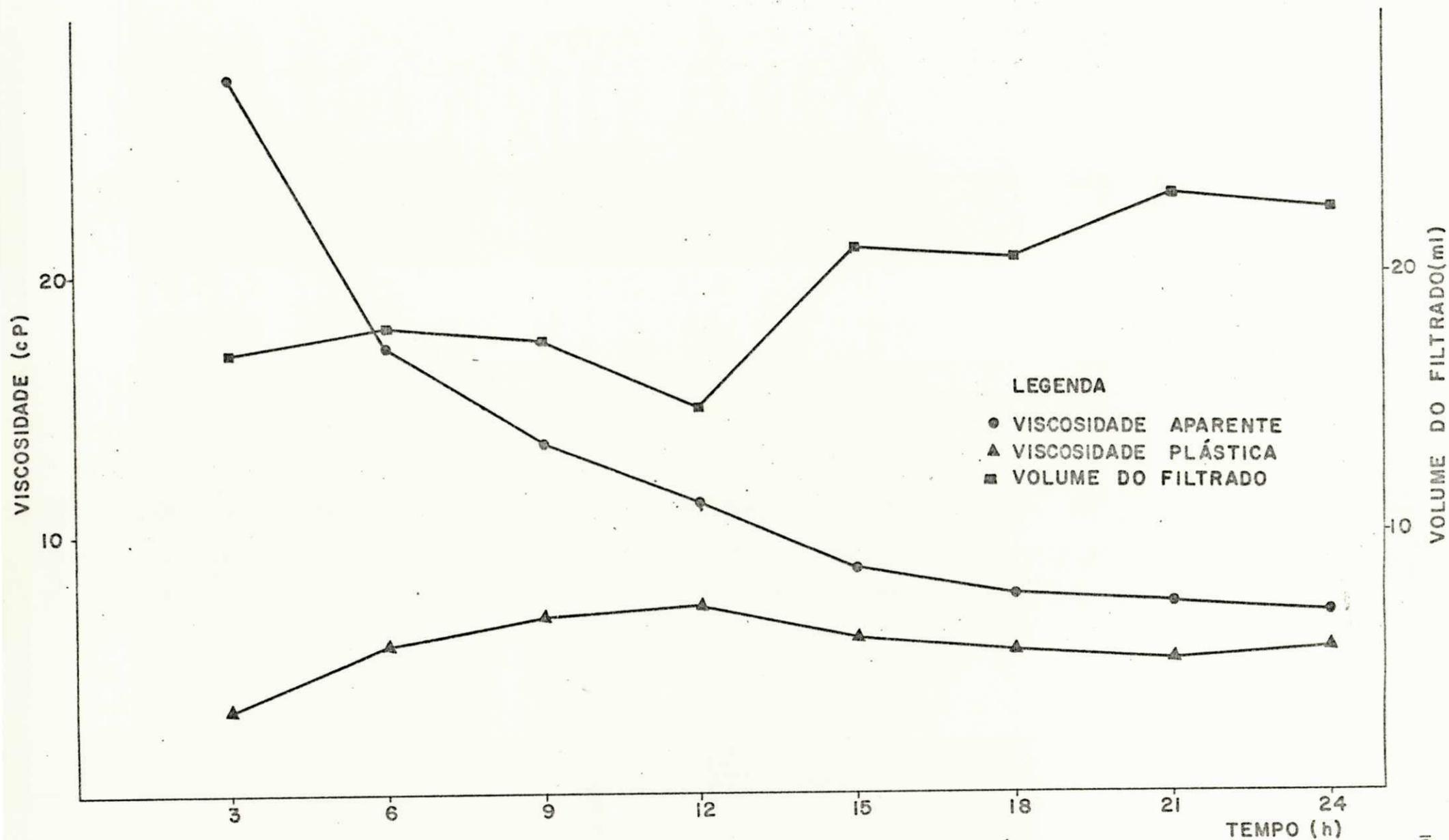


FIGURA 4.53 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 150meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90%UR E 70°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	5,0	4,0	22,0
VERDE-CLARA		8,6	6,3	16,5
VERMELHA	6	4,5	4,0	27,0
VERDE-CLARA		7,4	6,0	16,0
VERMELHA	9	4,3	3,5	31,0
VERDE-CLARA		7,3	5,8	18,0
VERMELHA	12	4,5	4,0	38,0
VERDE-CLARA		6,2	5,0	21,0
VERMELHA	15	4,3	3,5	38,0
VERDE-CLARA		5,8	4,5	21,5
VERMELHA	18	4,0	3,0	38,5
VERDE-CLARA		5,4	4,5	23,0
VERMELHA	21	4,2	3,3	40,0
VERDE-CLARA		5,4	4,3	24,0
VERMELHA	24	3,9	3,3	41,0
VERDE-CLARA		5,5	4,5	24,0

Tabela 4.27 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 150meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 90%UR e 90°C.

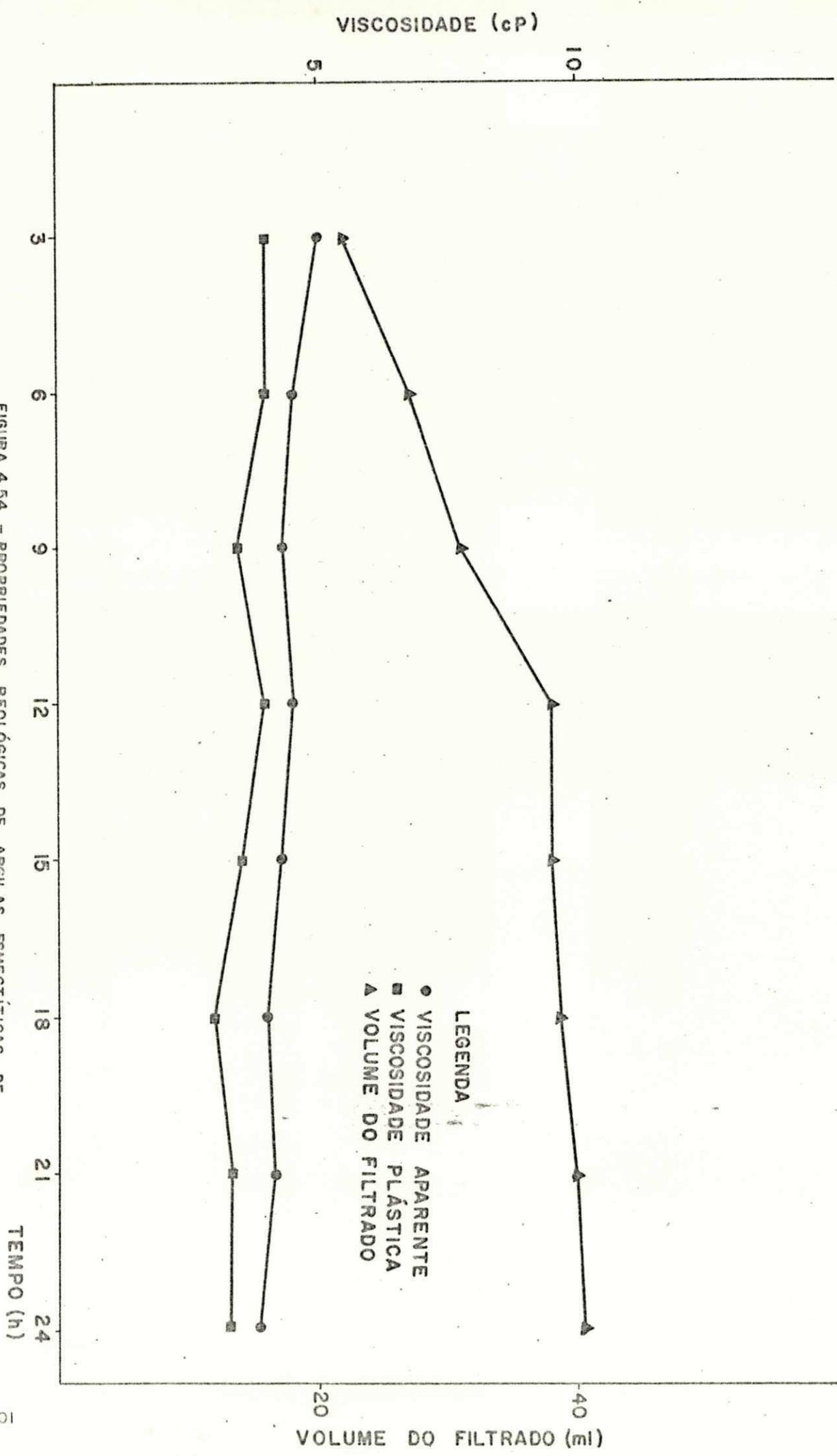


FIGURA 4.54 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERMELHA TRATADAS COM 150mg/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 90°C.

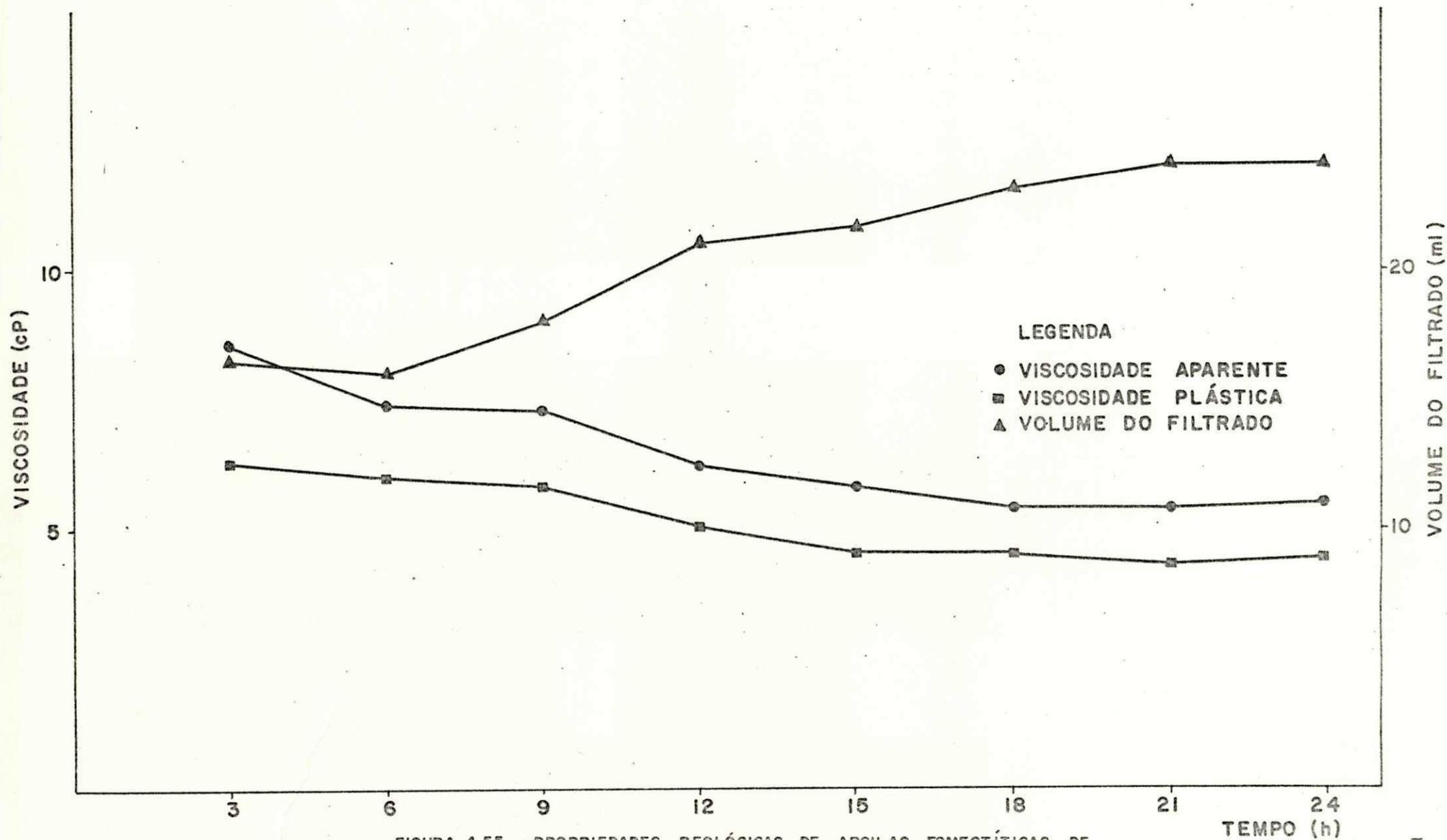


FIGURA 4.55 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 150meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90%UR E 90°C.

propriedades reológicas estejam dentro das especificações. A 70°C observou-se que com no máximo de 6h de cura foram atingido valores dentro das especificações. Com estes resultados podemos notar que a cinética de troca de cátions é acelerada principalmente com a temperatura seguida pelo tempo de cura.

O efeito do aumento da concentração do carbonato de sódio de 50 meq/100g para 150 meq/100g das amostras submetidas aos mesmos processos de cura mostrou que as de cor verde-clara atingiram máxima viscosidade aparente quando tratadas com 100 meq/100g de carbonato de sódio e observou-se também que estas argilas apresentaram melhores comportamentos reológicos quando tratadas com 50 meq/100g de carbonato de sódio até no máximo 70°C. Nas amostras vermelhas a tendência da viscosidade aparente foi decrescente com o tempo de cura e a plástica no intervalo de 3h à 24h variou pouco em cada ciclo.

Os resultados após cura em câmara climatizada à 70%UR e 50°C, 70°C e 90°C nas amostras tratadas com 150 meq/100g de carbonato de sódio, segundo o fluxograma mostrado na Figura 3.2, estão apresentados nas Tabelas 4.28, 4.29 e 4.30 e Figuras 4.56, 4.57, 4.58, 4.59, 4.60 e 4.61.

As amostras de cor vermelha nestas condições de cura não apresentaram propriedades adequadas para uso como agentes tixotrópicos em fluídos de perfuração. Com o aumento da temperatura as viscosidades aparente e plástica diminuíram enquanto que o volume do filtrado aumentou.

As amostras verde-clara que à 70%UR e 50°C estão na forma floculadas durante as primeiras horas de cura, com o aumento do tempo de cura a viscosidade aparente diminuiu de 49,8 cP com 3h para 29,7 cP após 24h de cura, porém a viscosidade plástica aumentou pouco, não atingindo o valor especificado pela Petrobrás (8). Com o aumento da temperatura observou-se que a viscosidade aparente também diminuiu e a plástica aumentou até 6h. A 70%UR e 70°C até 9h de cura e à 70%UR e 90°C até 3h de cura obtivemos valores e propriedades reológicas dentro das especificadas.

Com o aumento da concentração de 50 meq/100g (Tabelas 4.10, 4.11 e 4.12) para 150 meq/100g de carbonato de sódio (Tabelas 4.28, 4.29 e 4.30) observou-se para as amostras verde-clara que as propriedades reológicas foram prejudicadas, a viscosidade

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	10,0	6,5	14,5
VERDE-CLARA		49,8	1,7	16,0
VERMELHA	6	7,9	5,8	16,0
VERDE-CLARA		46,8	1,0	15,5
VERMELHA	9	7,2	5,5	16,5
VERDE-CLARA		38,8	2,0	15,0
VERMELHA	12	9,7	7,0	15,0
VERDE-CLARA		38,7	2,0	15,5
VERMELHA	15	8,8	6,5	15,5
VERDE-CLARA		36,9	2,5	16,0
VERMELHA	18	8,0	6,0	16,5
VERDE-CLARA		33,9	2,5	17,0
VERMELHA	21	7,7	6,3	16,0
VERDE-CLARA		32,3	3,7	16,0
VERMELHA	24	7,1	5,5	16,5
VERDE-CLARA		29,7	3,7	17,0

Tabela 4.28 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB tratadas com 150meq/100 g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 70%UR e 50°C.

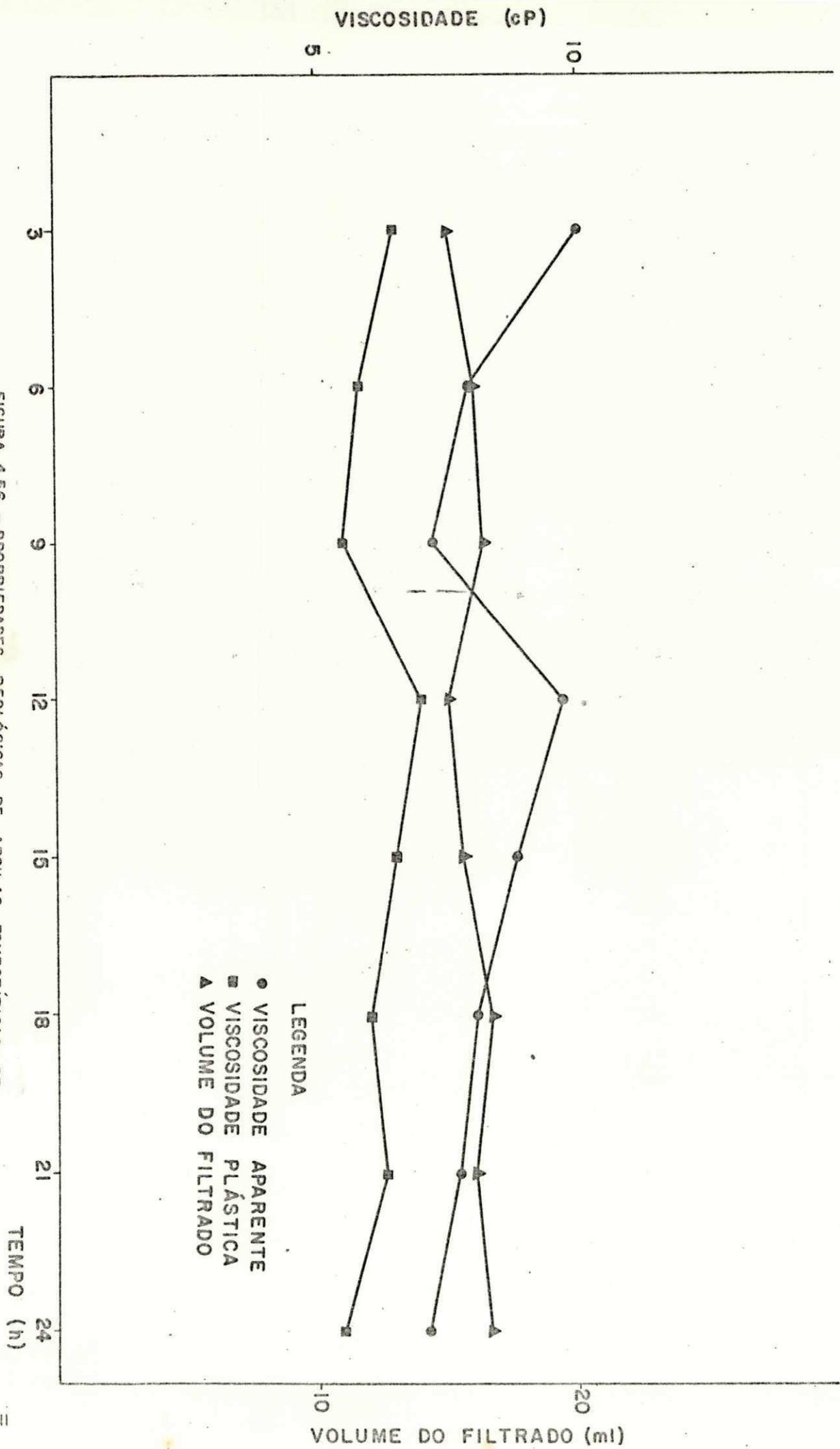


FIGURA 4.56 -- PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍNICAS DE COR VERMELHA TRATADAS COM $\text{IBOMeq}/100\text{g}$ DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À $70\% \text{UR}$ E 50°C .

LEGENDA
 ● VISCOSIDADE APARENTE
 ■ VISCOSIDADE PLÁSTICA
 ▲ VOLUME DO FILTRADO

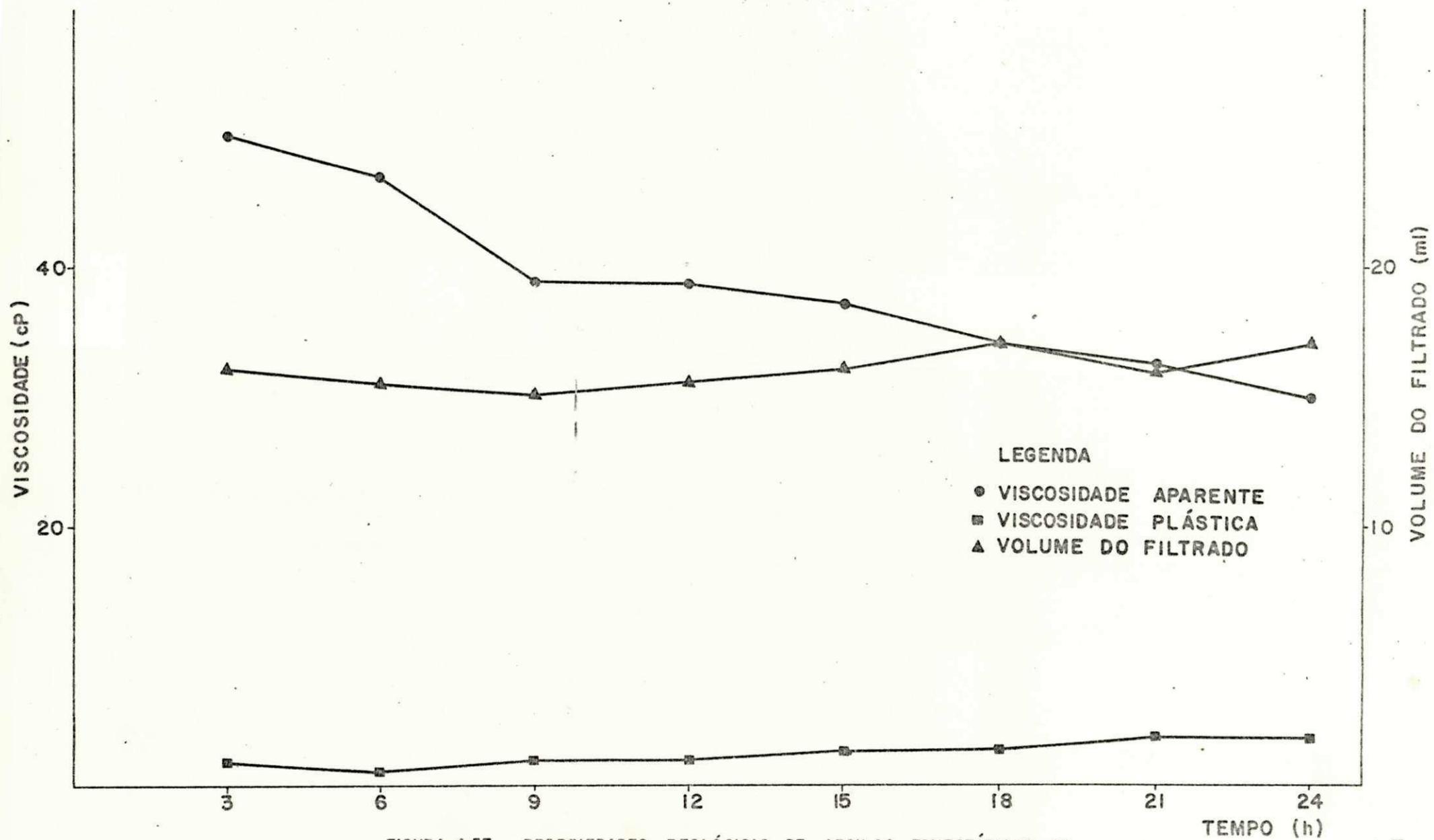


FIGURA 4.57 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 150meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 70%UR E 50°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	6,8	5,3	18,0
VERDE-CLARA		32,3	4,0	13,0
VERMELHA	6	5,8	4,7	19,0
VERDE-CLARA		24,5	5,5	16,0
VERMELHA	9	5,4	4,3	19,5
VERDE-CLARA		21,9	7,5	16,0
VERMELHA	12	5,7	4,5	22,0
VERDE-CLARA		18,5	7,3	19,0
VERMELHA	15	5,3	4,0	23,5
VERDE-CLARA		16,8	7,5	19,0
VERMELHA	18	5,5	4,5	25,0
VERDE-CLARA		15,0	6,8	21,0
VERMELHA	21	5,2	4,0	28,0
VERDE-CLARA		13,8	6,8	20,0
VERMELHA	24	4,7	4,0	31,0
VERDE-CLARA		12,1	7,3	23,0

Tabela 4.29 - Propriedades reológicas de argilas esmectíticas de Boa Vista - PB, tratadas com 150meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 70%UR e 70°C.

VISCOSIDADE (cP)

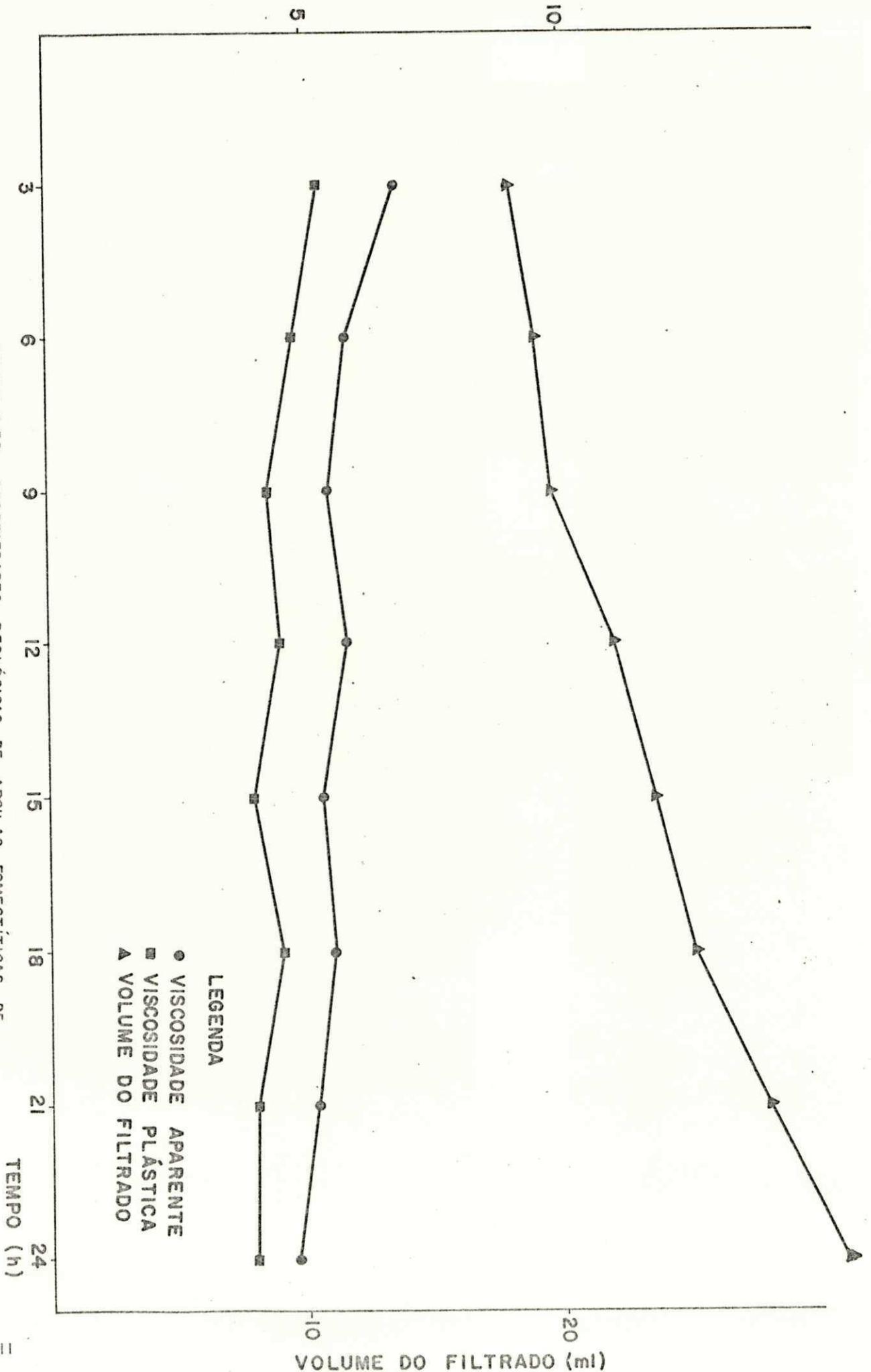


FIGURA 4.58 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE COR VERMELHA TRATADAS COM ISOHQ/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 70°C.

LEGENDA
● VISCOSIDADE APARENTE
■ VISCOSIDADE PLÁSTICA
▲ VOLUME DO FILTRADO

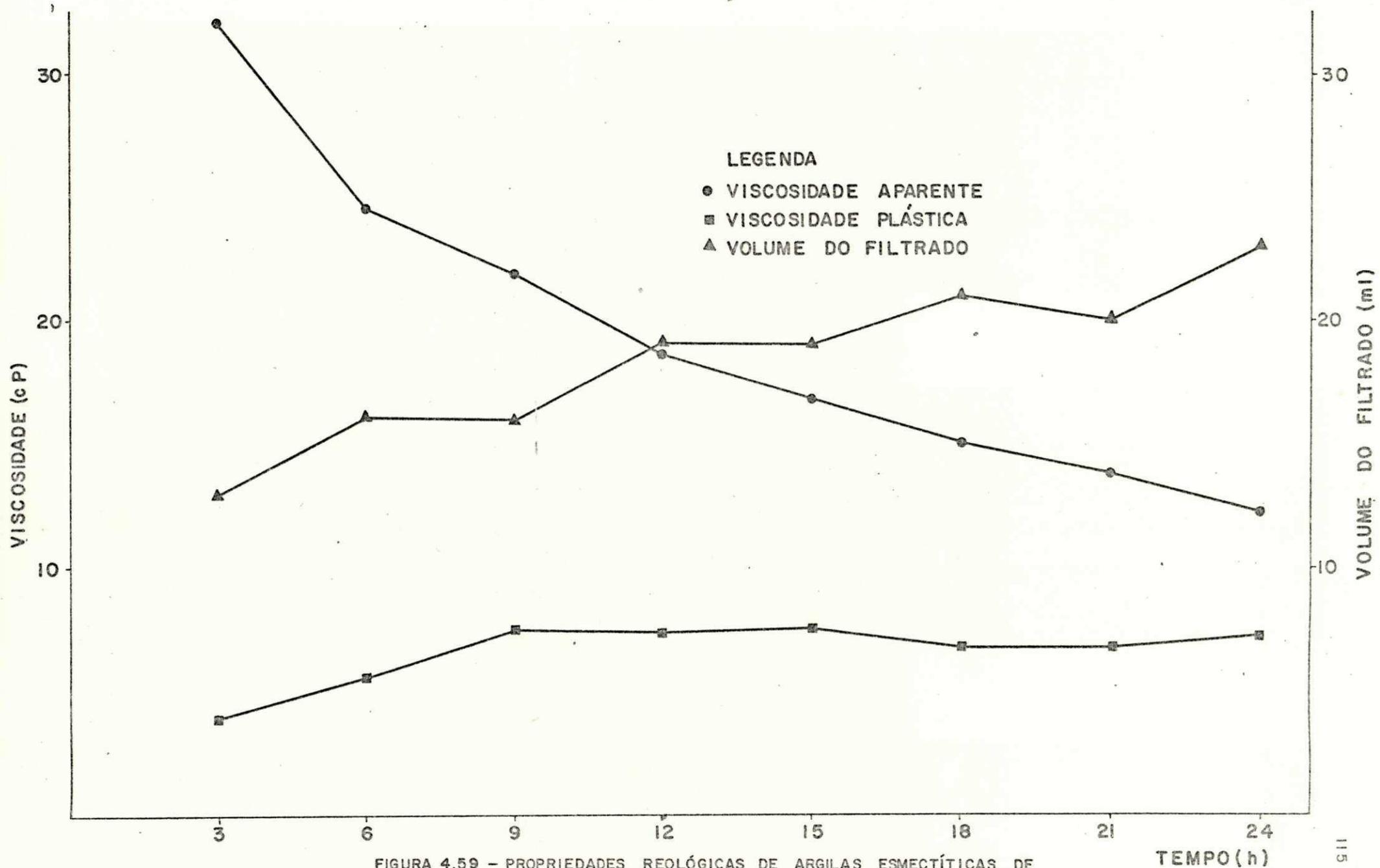


FIGURA 4.59 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERDE CLARA, TRATADAS COM 150meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 70% UR E 70°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	5,7	4,8	19,5
VERDE-CLARA		16,8	7,3	16,0
VERMELHA	6	4,4	3,5	30,5
VERDE-CLARA		12,3	7,0	19,5
VERMELHA	9	4,4	3,5	38,0
VERDE-CLARA		11,0	7,0	20,0
VERMELHA	12	4,5	3,8	45,0
VERDE-CLARA		7,2	5,8	25,0
VERMELHA	15	4,0	3,0	50,0
VERDE-CLARA		6,8	5,3	24,5
VERMELHA	18	3,9	3,3	52,0
VERDE-CLARA		5,8	4,3	28,0
VERMELHA	21	3,7	2,8	54,0
VERDE-CLARA		5,7	4,5	27,0
VERMELHA	24	4,0	3,5	52,0
VERDE-CLARA		5,3	4,0	30,0

Tabela 4.30 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 150meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 70%UR e 90°C.

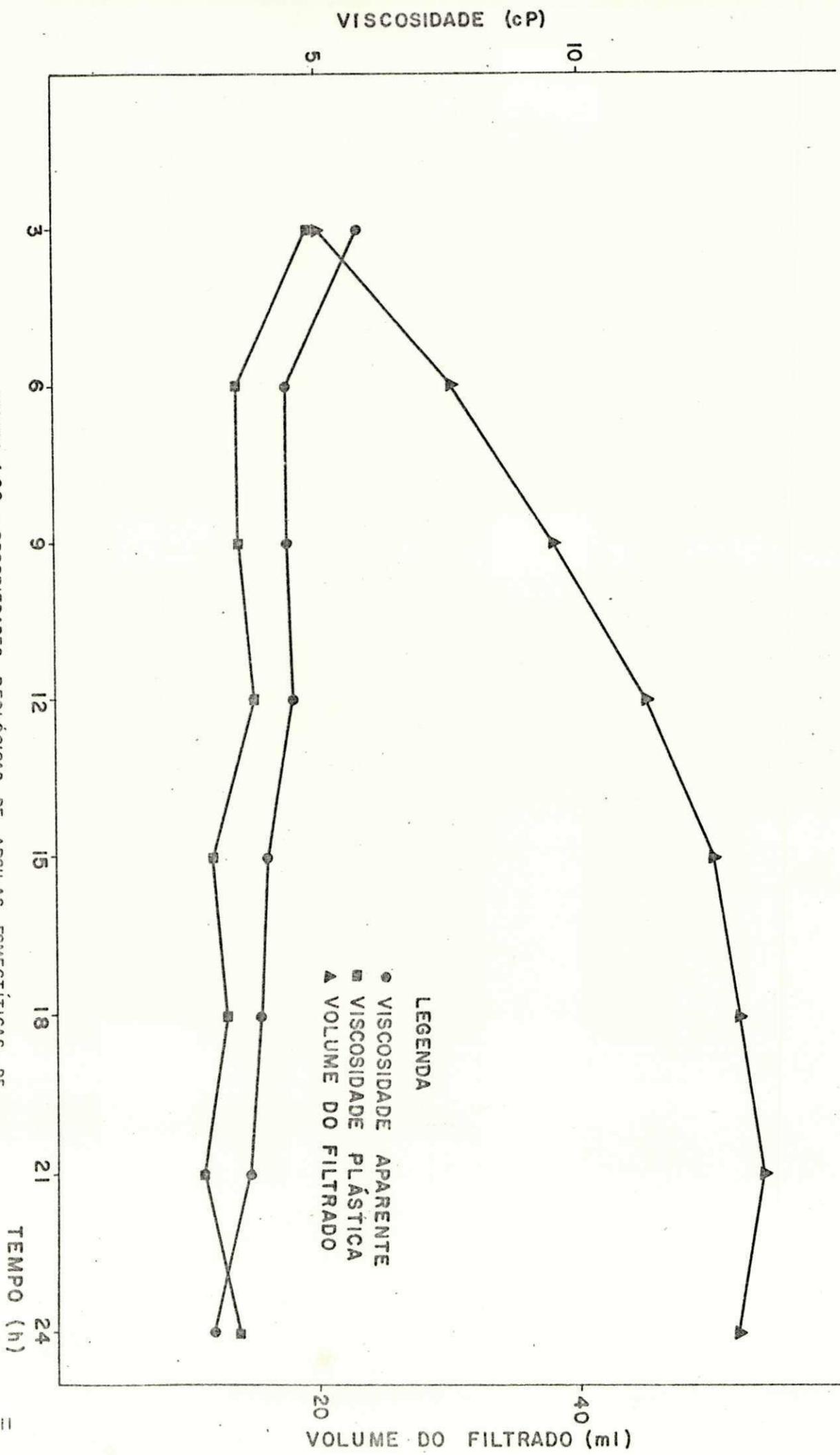


FIGURA 4.60 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍNICAS DE COR VERMELHA TRATADAS COM ISOmeq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 70%UR E 90°C.

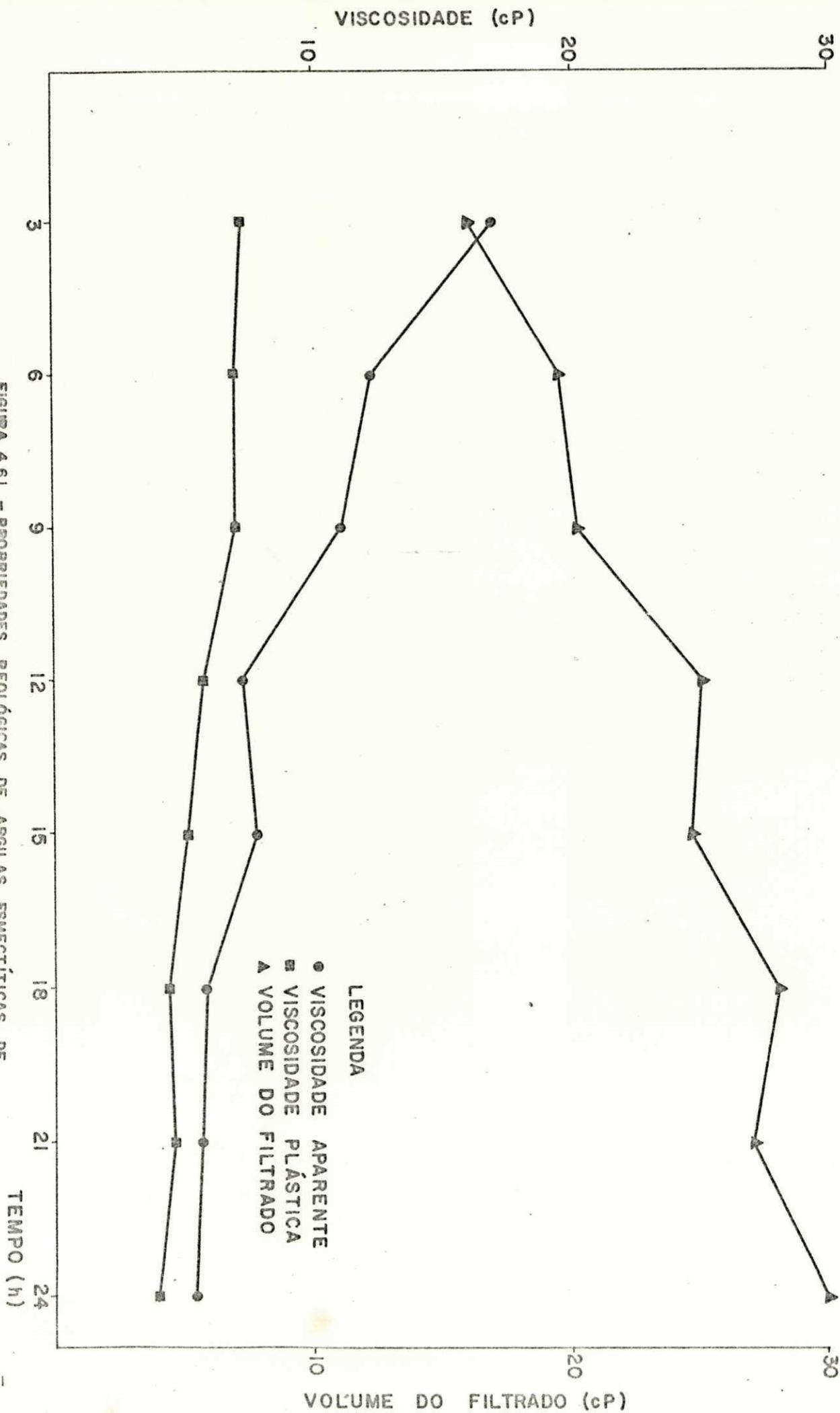


FIGURA 4.61 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍNICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 150mg/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 70% UR E 90°C.

aparente com tendência crescente e a viscosidade plástica com tendência decrescente ficando com valores fora dos especificados. Nas amostras vermelhas observou-se que tanto a viscosidade aparente como a plástica diminuíram e o volume do filtrado aumentou.

Os resultados obtidos quando as amostras foram tratadas com 150 meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada pelo segundo processo mostrado na Figura 3.2, à 50%UR e 70°C e 90°C estão apresentados nas Tabelas 4.31 e 4.32 e Figuras 4.62, 4.63, 4.64 e 4.65.

As amostras vermelhas tratadas nestas condições não apresentaram propriedades reológicas adequadas para uso como fluido tixotrópico na perfuração de poços de petróleo. Observou-se que os valores obtidos após cura à 50%UR e 90°C eram semelhantes aos obtidos quando estas mesmas amostras foram submetidas à cura a 100%UR e temperatura ambiente sem adição do carbonato de sódio (Tabela 4.4).

As amostras de cor verde-clara após 9h de cura apresentaram propriedades adequadas e dentro das especificações da Petrobrás quando submetida a cura à 50%UR à 70°C e até 3h de cura à 50%UR e 90°C. Verificou-se que a viscosidade aparente diminuiu com o aumento da temperatura e com o tempo de cura o volume do filtrado aumentou.

Estes resultados quando comparados com os obtidos com as mesmas amostras tratadas com 50 meq/100g e 100 meq/100g de carbonato de sódio (tabelas 4.13, 4.14, 4.22 e 4.23) mostram que nas amostras vermelhas pioraram enquanto que nas verde-clara a tendência foi de melhorar à 50%UR e 70°C porém à 50%UR e 90°C ficaram praticamente inalterados.

4.2.3 Terceiro Processo

Os resultados obtidos nas amostras tratadas com 50 meq/100g de carbonato de sódio e diálise após cura em câmara climatizada à 90%UR e 40°C e 90°C segundo o fluxograma mostrado na Figura 3.3 estão apresentados nas Tabelas 4.33 e 4.34 e Figuras 4.66, 4.67, 4.68 e 4.69.

As amostras vermelhas submetidas a estes dois tratamentos de cura apresentaram resultados semelhantes e altos valores da viscosidade plástica, sempre acima de 4,0 cP, valor mínimo

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	7,3	5,5	15,5
VERDE-CLARA		40,7	1,3	16,0
VERMELHA	6	5,5	4,5	19,0
VERDE-CLARA		32,0	2,8	16,5
VERMELHA	9	4,8	4,0	19,5
VERDE-CLARA		25,9	5,7	18,0
VERMELHA	12	5,4	4,5	24,5
VERDE-CLARA		22,3	5,7	16,0
VERMELHA	15	5,0	4,0	27,5
VERDE-CLARA		22,0	5,0	18,5
VERMELHA	18	4,7	3,7	27,5
VERDE-CLARA		19,7	5,7	17,0
VERMELHA	21	4,7	3,7	33,0
VERDE-CLARA		18,9	6,3	18,0
VERMELHA	24	4,4	3,5	32,0
VERDE-CLARA		20,3	6,8	18,5

Tabela 4.31 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 150meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 50%UR e 70°C.

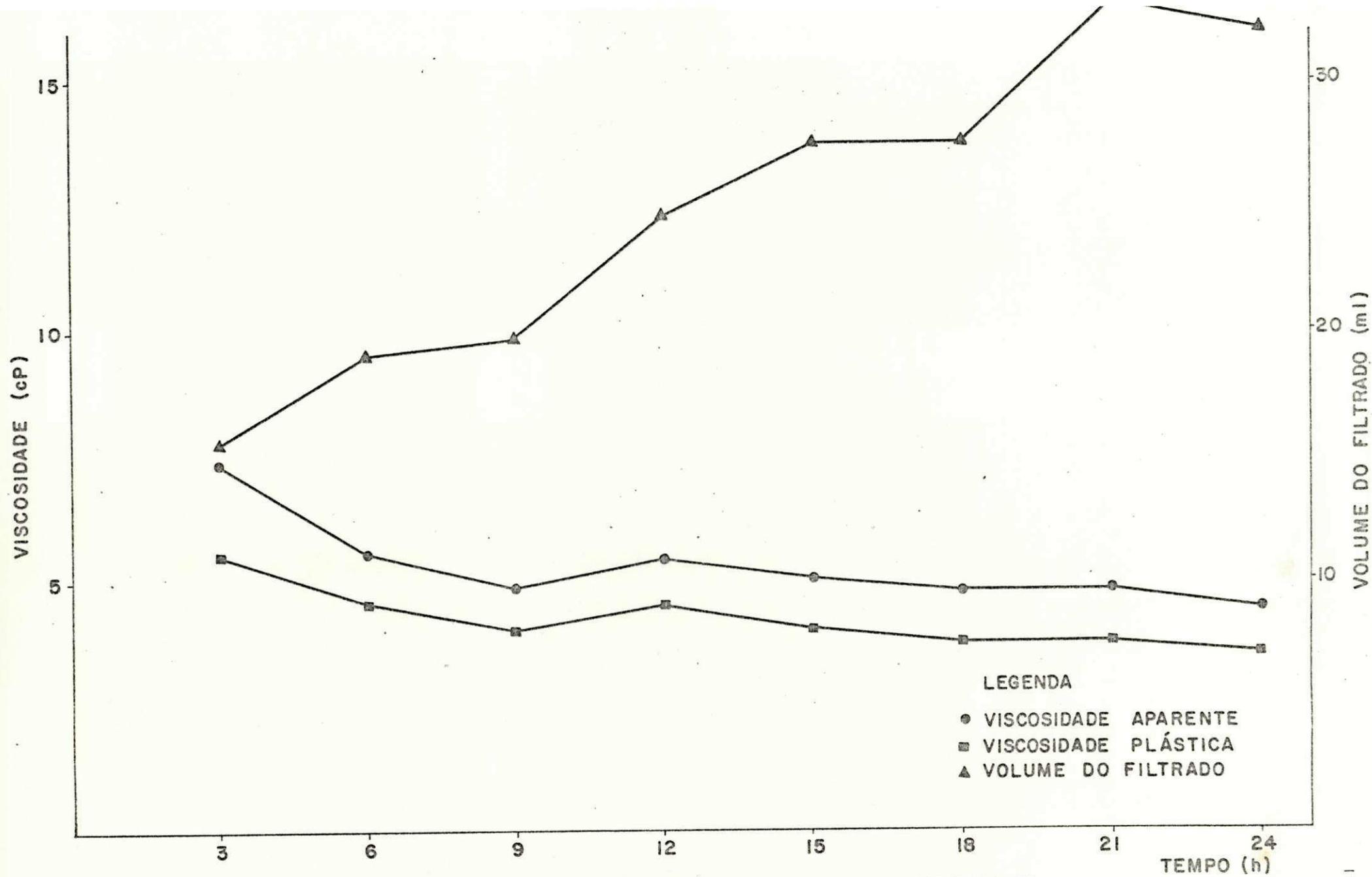


FIGURA 4.62 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTICAS DE COR VERMELHA TRATADAS COM 150meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 50%UR E 70°C.

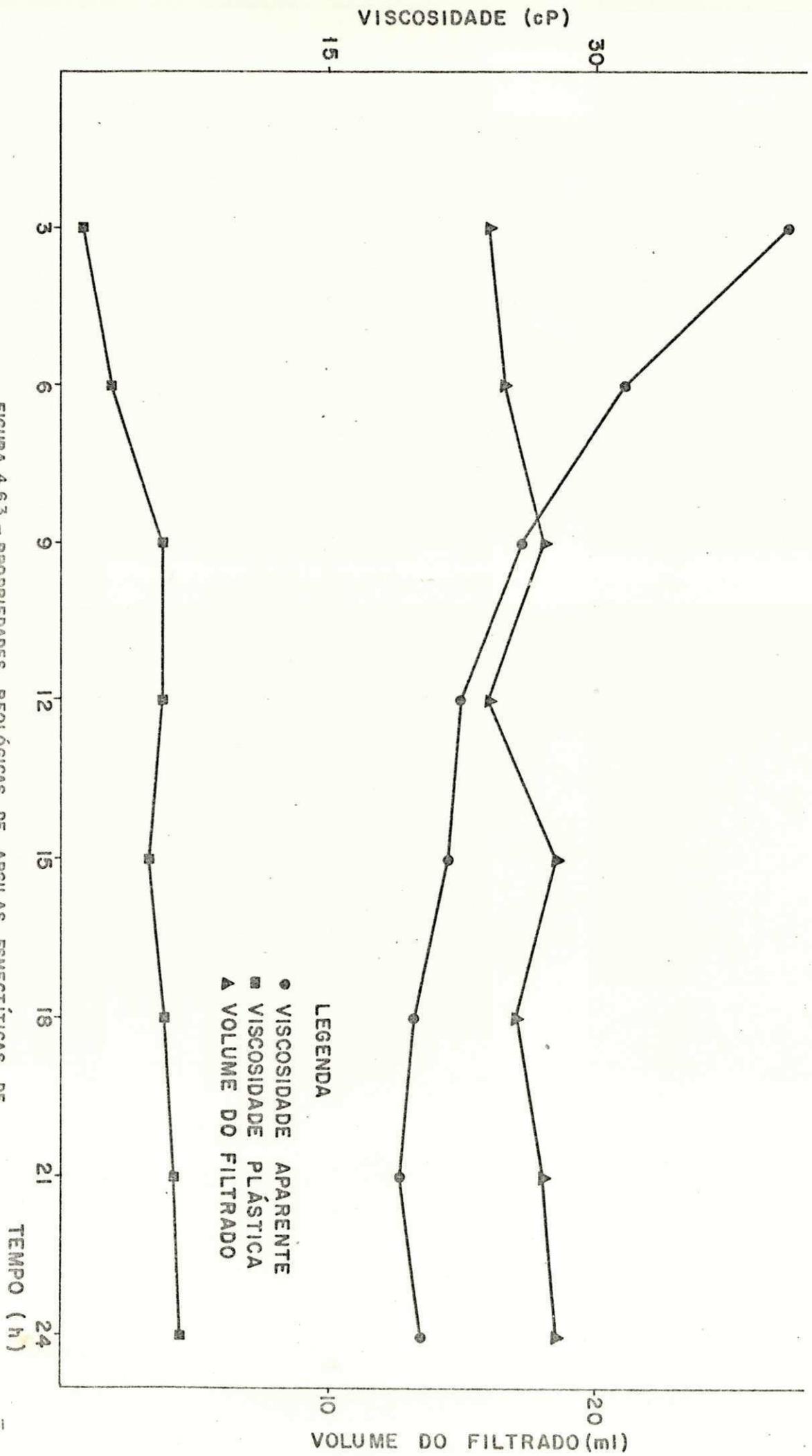


FIGURA 4.63 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM ISOMED/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 50%UR E 70°C.

● VISCOSIDADE APARENTE
 ■ VISCOSIDADE PLÁSTICA
 ▲ VOLUME DO FILTRADO

VOLUME DO FILTRADO (ml)

VISCOSIDADE (cP)

TEMPO (h)

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	5,8	5,0	19,5
VERDE-CLARA		23,2	7,8	16,5
VERMELHA	6	4,7	4,0	26,0
VERDE-CLARA		20,7	6,5	18,5
VERMELHA	9	4,4	3,8	30,0
VERDE-CLARA		16,9	7,3	20,0
VERMELHA	12	4,5	3,5	38,0
VERDE-CLARA		9,0	6,8	24,0
VERMELHA	15	4,2	3,0	41,5
VERDE-CLARA		9,0	5,8	25,0
VERMELHA	18	4,0	3,3	47,0
VERDE-CLARA		8,3	6,0	24,0
VERMELHA	21	4,0	3,0	43,5
VERDE-CLARA		6,9	5,3	26,0
VERMELHA	24	4,0	3,0	44,0
VERDE-CLARA		6,3	4,8	28,0

Tabela 4.32 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 150meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 50%UR e 90°C.

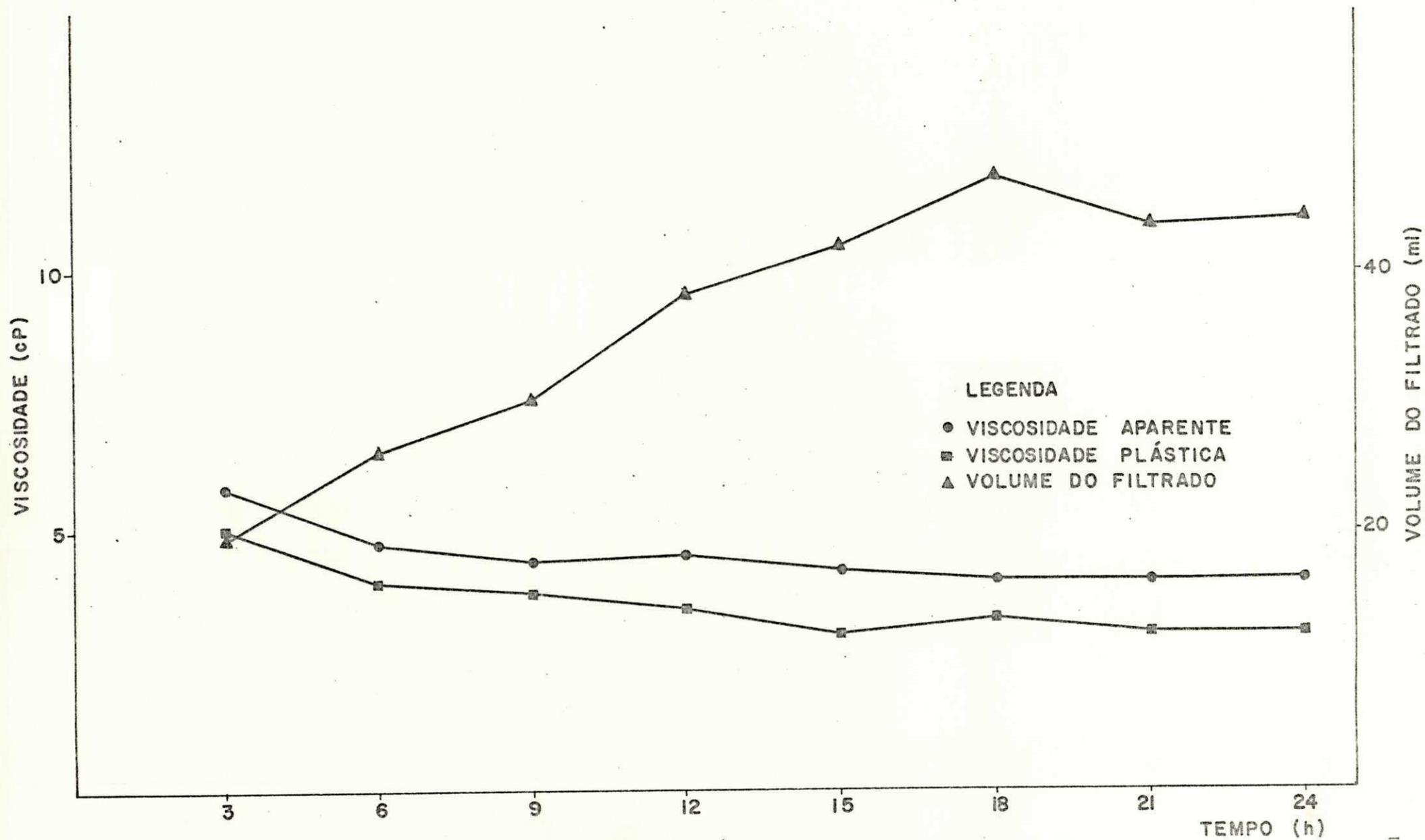


FIGURA 4.64 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE COR VERMELHA TRATADAS COM 150meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 50% UR E 90°C.

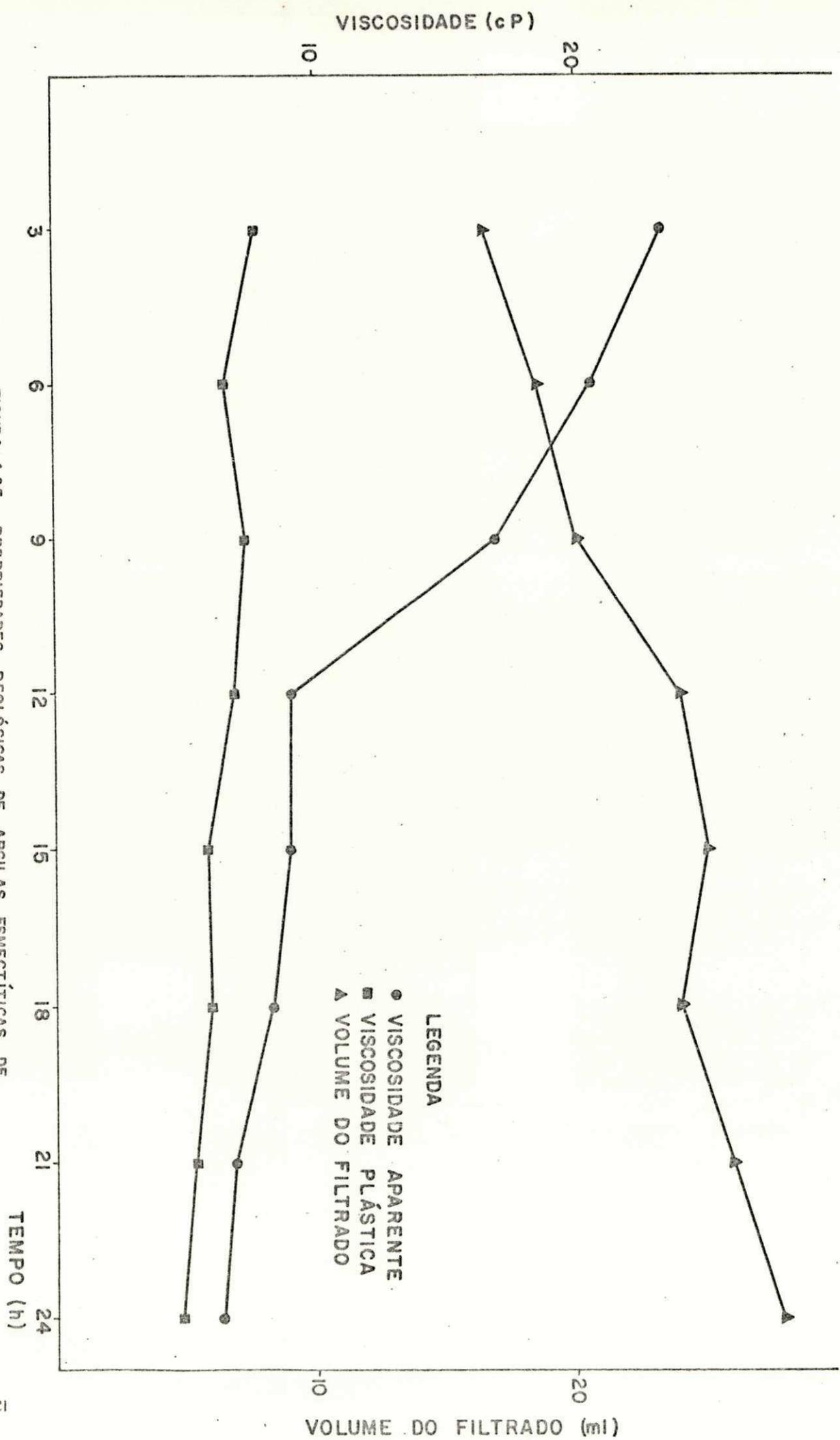


FIGURA 4.65 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 150mg/100g DE CARBONA TO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 50% UR E 90°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	9,3	7,0	15,5
VERDE-CLARA		13,3	8,5	15,5
VERMELHA	6	8,3	6,0	16,0
VERDE-CLARA		14,5	9,0	16,0
VERMELHA	9	8,0	6,0	16,5
VERDE-CLARA		14,0	9,0	16,5
VERMELHA	12	8,0	6,0	16,0
VERDE-CLARA		14,8	9,0	17,0
VERMELHA	15	8,5	6,5	15,5
VERDE-CLARA		14,8	9,0	17,5
VERMELHA	18	7,8	6,0	16,5
VERDE-CLARA		15,3	9,0	17,5
VERMELHA	21	8,0	6,5	17,0
VERDE-CLARA		14,0	8,5	16,0
VERMELHA	24	7,8	6,0	17,0
VERDE-CLARA		14,5	9,0	16,0

Tabela 4.33 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 50meq/100 g de carbonato de sódio e diálise após cura em câmara climatizada à 90%UR e 40°C.

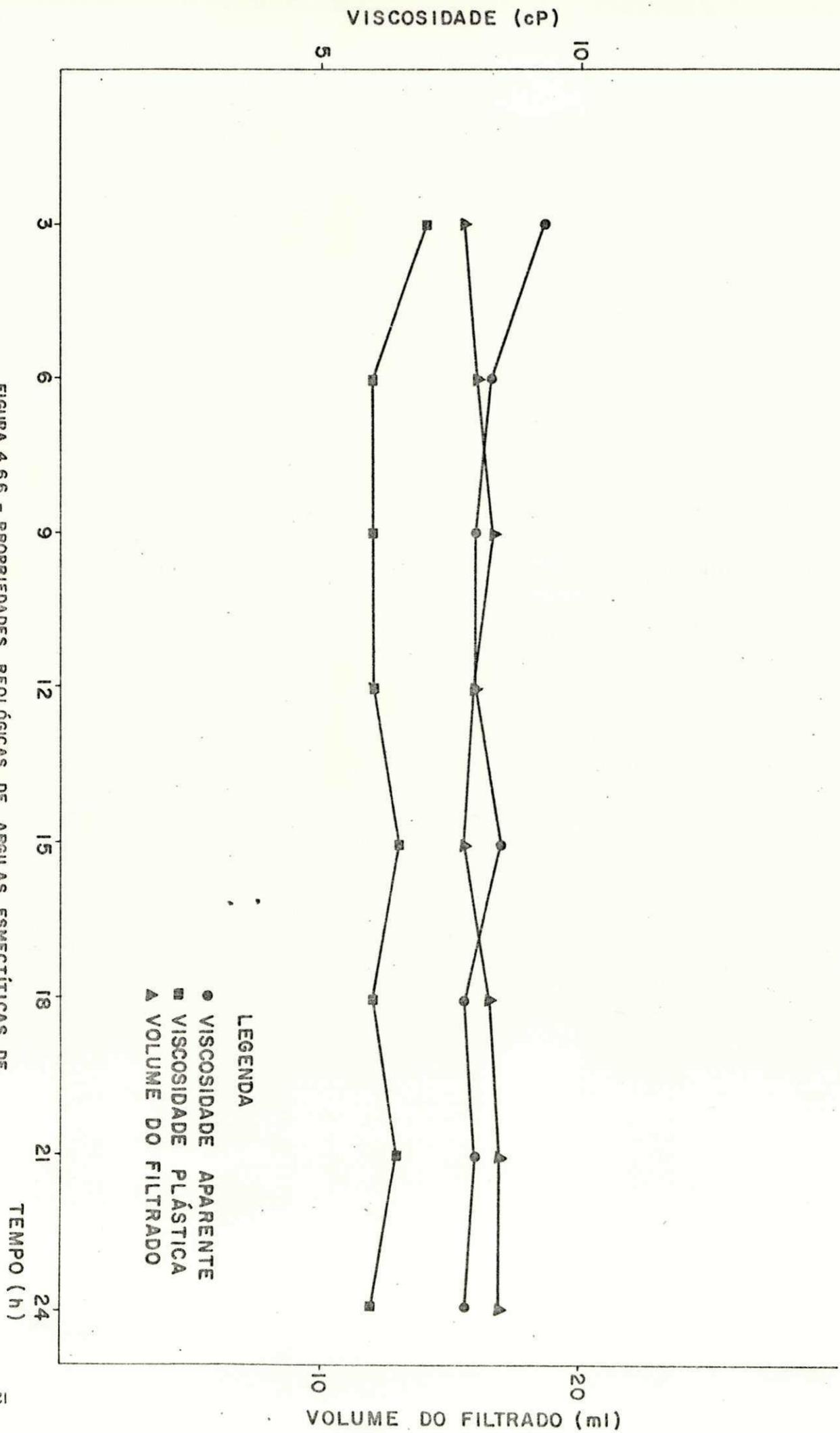


FIGURA 4.66 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE COR VERMELHA, TRATADAS COM 50 meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO DIALISADAS APÓS CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90% UR E 40°C.

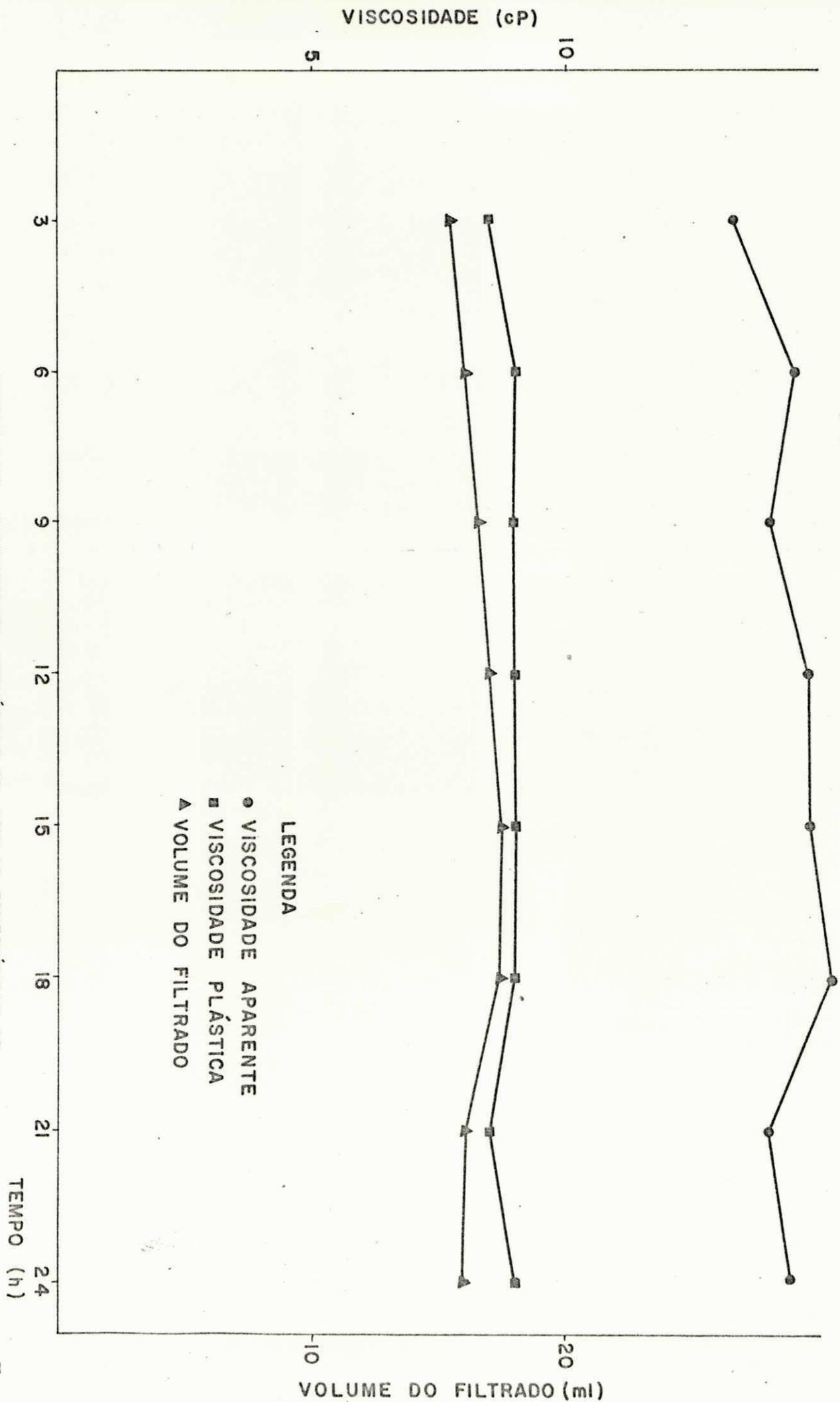


FIGURA 4.67 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 50mg/100g DE CARBONATO DE SÓDIO DIALISADAS APÓS CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 90%UR E 40°C.

● VISCOSIDADE APARENTE
 ■ VISCOSIDADE PLÁSTICA
 ▲ VOLUME DO FILTRADO

LEGENDA

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	10,0	8,0	16,5
VERDE-CLARA		11,5	8,5	16,5
VERMELHA	6	10,0	7,5	17,0
VERDE-CLARA		12,0	9,0	17,0
VERMELHA	9	10,5	8,0	17,5
VERDE-CLARA		12,5	9,0	18,0
VERMELHA	12	8,0	6,5	18,0
VERDE-CLARA		9,3	7,5	17,0
VERMELHA	15	6,8	5,5	18,5
VERDE-CLARA		9,0	7,0	19,0
VERMELHA	18	7,5	6,0	18,5
VERDE-CLARA		8,5	7,0	18,5
VERMELHA	21	8,0	6,0	18,0
VERDE-CLARA		11,0	8,0	18,0
VERMELHA	24	7,5	6,0	19,0
VERDE-CLARA		11,3	8,0	20,5

Tabela 4.34 - Propriedades reológicas de argilas esmectíticas de Boa Vista - PB, tratadas com 50meq/100g de carbonato de sódio e diálise após cura em câmara climatizada à 90%UR e 90°C.

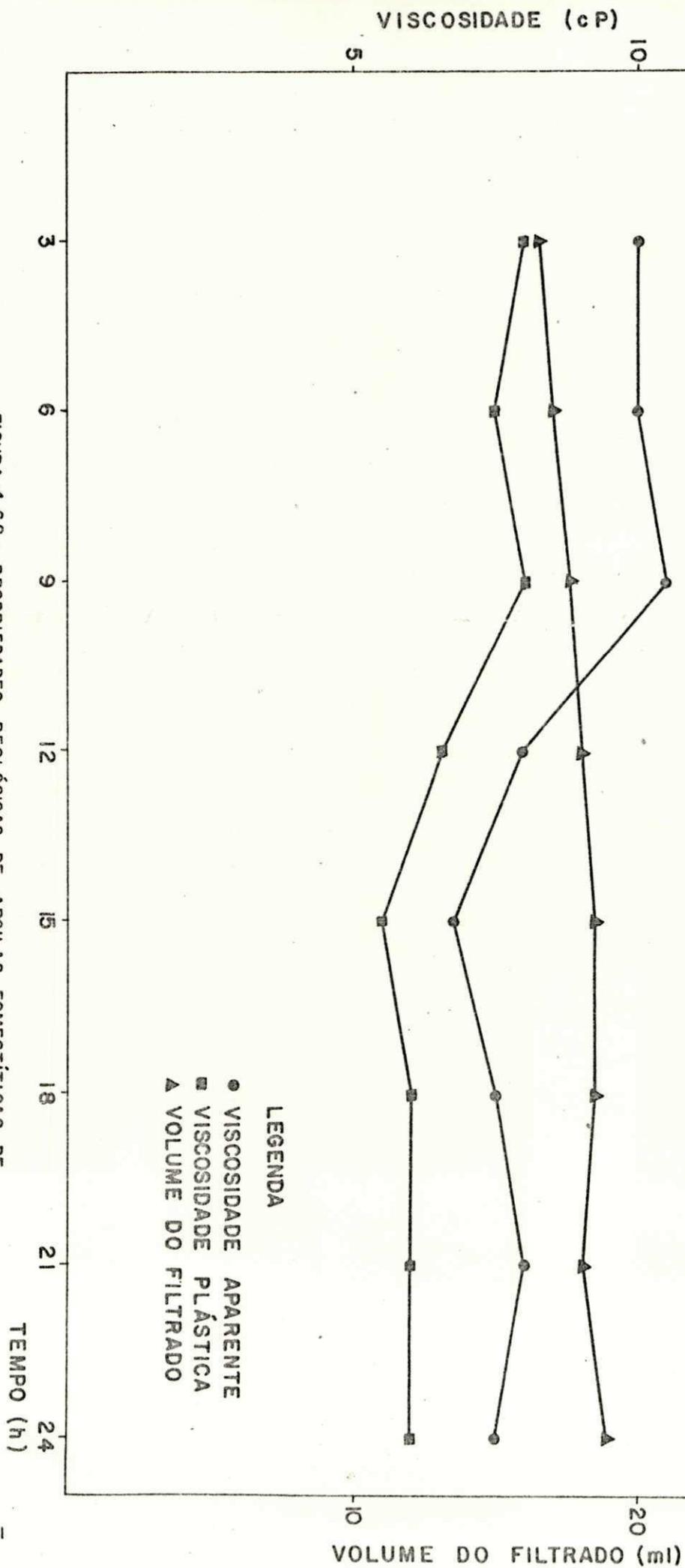


FIGURA 4.68 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE COR VERMELHA, TRATADAS COM 50mg/100g DE CARBONATO DE SÓDIO DIALISADAS APÓS CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90% UR E 90°C.

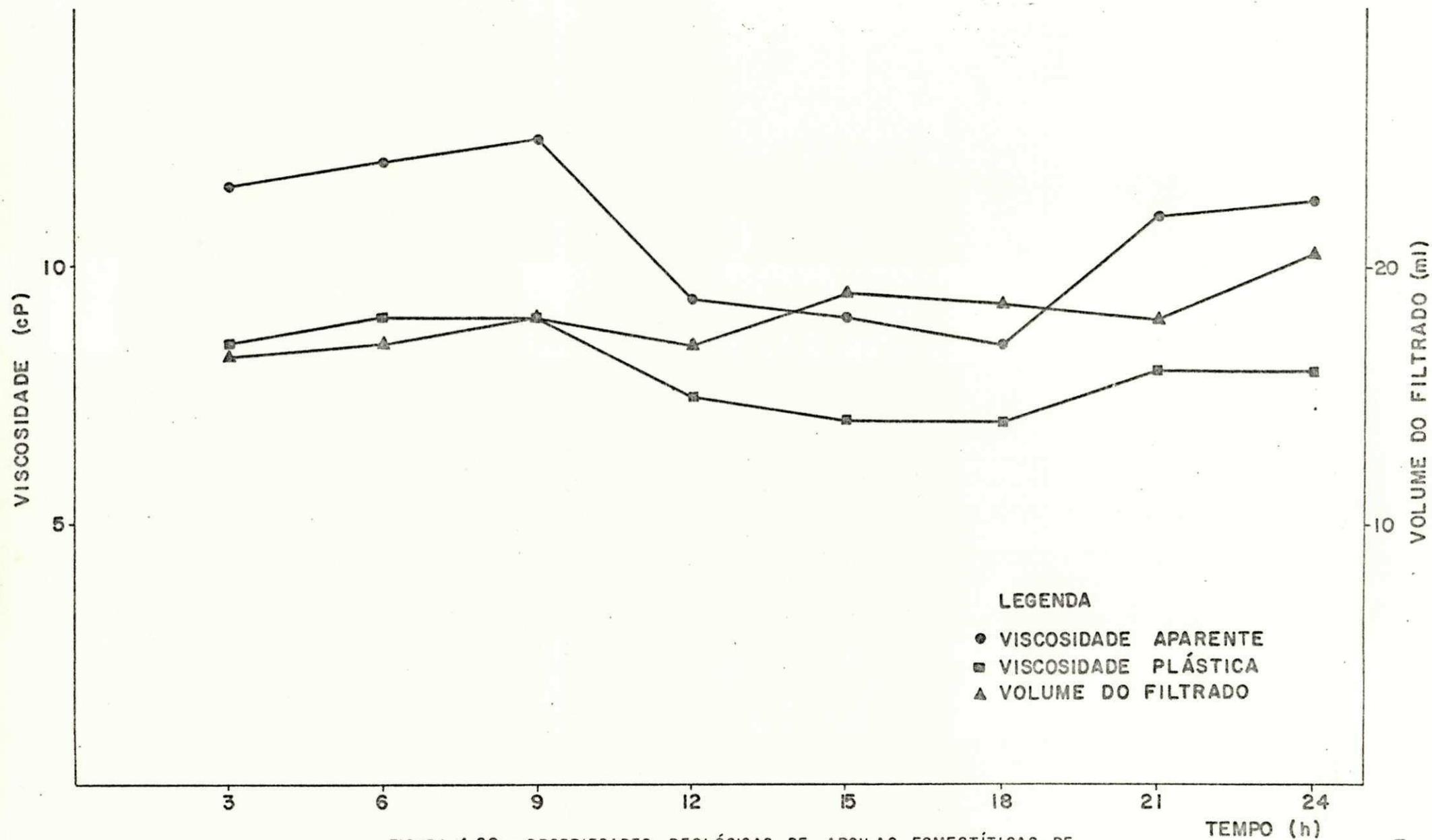


FIGURA 4.69 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 50meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO DIALISADAS APÓS CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90% UR E 90°C.

mo especificado pelas normas da Petrobrás (8). O aumento da temperatura de 40°C para 90°C não afetou nas propriedades reológicas destas amostras que foram submetidas à diálise, e com o aumento do tempo de cura tanto a viscosidade aparente como a plástica permaneceram semelhantes. O volume do filtrado também variou pouco.

As amostras verde-clara apresentaram os mesmos comportamentos reológicos que as amostras vermelhas com a variação do tempo de cura, porém os valores das viscosidades aparente e plástica foram superiores. À 90%UR e 40°C estas amostras apresentaram excelentes propriedades reológicas a partir de 12h de cura e diálise posterior de sete dias, atingindo-se também através deste processo o máximo valor para a viscosidade plástica de 9,0 cP. Observou-se que com o aumento da temperatura a viscosidade aparente diminuiu o volume do filtrado aumentou e a viscosidade plástica foi idêntica até 9h de cura.

Os resultados obtidos com as amostras tratadas com carbonato de sódio na proporção de 100 meq/100g de argila seca e diálise após cura em câmara climatizada à 90%UR e 40°C e 90°C segundo o fluxograma da Figura 3.3, estão apresentadas nas Tabelas 4.35 e 4.36 e Figuras 4.70, 4.71, 4.72 e 4.73.

As amostras vermelhas quando submetidas a estes dois tratamentos de cura e diálise posterior durante sete dias não apresentaram propriedades dentro das especificações. As viscosidades aparente e plástica diminuíram com o aumento da temperatura e com o aumento do tempo de cura enquanto que o volume do filtrado aumentou com a temperatura e tempo de cura.

As amostras entretanto, apresentaram durante às 24h de cura quando tratadas à 90%UR e 40°C e diálise posterior todos os valores dentro das especificações. Após 6h de cura foi obtido o máximo valor da viscosidade plástica de 10,5 cP. Observou-se também que o aumento da temperatura afetou nas propriedades reológicas, diminuindo a viscosidade aparente e aumentando o volume do filtrado, ficando com estes valores fora das especificações.

Os resultados obtidos após tratamento com 150 meq/100 g de carbonato de sódio e diálise de sete dias após cura em câmara climatizada à 90%UR e 40°C e 90°C estão apresentados nas Tabelas 4.37 e 4.38 e Figuras 4.74, 4.75, 4.76 e 4.77.

Nestas condições as amostras vermelhas não apresentaram

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	11,0	7,5	16,0
VERDE-CLARA		36,3	9,0	16,5
VERMELHA	6	8,3	6,0	18,0
VERDE-CLARA		35,3	10,5	17,0
VERMELHA	9	6,8	5,5	17,0
VERDE-CLARA		33,8	8,0	18,0
VERMELHA	12	9,5	7,0	16,0
VERDE-CLARA		30,5	9,0	15,0
VERMELHA	15	8,3	6,5	16,0
VERDE-CLARA		30,3	8,5	16,5
VERMELHA	18	8,3	6,5	17,0
VERDE-CLARA		31,0	6,5	18,5
VERMELHA	21	7,8	6,0	17,0
VERDE-CLARA		31,0	10,0	18,0
VERMELHA	24	8,0	6,0	16,0
VERDE-CLARA		28,5	10,0	17,5

Tabela 4.35 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 100meq/100g de carbonato de sódio e diálise após cura em câmara climatizada à 90%UR e 40°C.

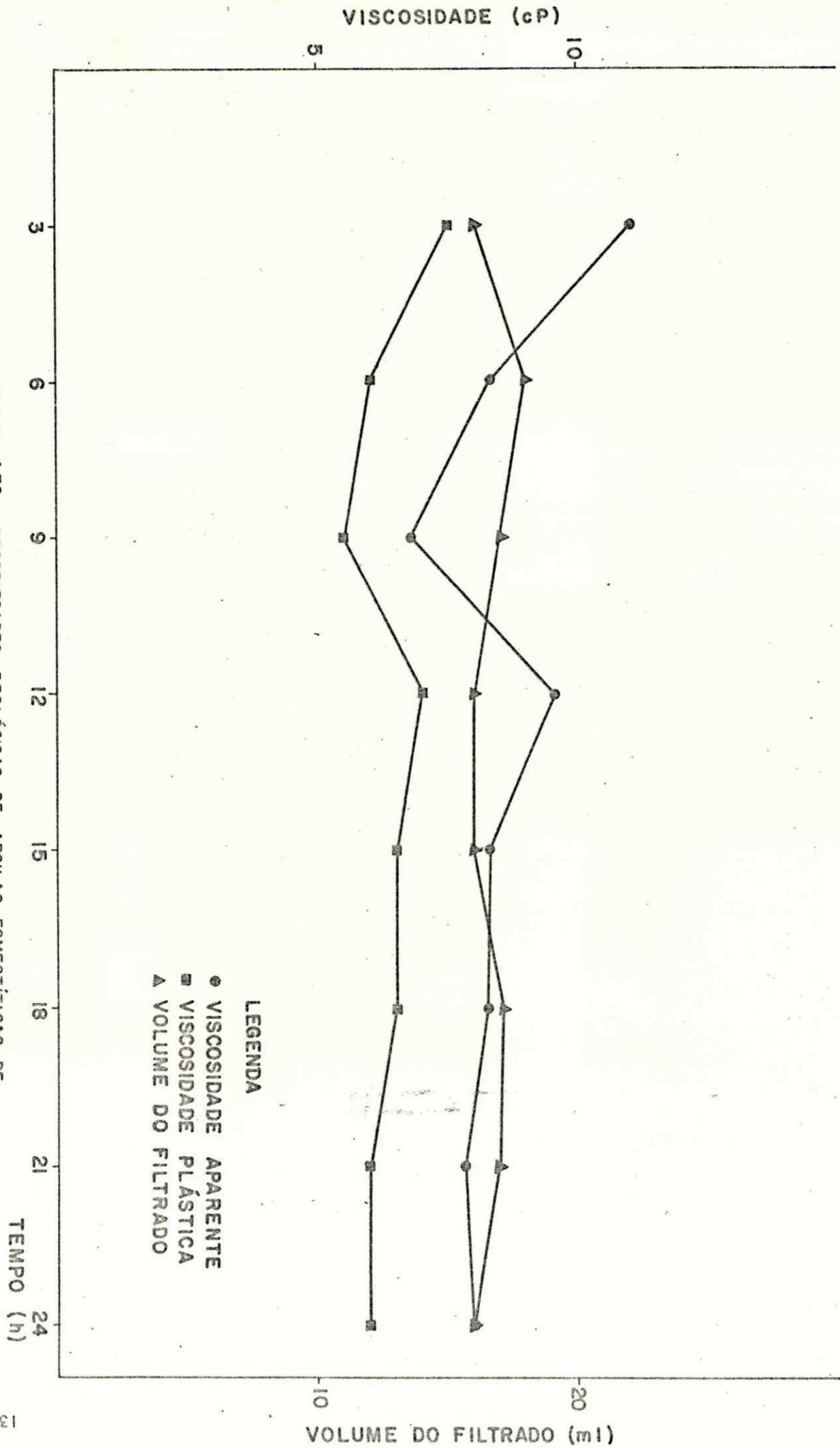


FIGURA 4.70 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERMELHA, TRATADAS COM 100mg/100g DE CARBONATO DE SÓDIO DIALISADAS APÓS CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 90% UR E 40°C.

LEGENDA
 ● VISCOSIDADE APARENTE
 ■ VISCOSIDADE PLÁSTICA
 ▲ VOLUME DO FILTRADO

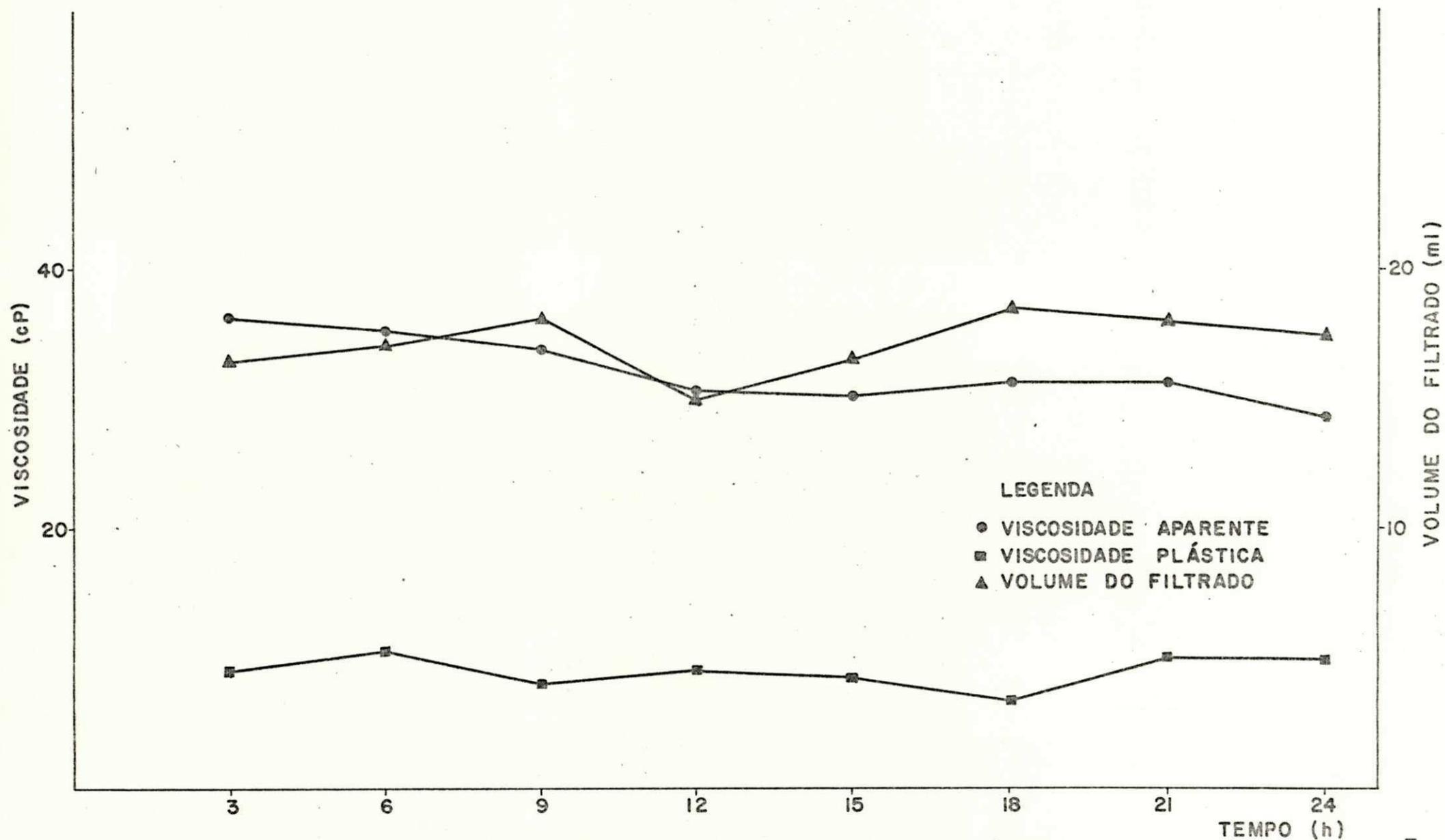


FIGURA 4.71 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍCAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 100meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO DIALISADAS APÓS CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 90% UR E 40°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	6,8	5,5	19,0
VERDE-CLARA		8,0	6,5	18,5
VERMELHA	6	6,5	5,5	20,5
VERDE-CLARA		8,3	6,5	18,0
VERMELHA	9	6,0	5,0	22,0
VERDE-CLARA		7,3	6,0	20,0
VERMELHA	12	6,0	5,0	20,5
VERDE-CLARA		9,0	7,0	18,5
VERMELHA	15	5,5	4,5	22,0
VERDE-CLARA		8,3	6,5	18,0
VERMELHA	18	5,5	4,5	23,5
VERDE-CLARA		7,5	6,0	21,0
VERMELHA	21	5,8	4,5	22,0
VERDE-CLARA		7,5	5,5	21,0
VERMELHA	24	5,5	4,5	23,0
VERDE-CLARA		7,5	6,0	18,0

Tabela 4.36 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 100meq/100g de carbonato de sódio e diálise após cura em câmara climatizada à 90%UR e 90°C.

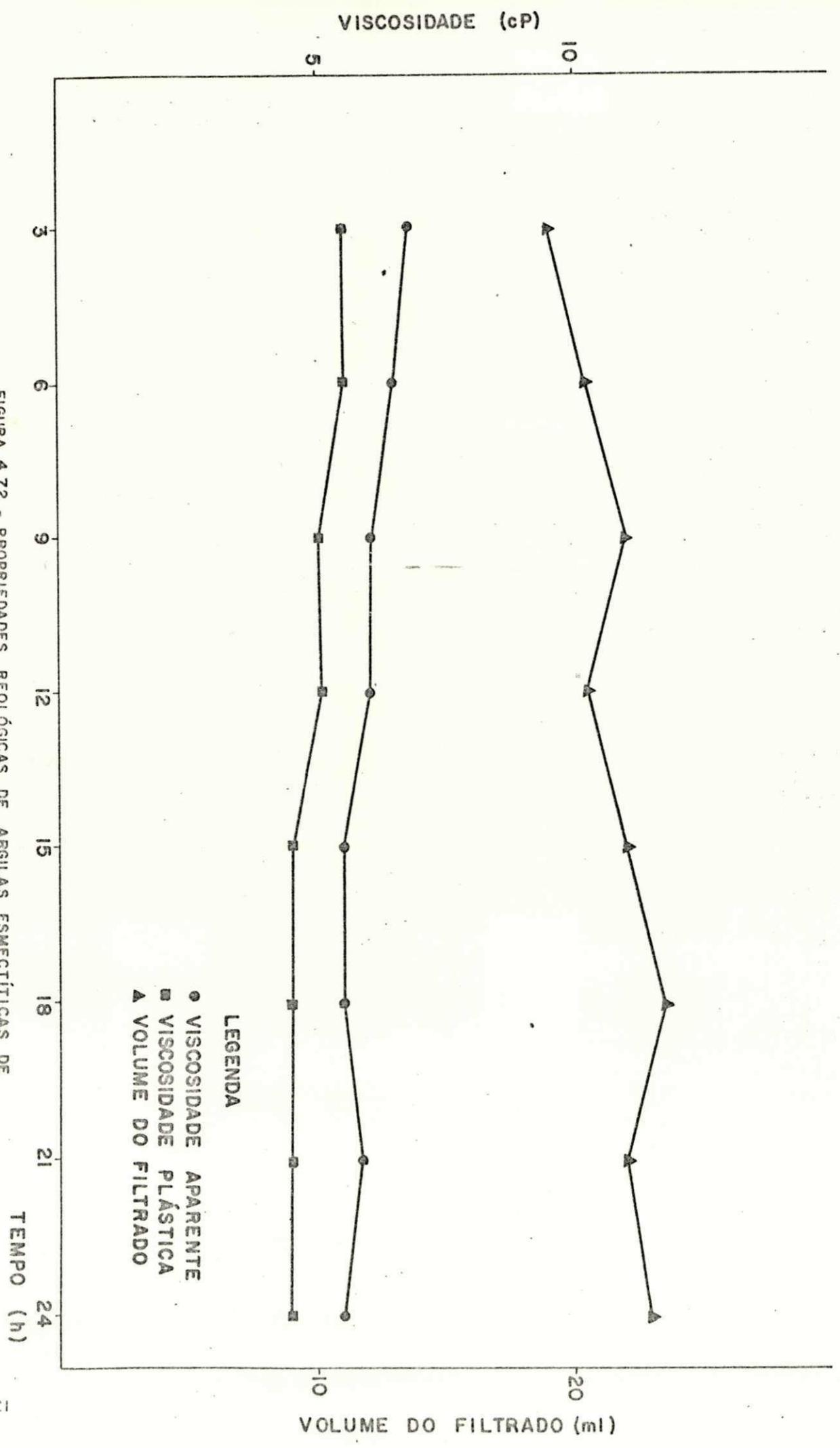


FIGURA 4.72 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTICAS DE COR VERMELHA, TRATADAS COM 100mg/100g DE CARBONATO DE SODIO DIALISADAS APÓS CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90% UR E 90°C.

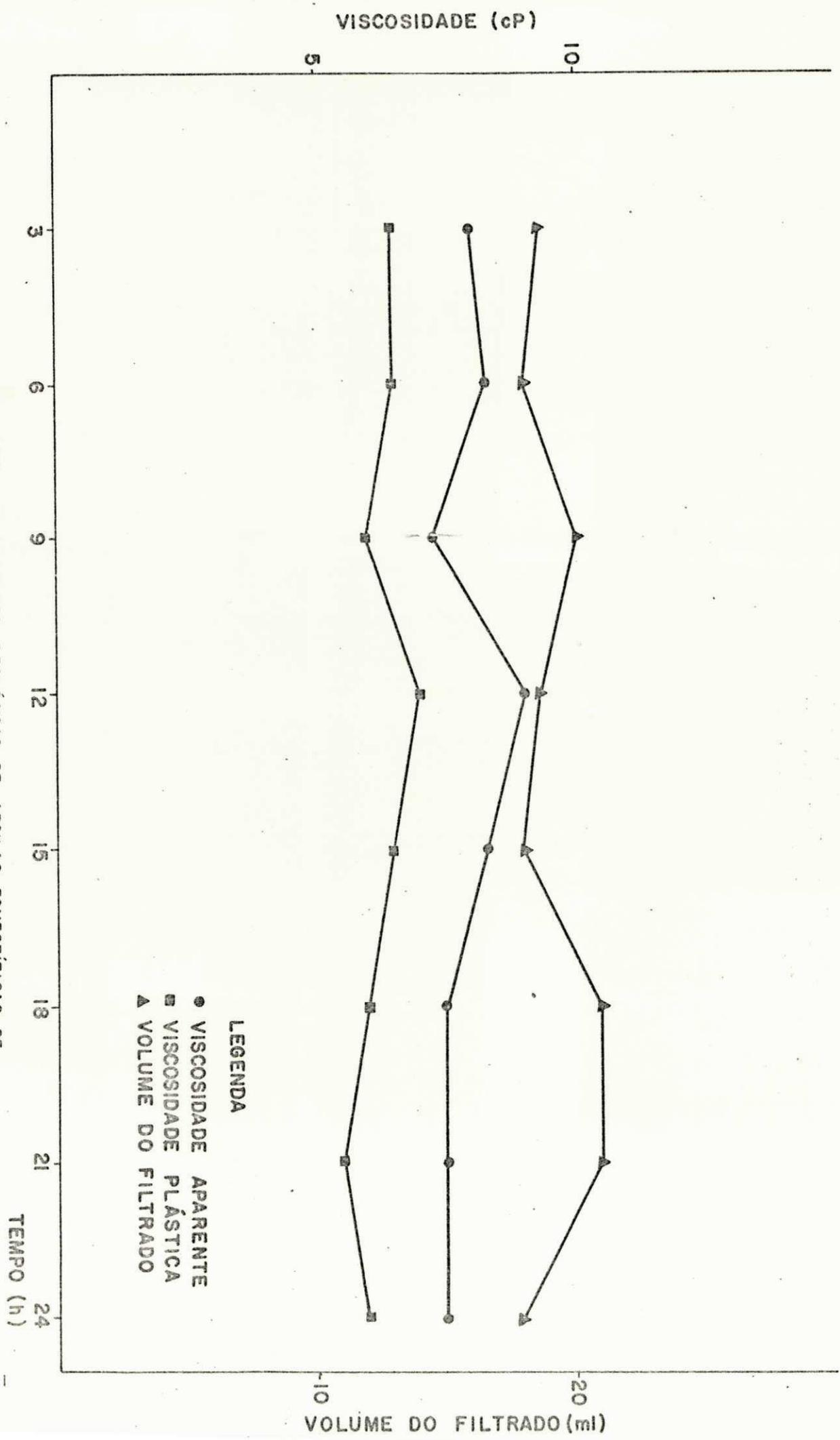


FIGURA 4.73 PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 100meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO DIALISADAS APÓS CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 90%UR E 90°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	10,3	7,5	17,0
VERDE-CLARA		28,3	8,0	15,0
VERMELHA	6	7,3	5,5	17,0
VERDE-CLARA		32,0	7,5	15,0
VERMELHA	9	6,5	5,0	18,0
VERDE-CLARA		29,5	6,0	16,0
VERMELHA	12	6,8	5,5	17,0
VERDE-CLARA		36,3	6,0	16,0
VERMELHA	15	6,0	5,0	16,5
VERDE-CLARA		33,5	6,0	15,0
VERMELHA	18	6,0	5,0	17,5
VERDE-CLARA		28,0	9,0	16,0
VERMELHA	21	6,0	5,0	17,0
VERDE-CLARA		25,8	9,0	15,0
VERMELHA	24	6,0	5,0	17,5
VERDE-CLARA		20,8	9,5	16,0

Tabela 4.37 - Propriedades reológicas de argilas esmectíticas de Boa Vista - PB, tratadas com 150meq/100g de carbonato de sódio e diálise após cura em câmara climatizada à 90%UR e 40°C.

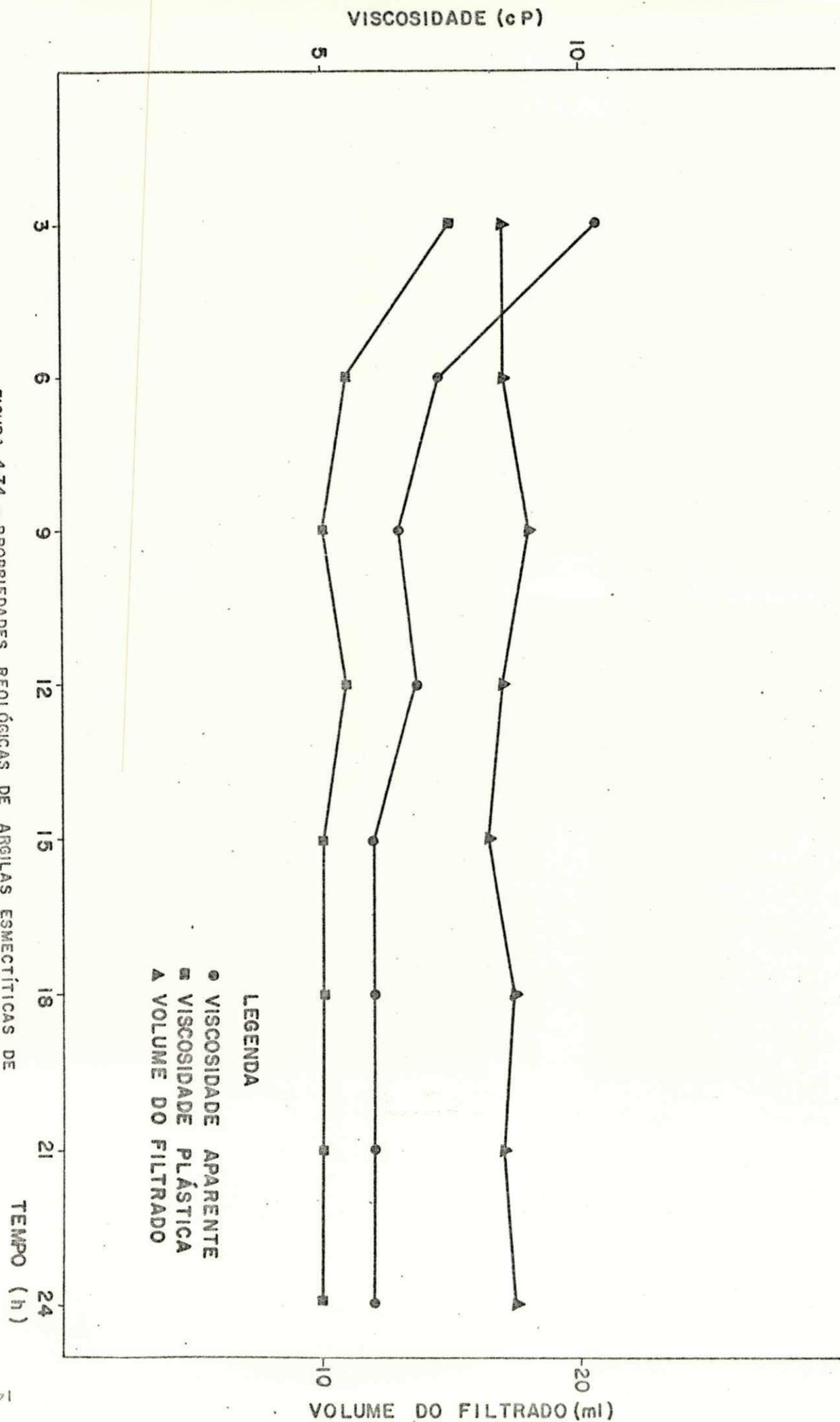


FIGURA 4.74 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTICAS DE COR VERMELHA, TRATADAS COM 150meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO DIALISADAS APÓS CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90% UR E 40°C.

LEGENDA
 ● VISCOSIDADE APARENTE
 ■ VISCOSIDADE PLÁSTICA
 ▲ VOLUME DO FILTRADO

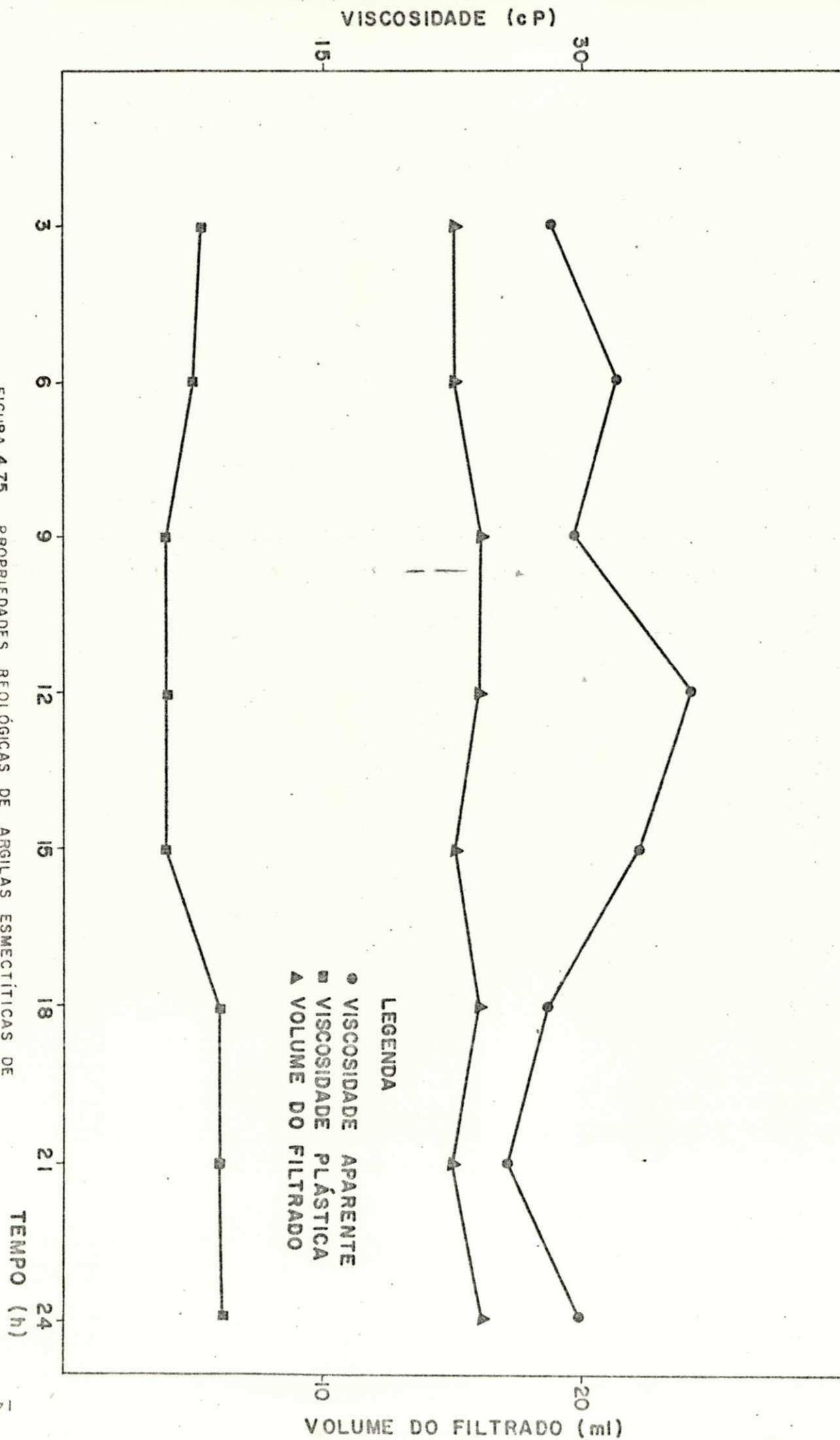


FIGURA 4.75 PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 150mg/100g DE CARBONATO DE SÓDIO DIALISADAS APÓS CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 90% UR E 40°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	6,3	5,0	19,5
VERDE-CLARA		8,3	7,0	17,5
VERMELHA	6	5,8	4,5	21,0
VERDE-CLARA		8,0	6,5	18,0
VERMELHA	9	5,5	4,5	23,5
VERDE-CLARA		7,3	6,0	20,0
VERMELHA	12	5,3	4,0	25,0
VERDE-CLARA		6,8	5,5	20,0
VERMELHA	15	5,0	4,0	29,0
VERDE-CLARA		6,5	5,5	21,5
VERMELHA	18	5,0	4,0	29,5
VERDE-CLARA		6,3	5,0	21,5
VERMELHA	21	4,5	3,5	31,0
VERDE-CLARA		6,0	5,0	21,5
VERMELHA	24	4,3	3,0	32,0
VERDE-CLARA		6,3	5,0	21,5

Tabela 4.38 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, tratadas com 150meq/100g de carbonato de sódio e diálise após cura em câmara climatizada à 90%UR e 90°C.

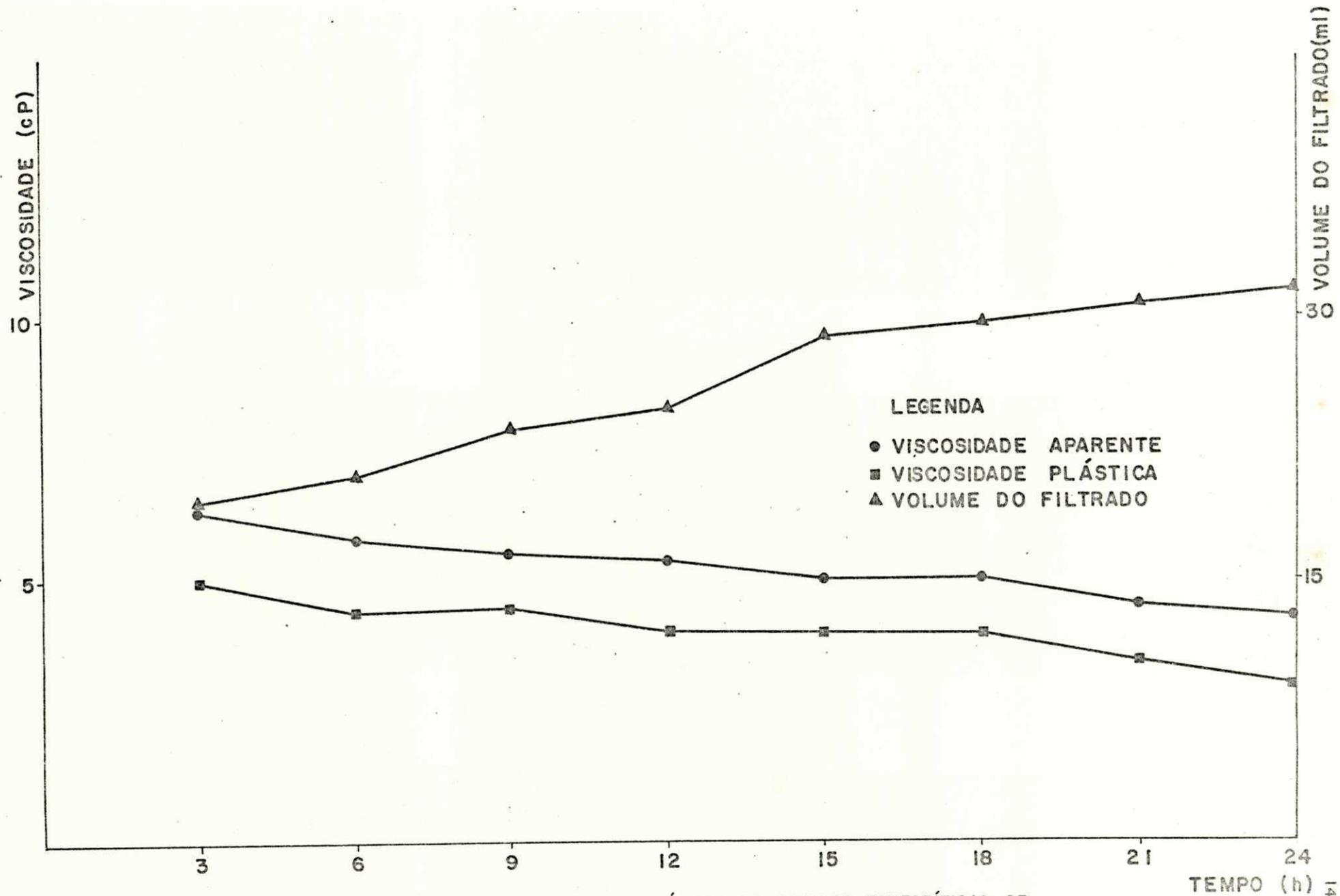


FIGURA 4.76 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERMELHA TRATADAS COM 150meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO DIALISADAS APÓS CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90%UR E 90°C.

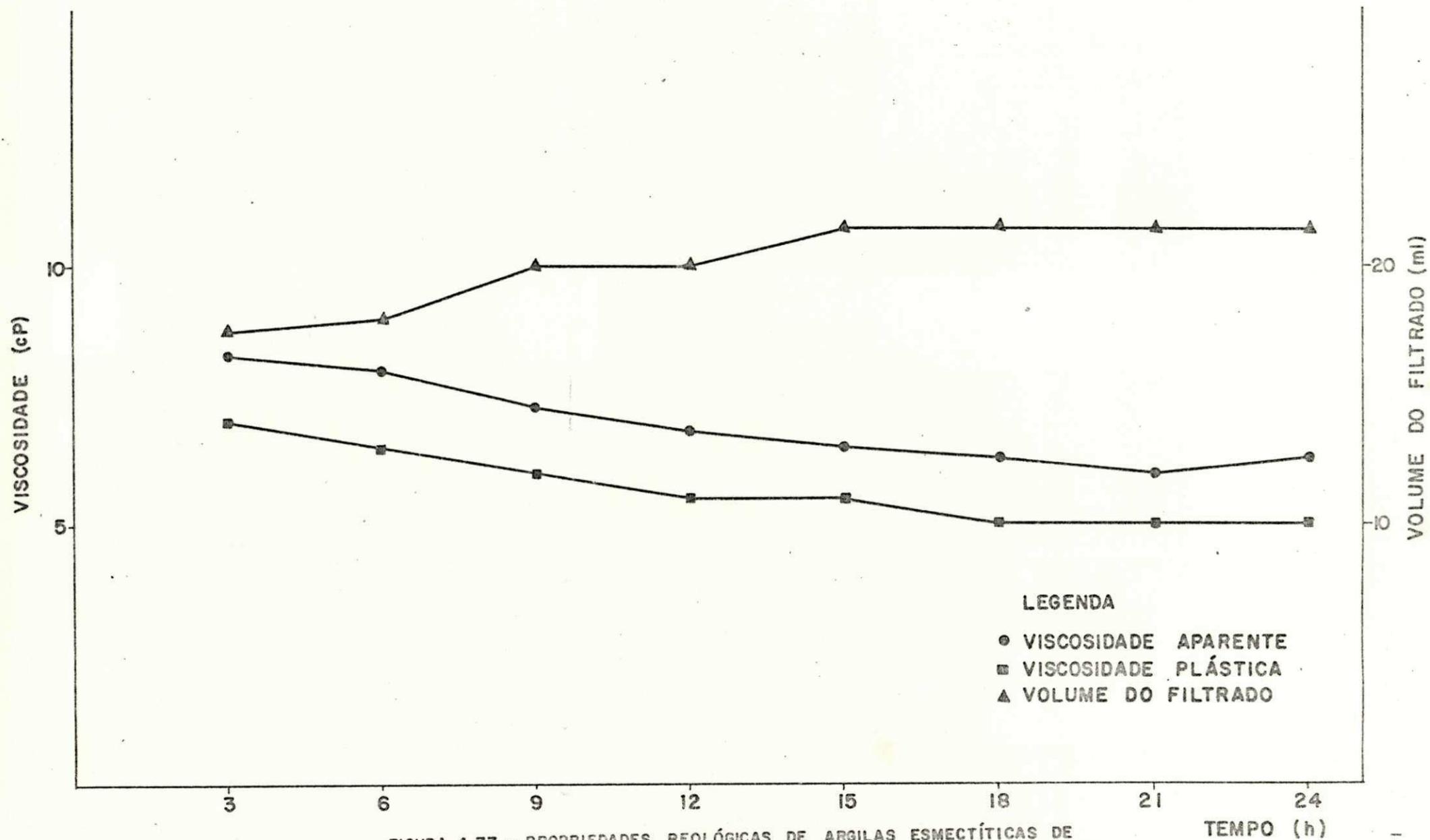


FIGURA 4.77 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERDE CLARA TRATADAS COM 150meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO DIALISADAS APÓS CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90%UR E 90°C.

valores dentro das especificações (8). Observou-se porém que quando submetidas à cura à 90%UR e 40°C com diálise posterior, os valores da viscosidade plástica e do volume do filtrado estão dentro das especificações e com o aumento da temperatura estes valores diminuíram ficando fora das especificações.

As amostras verde-clara apresentaram excelentes propriedades reológicas quando submetidas à cura a 90%UR e 40°C e diálise posterior de sete dias, durante as 24 h de cura. Com o aumento da temperatura todos os valores ficaram fora das normas especificadas pela Petrobrás.

Todos estes resultados obtidos pelo terceiro processo de cura à 90%UR e 40°C e 90°C e diálise posterior durante sete dias foram comparados com os resultados obtidos pelo segundo processo de cura à 90%UR e 40°C e 90°C (Tabelas 4.6, 4.9, 4.15, 4.18, 4.24 e 4.27) e verificou-se que o efeito da diálise nas amostras submetidas a cura à 90%UR e 40°C foi de diminuir a viscosidade aparente e aumentar a viscosidade plástica. Devido a este efeito, as amostras verde-clara que se encontraram na forma floculada (Tabelas 4.15 e 4.24 e Figuras 4.31 e 4.50), após o tratamento adquiriram ótimas propriedades reológicas de acordo com as especificações (8). O efeito da diálise quando submetidas a cura à 90%UR e 90°C foi de aumentar a viscosidade aparente e plástica e diminuir o volume do filtrado, porém nestas condições de cura não obtivemos valores dentro dos especificados (8).

4.2.4 - Quarto Processo

Os resultados obtidos quando as amostras foram submetidas à diálise antes da cura em câmara climatizada à 90%UR e 40°C e 90°C e tratadas com 50 meq/100g de carbonato de sódio segundo o quarto processo mostrado na Figura 3.4, estão apresentados nas Tabelas 4.39 e 4.40 e Figuras 4.78, 4.79, 4.80 e 4.81.

As amostras vermelhas que foram dialisadas durante sete dias e submetidas à cura à 90%UR à 40°C apresentaram durante 6h de cura propriedades reológicas dentro das especificações. Com o aumento do tempo de cura as viscosidades aparente e plástica diminuíram enquanto que o volume do filtrado aumentou muito pouco. Quando a cura foi à 90%UR e 90°C todos os valores obtidos ficaram fora das especificações (8).

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	18,5	8,0	16,0
VERDE-CLARA		26,0	8,5	16,0
VERMELHA	6	15,5	7,5	16,5
VERDE-CLARA		28,0	7,5	17,0
VERMELHA	9	13,0	8,0	16,5
VERDE-CLARA		28,3	8,5	15,5
VERMELHA	12	10,8	7,5	16,5
VERDE-CLARA		25,8	9,1	16,0
VERMELHA	15	9,8	7,0	17,0
VERDE-CLARA		25,8	9,5	16,5
VERMELHA	18	9,0	6,5	17,5
VERDE-CLARA		27,0	10,0	17,0
VERMELHA	21	8,3	6,5	17,5
VERDE-CLARA		24,5	9,5	17,0
VERMELHA	24	7,3	6,0	18,0
VERDE-CLARA		24,0	9,5	15,5

Tabela 4.39 - Propriedades reológicas de argilas esmectíticas de Boa Vista - PB, dialisadas e tratadas com 50meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 90%UR e 40°C.

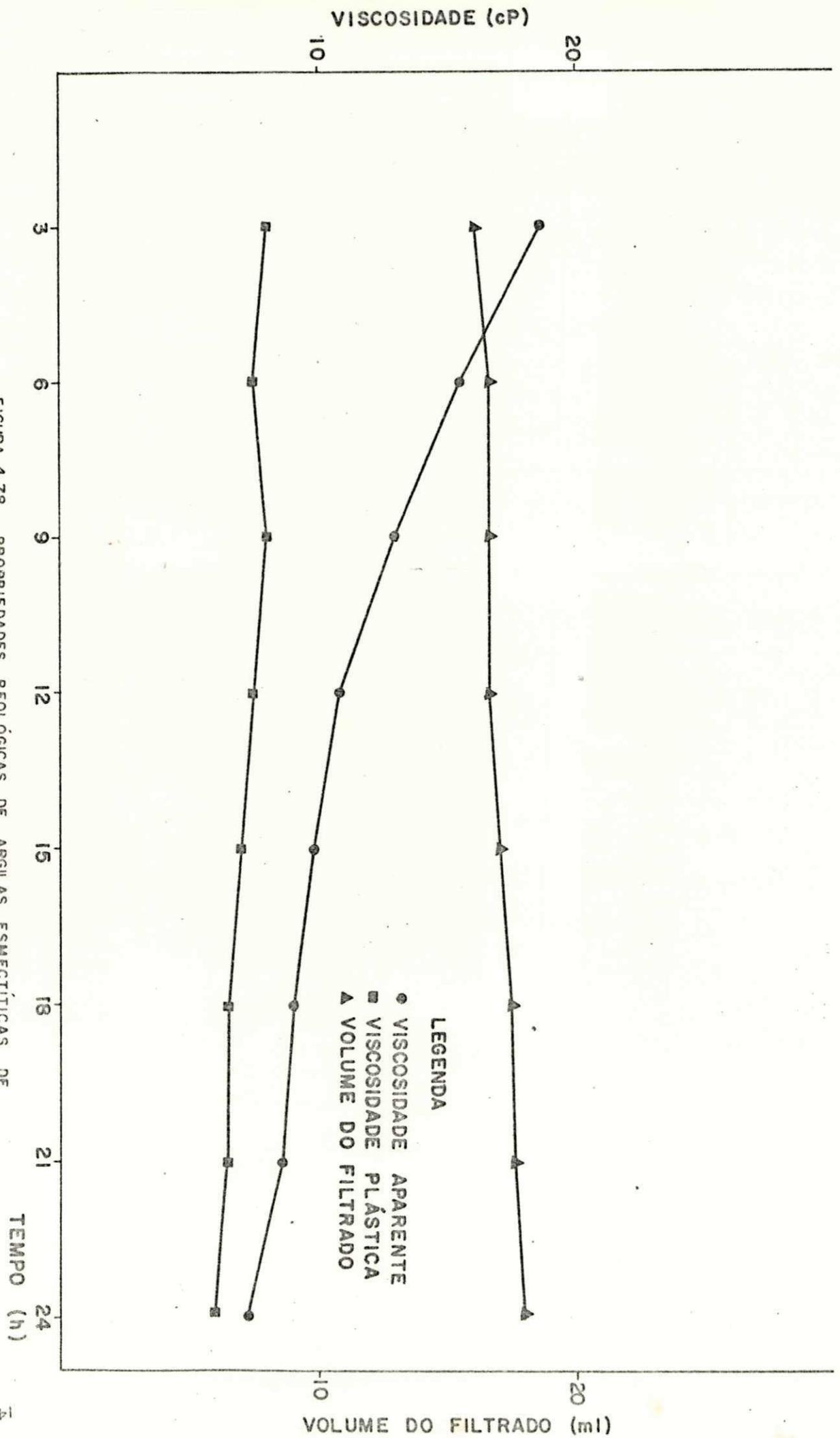


FIGURA 4.78 PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTICAS DE COR VERMELHA, DIALISADAS ANTES DO TRATAMENTO COM 50meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÁ-MARA CLIMATIZADA A 90%UR E 40°C.

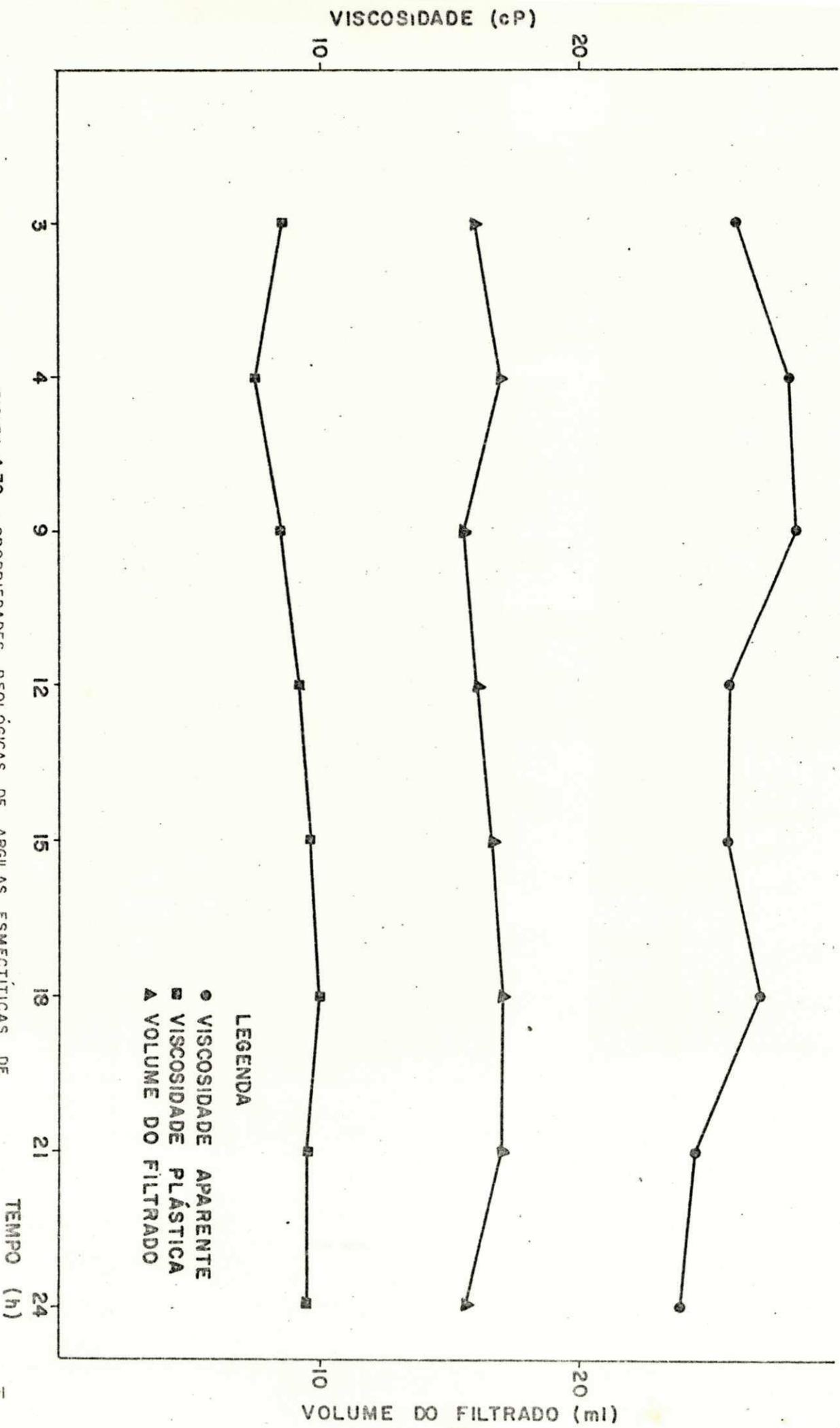


FIGURA 4.79 PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTICAS DE COR VERDE CLARA DIALISADAS ANTES DO TRATAMENTO COM 50meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA A 90%UR E 40°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	5,5	4,0	20,0
VERDE-CLARA		7,0	6,0	16,5
VERMELHA	6	5,3	4,5	21,0
VERDE-CLARA		6,5	5,5	19,0
VERMELHA	9	5,0	4,0	21,0
VERDE-CLARA		6,0	5,0	19,0
VERMELHA	12	5,5	4,5	20,5
VERDE-CLARA		6,8	6,0	18,0
VERMELHA	15	5,3	4,5	21,0
VERDE-CLARA		6,0	5,0	19,5
VERMELHA	18	4,5	3,5	22,0
VERDE-CLARA		5,8	5,0	19,0
VERMELHA	21	4,8	3,5	22,0
VERDE-CLARA		5,3	4,0	19,0
VERMELHA	24	4,5	3,5	21,5
VERDE-CLARA		5,3	4,0	18,5

Tabela 4.40 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, dialisadas e tratadas com 50meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 90%UR e 90°C.

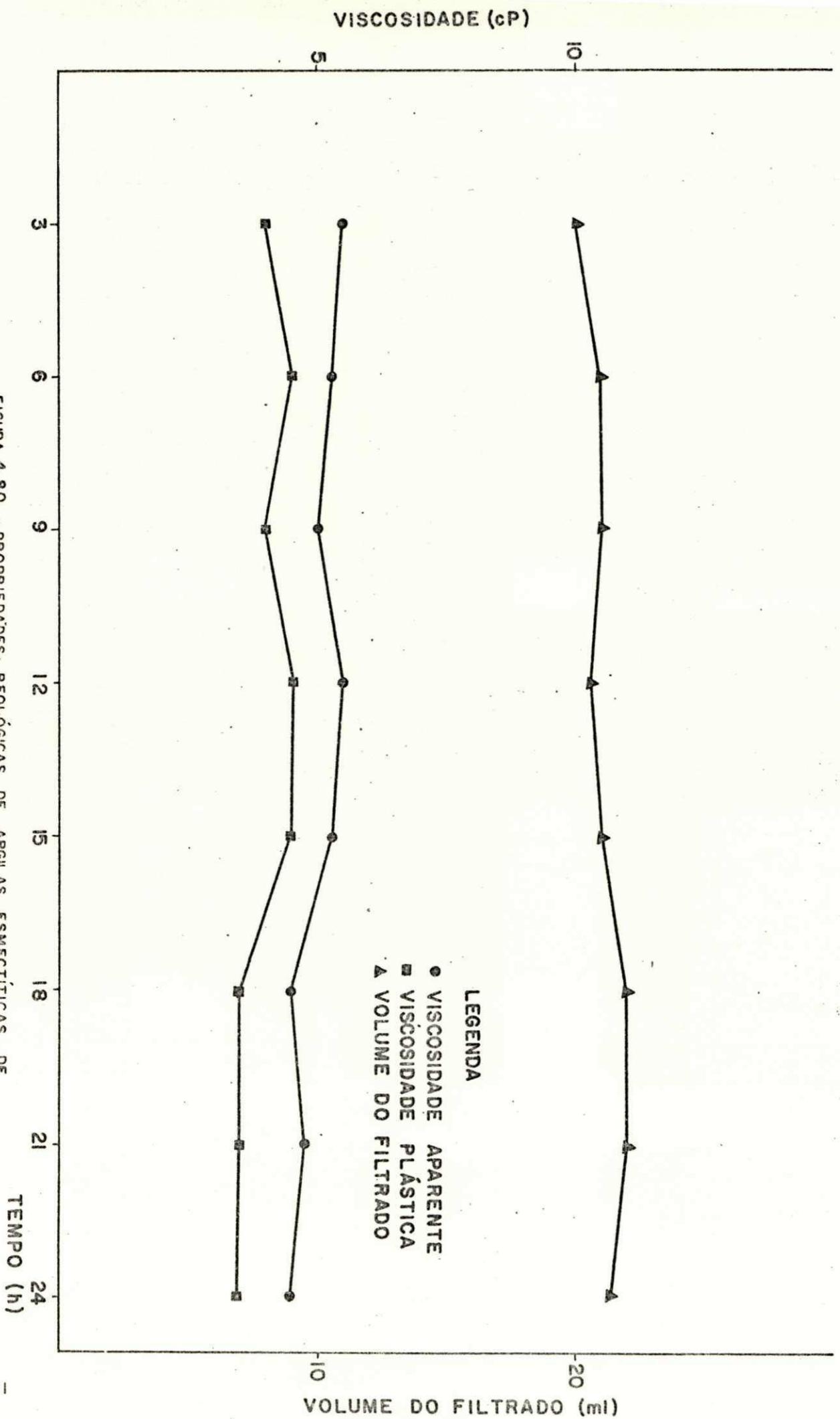


FIGURA 4.80 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERMELHA, DIALISADAS ANTES DO TRATAMENTO COM 50mg/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÁMARA CLIMATIZADA À 50% UR E 90°C.

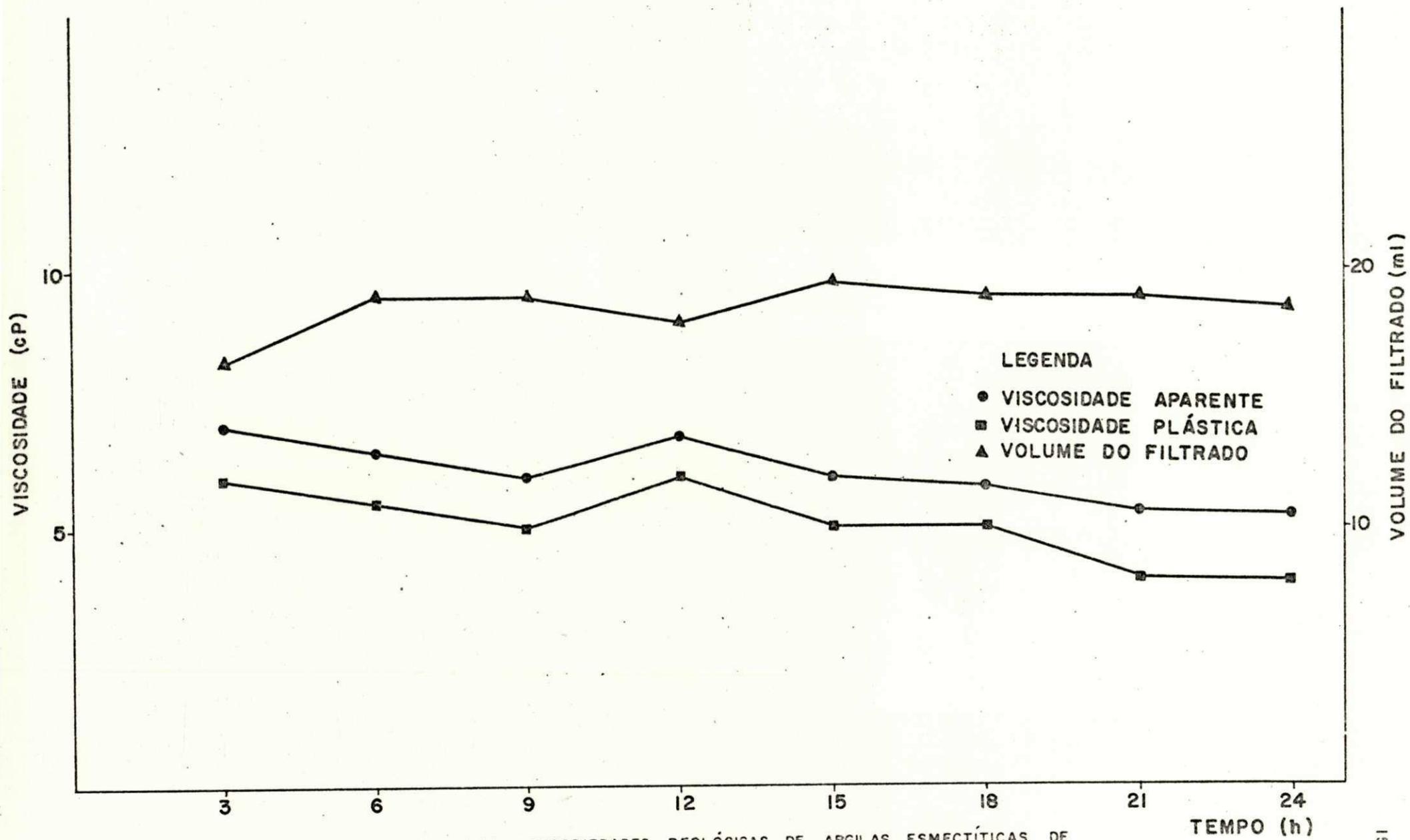


FIGURA 4.81 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERDE CLARA DIALISADAS ANTES DO TRATAMENTO COM 50meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90%UR E 90°C.

As amostras verde-clara que foram dialisadas durante sete dias e submetidas à cura à 90%UR e 40°C apresentaram durante às 24h de cura valores dentro das especificações, enquanto que quando submetidas à cura à 90%UR e 90°C estes valores ficaram fora das especificações, principalmente os valores da viscosidade aparente que apresentaram baixíssimos valores quando comparados com a condição de 40°C.

Os resultados obtidos com as amostras submetidas ao quarto processo de cura, mostrado na Figura 3.4 e tratadas com 100 meq/100g de carbonato de sódio estão representadas nas Tabelas 4.41 e 4.42 e Figuras 4.82, 4.83, 4.84 e 4.85.

As amostras vermelhas que foram dialisadas e submetidas à cura à 90%UR e 40°C apresentaram durante 6h de cura valores dentro das especificações. Observou-se também que com o aumento da temperatura as viscosidades aparente e plástica diminuíram enquanto que o volume do filtrado aumentou.

As amostras verde-clara que foram dialisadas e submetidas à cura à 90%UR e 40°C apresentaram durante todo o ciclo de 24h propriedades dentro das especificadas pela Petrobrás para serem usadas como fluidos tixotrópicos na perfuração de poços de petróleo. Com o aumento da temperatura para 90°C às viscosidades aparente e plástica diminuíram e o volume do filtrado aumentou, ficando assim com todas as propriedades fora das especificações (8).

Os resultados obtidos com as amostras que foram submetidas ao quarto processo mostrado no Fluxograma 3.4, e tratadas com 150 meq/100g de carbonato de sódio, estão contidos nas Tabelas 4.43 e 4.44 e Figuras 4.86, 4.87, 4.88 e 4.89.

As amostras vermelhas que foram curadas à 90%UR e 40°C depois de terem sido dialisadas durante sete dias apresentaram valores dentro dos especificados durante 6h de cura. Com o aumento do tempo de cura a viscosidade aparente diminuiu e a plástica praticamente ficou inalterada assim como o volume do filtrado. Observou-se também que com o aumento da temperatura as viscosidades diminuíram e o volume do filtrado aumentou.

As amostras verde-clara que foram curadas por até 24 h de cura, à 90%UR à 40°C e após terem sido dialisadas durante sete dias apresentaram-se na forma floculada com viscosidade apa

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	19,5	5,5	15,0
VERDE-CLARA		34,0	5,5	14,0
VERMELHA	6	15,3	7,5	16,0
VERDE-CLARA		39,8	7,5	14,0
VERMELHA	9	11,5	7,5	16,0
VERDE-CLARA		35,5	5,5	14,0
VERMELHA	12	10,0	6,5	15,5
VERDE-CLARA		35,8	5,5	14,5
VERMELHA	15	9,0	6,0	17,0
VERDE-CLARA		34,3	5,5	14,0
VERMELHA	18	8,0	5,0	16,0
VERDE-CLARA		33,5	6,0	14,5
VERMELHA	21	8,0	6,0	16,5
VERDE-CLARA		33,5	6,0	14,0
VERMELHA	24	7,5	6,0	17,0
VERDE-CLARA		32,0	8,0	14,0

Tabela 4.41 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, dialisadas e tratadas com 100meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 90%UR e 40°C.

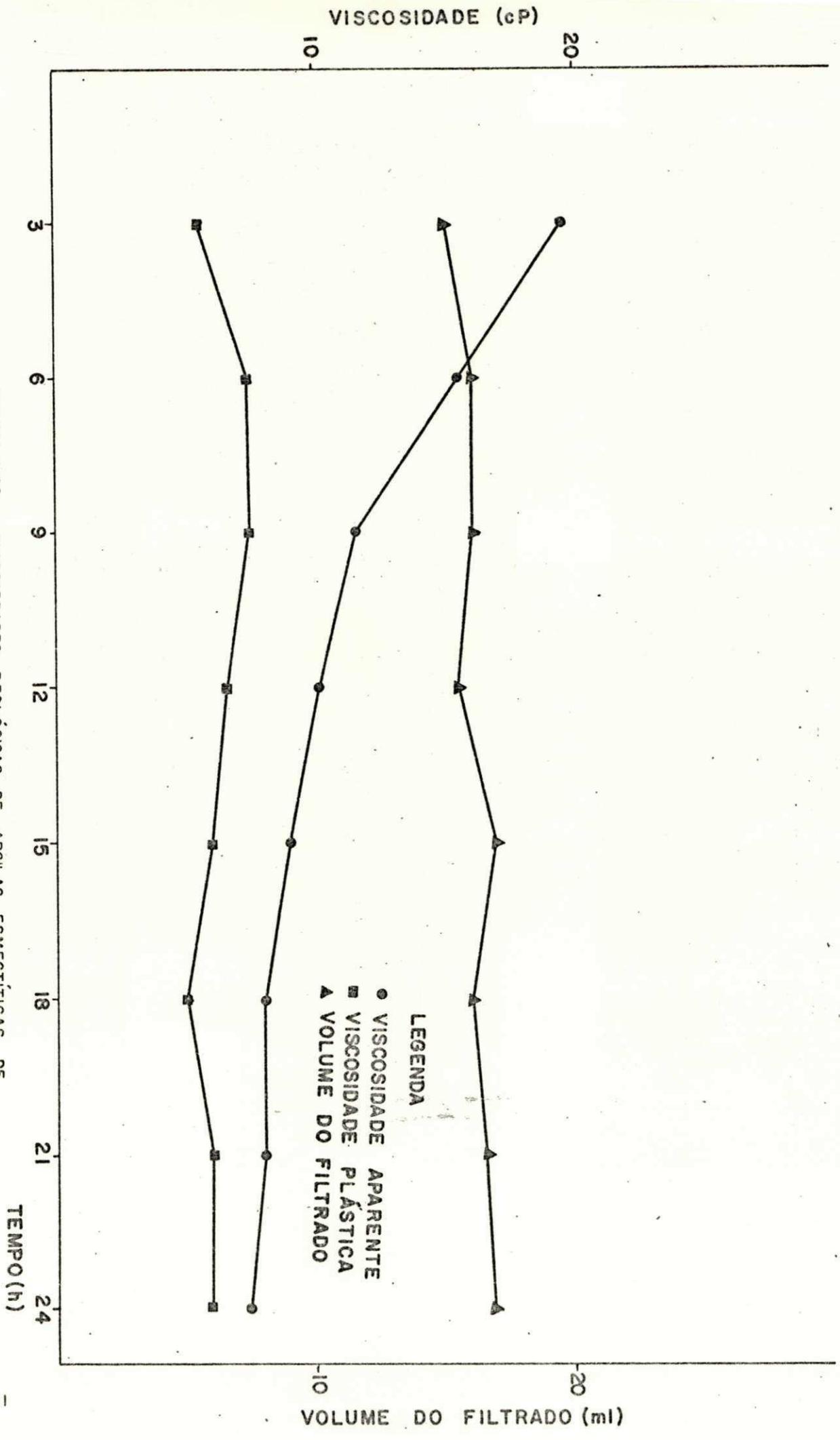


FIGURA 4.82 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍICAS DE COR VERMELHA, DIALISADAS ANTES DO TRATAMENTO COM 100mg/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÁ-MARA CLIMATIZADA A 90%UR E 40°C.

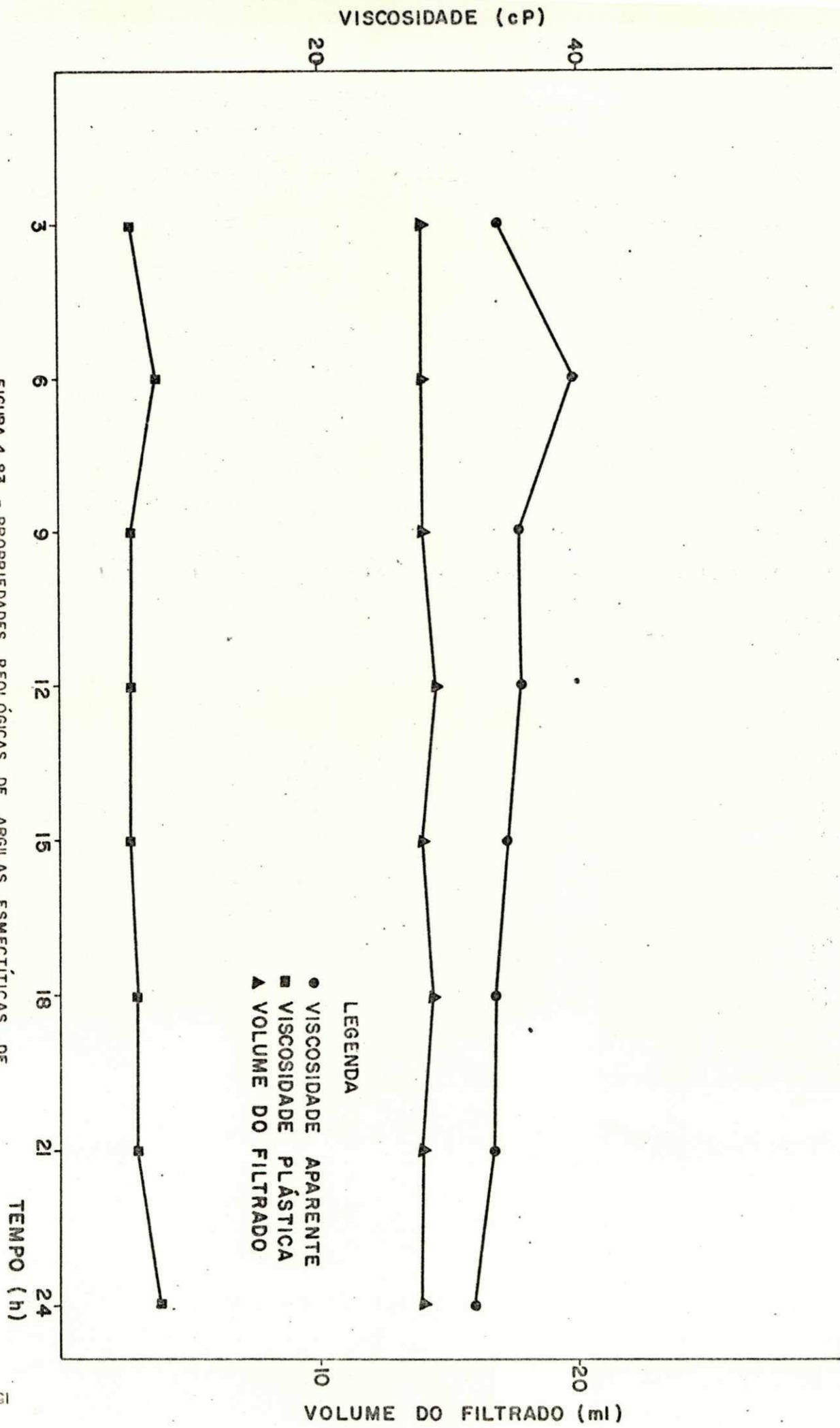


FIGURA 4.83 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍNICAS DE COR VERDE CLARA DIALISADAS ANTES DO TRATAMENTO COM 100 meq/100 g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90% UR E 40°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	5,3	4,0	22,0
VERDE-CLARA		8,5	7,0	18,0
VERMELHA	6	4,8	4,0	24,5
VERDE-CLARA		7,0	6,0	19,0
VERMELHA	9	4,5	4,0	27,0
VERDE-CLARA		6,5	5,5	18,0
VERMELHA	12	5,3	4,0	25,0
VERDE-CLARA		6,5	5,5	19,0
VERMELHA	15	5,0	4,0	19,0
VERDE-CLARA		5,5	4,5	20,0
VERMELHA	18	4,5	3,5	23,0
VERDE-CLARA		5,5	4,5	19,0
VERMELHA	21	4,5	3,5	27,0
VERDE-CLARA		5,5	5,0	19,0
VERMELHA	24	4,0	3,0	28,0
VERDE-CLARA		5,5	4,0	19,0

Tabela 4.42 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, dialisadas e tratadas com 100meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 90%UR e 90°C.

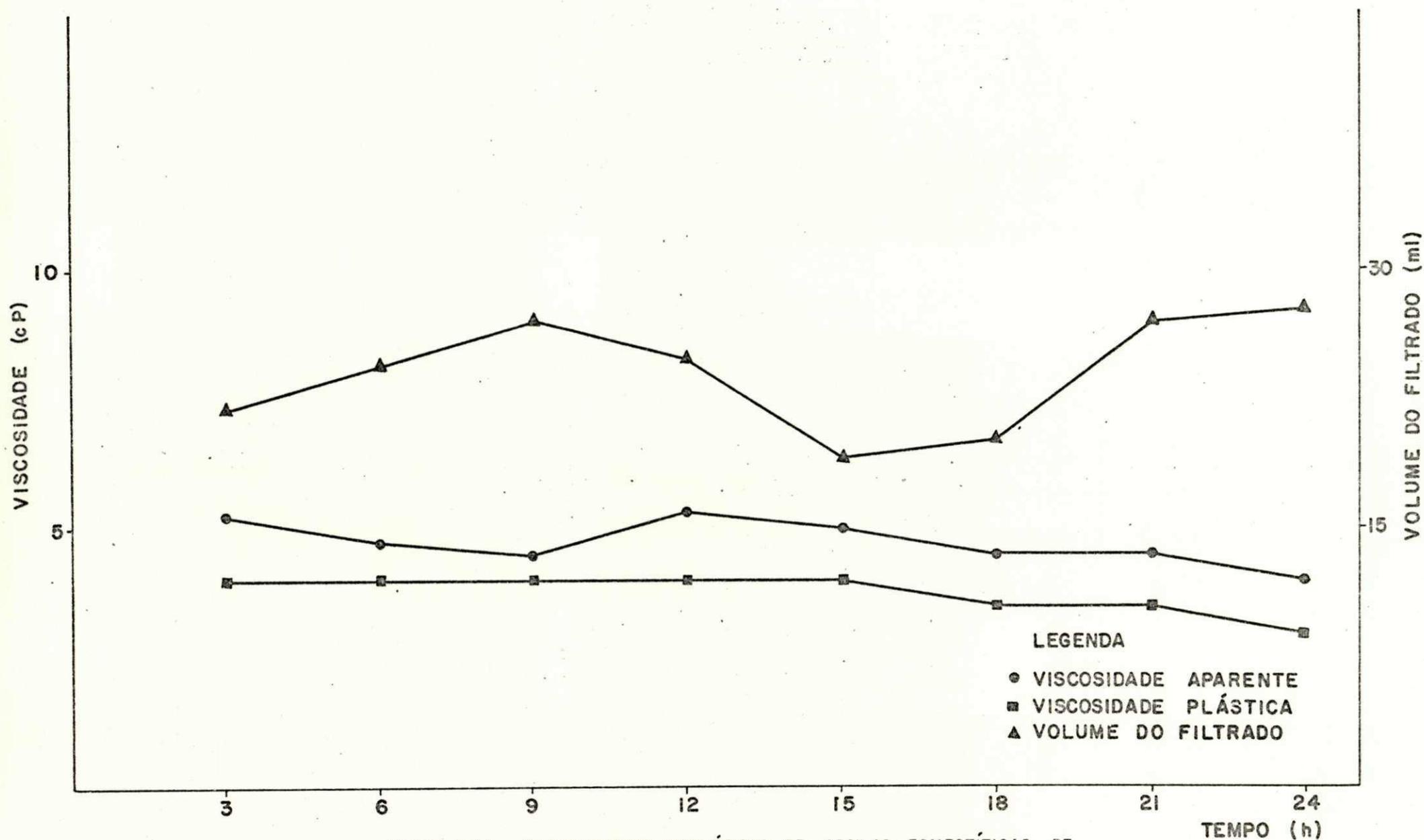


FIGURA 4.84 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE COR VERMELHA, DIALISADAS ANTES DO TRATAMENTO COM 100meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90%UR E 90°C.

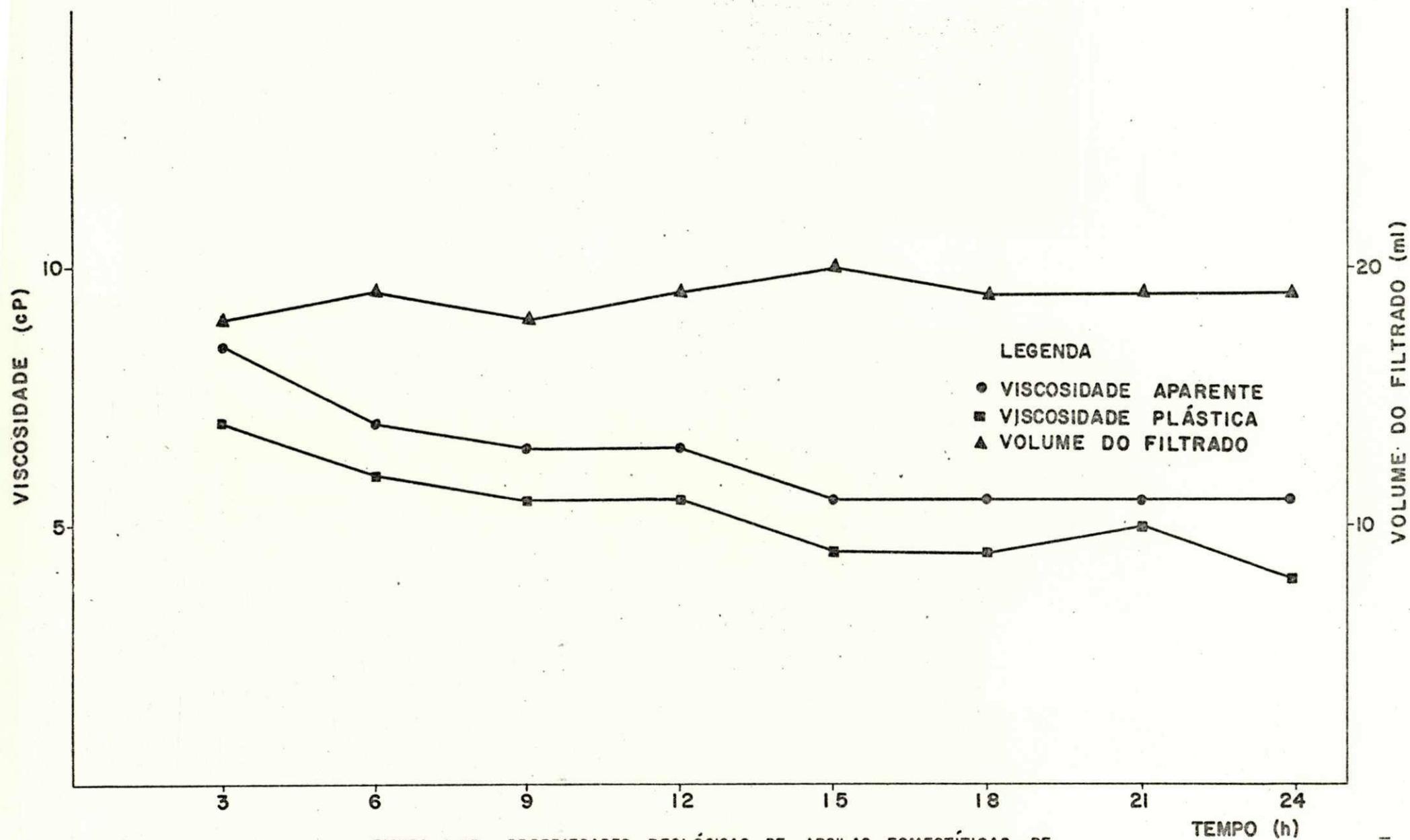


FIGURA 4.85 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE COR VERDE CLARA DIALISADAS ANTES DO TRATAMENTO COM 100meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90%UR E 90°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	19,8	6,5	16,0
VERDE-CLARA		36,8	2,0	15,0
VERMELHA	6	17,8	6,5	16,0
VERDE-CLARA		36,0	1,5	15,0
VERMELHA	9	14,0	7,0	16,0
VERDE-CLARA		35,0	1,5	15,0
VERMELHA	12	11,3	7,0	16,0
VERDE-CLARA		34,8	1,5	15,0
VERMELHA	15	9,8	6,5	16,0
VERDE-CLARA		35,5	3,0	15,0
VERMELHA	18	9,0	6,5	17,0
VERDE-CLARA		34,0	2,5	14,5
VERMELHA	21	8,3	6,0	16,0
VERDE-CLARA		30,8	3,0	14,5
VERMELHA	24	8,0	6,0	17,0
VERDE-CLARA		30,0	4,5	14,5

Tabela 4.43 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, dialisadas e tratadas com 150meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 90%UR e 40°C.

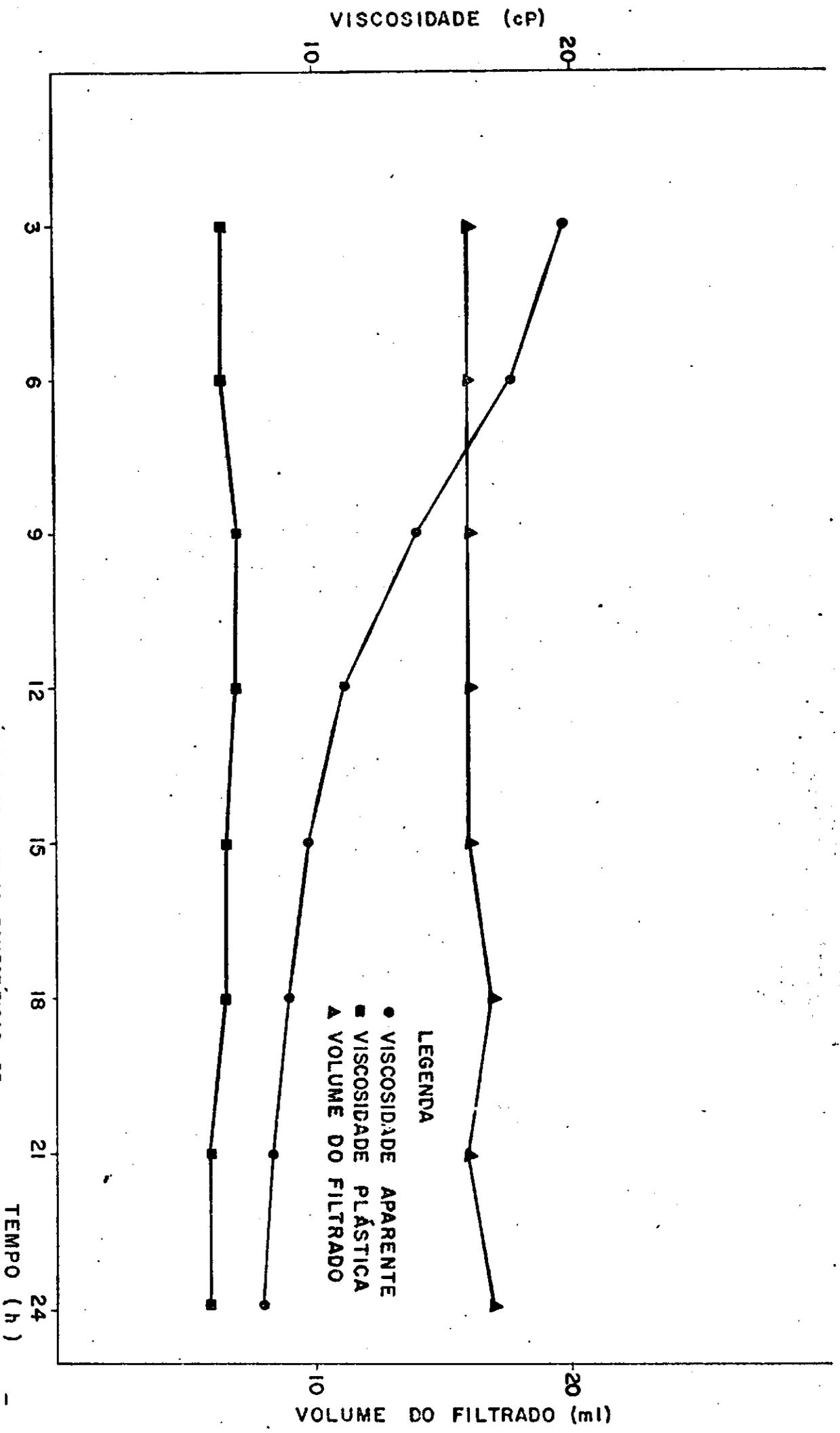


FIGURA 4.86 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTIICAS DE COR VERMELHA, DIALISADAS ANTES DO TRATAMENTO COM 150meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 50%UR E 40°C.

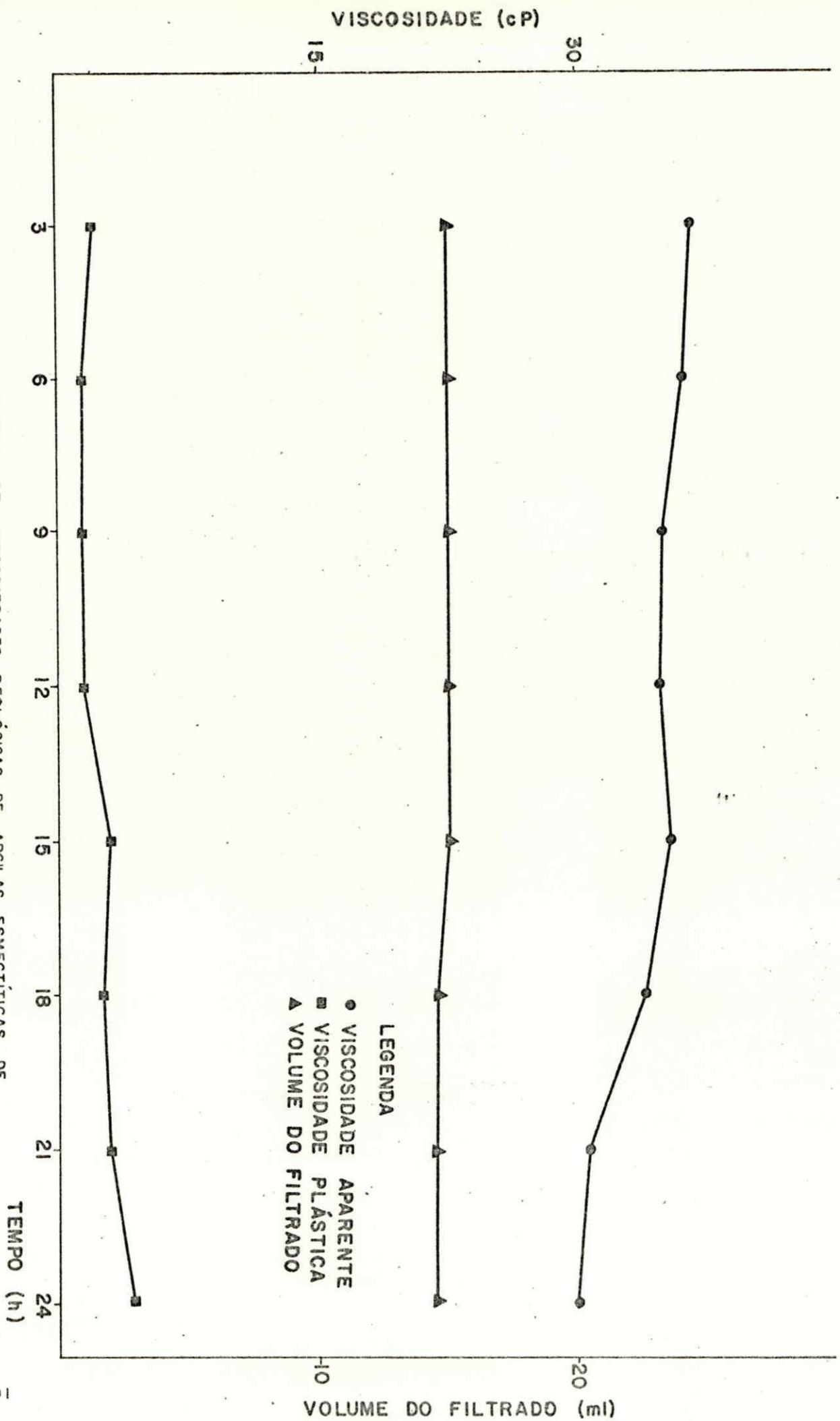


FIGURA 4.87 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTICAS DE COR VERDE CLARA DIALISADAS ANTES DO TRATAMENTO COM 150meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO. E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90%UR E 40°C.

AMOSTRA	TEMPO (h)	VISCOSIDADE (cP)		VOLUME DO FILTRADO (ml)
		APARENTE	PLÁSTICA	
VERMELHA	3	5,5	4,5	22,0
VERDE-CLARA		9,0	7,0	18,0
VERMELHA	6	4,5	4,0	32,0
VERDE-CLARA		6,8	5,5	19,0
VERMELHA	9	4,3	3,0	38,0
VERDE-CLARA		6,5	5,0	19,0
VERMELHA	12	4,8	4,0	34,0
VERDE-CLARA		6,3	5,5	21,0
VERMELHA	15	4,3	3,0	36,0
VERDE-CLARA		5,8	5,0	21,0
VERMELHA	18	4,0	3,0	38,0
VERDE-CLARA		5,5	4,5	23,0
VERMELHA	21	4,0	3,0	42,0
VERDE-CLARA		5,5	5,0	23,0
VERMELHA	24	3,8	3,0	51,0
VERDE-CLARA		5,0	4,0	23,0

Tabela 4.44 - Propriedades reológicas de argilas esmectícas de Boa Vista - PB, dialisadas e tratadas com 150meq/100g de carbonato de sódio e cura em câmara climatizada à 90%UR e 90°C.

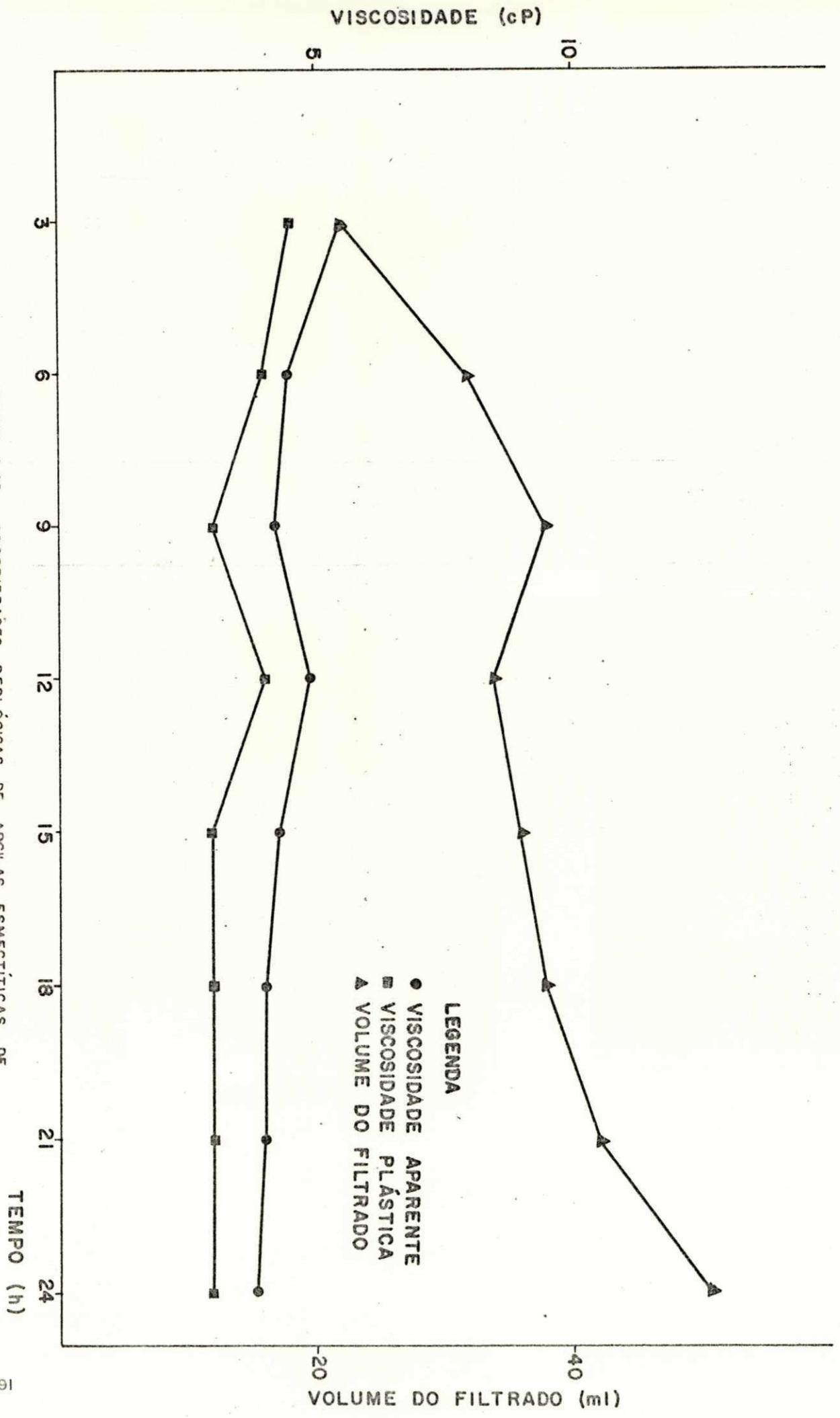


FIGURA 4.88 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTICAS DE COR VERMELHA, DIALISADAS ANTES DO TRATAMENTO COM 150meq/100g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90%UR E 90°C.

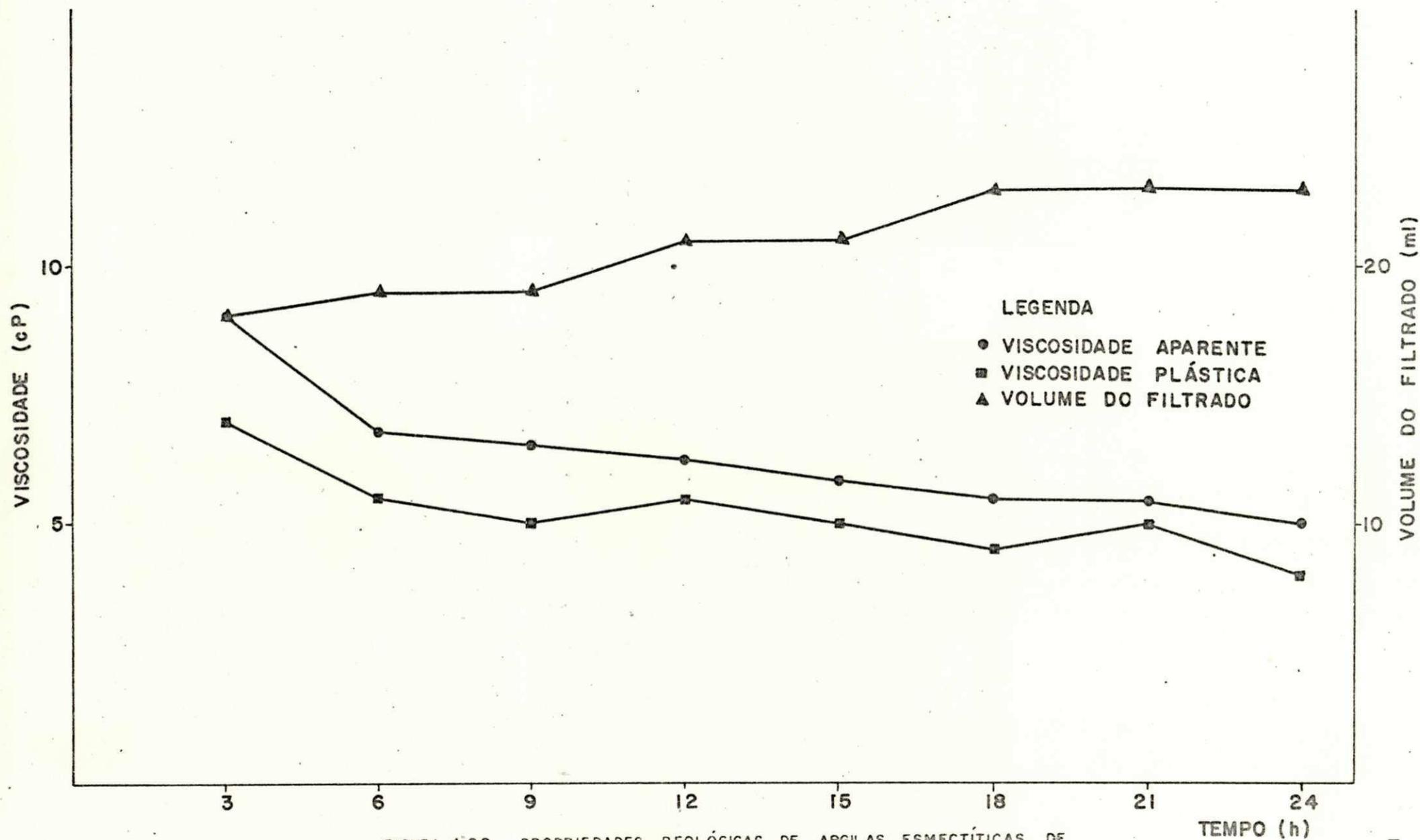


FIGURA 4.89 - PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ARGILAS ESMECTÍTIAS DE COR VERDE CLARA DIALISADAS ANTES DO TRATAMENTO COM 150meq/100 g DE CARBONATO DE SÓDIO E CURA EM CÂMARA CLIMATIZADA À 90%UR E 90°C.

rente alta e viscosidade plástica muito baixa, mas à 24h de cura a viscosidade plástica aumentou e a viscosidade aparente diminuiu, atingindo os valores especificados. Observou-se que com o aumento da temperatura para 90°C e submetidos ao mesmo processo a viscosidade aparente diminuiu e a viscosidade plástica e o volume do filtrado aumentaram.

Todos estes resultados obtidos pelo quarto processo mostrado na Figura 3.4 foram comparados com os obtidos pelo segundo processo da Figura 3.2 quando as amostras foram submetidas à cura a 90%UR e 40°C e 90°C (Tabelas 4.6, 4.9, 4.15, 4.18, 4.24 e 4.27 e Figuras 4.12, 4.13, 4.18, 4.19, 4.30, 4.31, 4.36, 4.37, 4.48, 4.49, 4.54 e 4.55) para verificar o efeito da diálise do sistema amostra mais água durante sete dias e cura posterior em câmara climatizada. Verificou-se que as amostras quando curadas à 40°C de um modo geral melhoraram as propriedades reológicas, as amostras verde-clara que estavam flocoadas quando submetidas ao quarto processo já não apresentaram tal comportamento, a viscosidade aparente diminuiu e a plástica aumentou quando as amostras foram dialisadas antes da cura. Quando curadas à 90°C todos os valores obtidos nos dois processos foram praticamente semelhantes, sempre inferiores aos especificados pela Petrobrás (8).

4.2.5 - Teores de Carbonatos e Bicarbonatos

Os teores de carbonatos e bicarbonatos das amostras vermelha e verde-clara submetidas à cura em câmara climatizada à 90%UR e 40°C e 90%UR e 90°C durante 3h e 6h de cura pelo segundo, terceiro e quarto processo, tratadas com 50 meq/100g, 100 meq/100g e 150 meq/100g de carbonato de sódio estão apresentados nas Tabelas 4.45, 4.46 e 4.47.

Os resultados obtidos com as amostras submetidas ao segundo processo de cura à 90%UR e 40°C e tratadas com 50 meq/100g, 100 meq/100g e 150 meq/100g apresentaram teores de carbonatos e bicarbonatos diferentes (Tabela 4.45). Os teores de carbonatos em todos os casos foram inferiores aos bicarbonatos e os resultados de 3h e 6h de cura foram semelhantes. Quando submetidas à cura a 90%UR e 90°C apresentaram teores de carbonatos e bicarbonatos diferentes. Observou-se que quando tratadas com 50 meq/100g e 100 meq/100g os teores de carbonatos foram inferiores aos

bicarbonatos enquanto que quando tratados com 150 meq/100g ocorreu o inverso. Com o aumento da temperatura de 40°C para 90°C os teores de carbonatos e bicarbonatos tenderam em diminuir quando tratadas com 50 meq/100g e 100 meq/100g enquanto que com 150 meq/100g os teores de carbonatos tenderam em aumentar e os teores de bicarbonatos em diminuir.

Os resultados obtidos com as amostras submetidas ao terceiro processo de cura à 90%UR e 40°C e tratadas com 50 meq/100g, 100 meq/100g e 150 meq/100g apresentaram teores de bicarbonatos inferiores aos obtidos no segundo processo e ausência de carbonatos (Tabela 4.46). Os resultados foram semelhantes com 3h e 6h de cura. Quando submetidas a cura à 90%UR e 90°C apresentaram teores de carbonatos e bicarbonatos diferentes. Observou-se que quando tratadas com 50 meq/100g e 100 meq/100g não houve presença de carbonato enquanto que quando tratadas com 150 meq/100g ocorreu o inverso. Com o aumento da temperatura de 40°C para 90°C os teores de bicarbonatos na maioria dos casos tenderam em diminuir e quando tratadas com 150 meq/100g os teores de carbonatos tenderam em aumentar.

Os resultados obtidos pelo terceiro quando comparados com o segundo processo de cura (Tabela 4.46 e 4.45) apresentaram à 90%UR e 40°C e a 90%UR e 90°C valores diferentes de carbonatos e bicarbonatos. Após a diálise (terceiro processo) as amostras apresentaram ausência de carbonatos e baixos teores de bicarbonatos à 90%UR e 40°C e a 90%UR e 90°C apresentaram ausência de carbonato quando tratadas com 50 meq/100g e 100 meq/100g enquanto que com 150 meq/100g os teores de carbonatos foram inferiores e os de bicarbonatos foram superiores aos obtidos no segundo processo.

Os resultados obtidos com as amostras submetidas ao quarto processo de cura à 90%UR e 40°C e tratadas com 50 meq/100g, 100 meq/100g e 150 meq/100g apresentaram teores de carbonatos e bicarbonatos diferentes (Tabela 4.47). Os teores de carbonatos em todos os casos foram inferiores aos bicarbonatos e os resultados foram semelhantes com 3h e 6h de cura. Quando submetidas a cura a 90%UR e 90°C apresentaram teores de carbonatos e bicarbonatos diferentes. Observou-se que quando tratadas com 100 meq/100g e 150 meq/100g os teores de carbonatos foram superiores aos bicarbonatos e quando tratadas com 50 meq/100g ocorreu o in

TEMPO (h)	CONDIÇÃO DE CURA	AMOSTRA	50 meq/100g		100 meq/100g		150 meq/100g	
			CO ₃ (meq/l)	HCO ₃ (meq/l)	CO ₃ (meq/l)	HCO ₃ (meq/l)	CO ₃ (meq/l)	HCO ₃ (meq/l)
3	90%UR à 40°C	VERMELHA	2,2	6,4	12,0	24,0	32,0	47,8
		VERDE-CLARA	2,4	7,2	12,5	25,0	25,5	45,8
6	90%UR à 40°C	VERMELHA	2,0	7,5	12,5	21,8	34,8	45,8
		VERDE-CLARA	2,4	7,9	16,5	24,8	29,5	45,3
3	90%UR à 90°C	VERMELHA	-	4,8	7,5	16,8	39,5	5,0
		VERDE-CLARA	0,8	5,2	4,5	14,5	29,5	9,8
6	90%UR à 90°C	VERMELHA	-	4,6	8,5	12,5	43,0	2,0
		VERDE-CLARA	-	5,2	5,0	18,3	29,8	11,0

Tabela 4.45 - Teores de carbonatos e bicarbonatos determinados após cura em câmara climatizada.

TEMPO (h)	CONDIÇÃO DE CURA	AMOSTRA	50 meq/100g		100 meq/100g		150 meq/100g	
			CO ₃ (meq/l)	HCO ₃ (meq/l)	CO ₃ (meq/l)	HCO ₃ (meq/l)	CO ₃ (meq/l)	HCO ₃ (meq/l)
3	90%UR à 40°C	VERMELHA	-	3,5	-	8,5	-	11,3
		VERDE-CLARA	-	5,2	-	12,5	-	14,3
6	90%UR à 40°C	VERMELHA	-	3,6	-	8,5	-	12,5
		VERDE-CLARA	-	5,0	-	8,3	-	15,4
3	90%UR à 90°C	VERMELHA	-	4,0	-	6,3	5,0	15,8
		VERDE-CLARA	-	4,2	-	9,0	2,8	12,0
6	90%UR à 90°C	VERMELHA	-	5,0	-	4,5	4,5	8,8
		VERDE-CLARA	-	4,0	-	6,0	3,0	10,3

Tabela 4.46 - Teores de carbonatos e bicarbonatos determinados após cura em câmara climatizada e diálise durante sete dias.

TEMPO (h)	CONDIÇÃO DE CURA	AMOSTRA	50 meq/100g		100 meq/100g		150 meq/100g	
			CO ₃ (meq/l)	HCO ₃ (meq/l)	CO ₃ (meq/l)	HCO ₃ (meq/l)	CO ₃ (meq/l)	HCO ₃ (meq/l)
3	90%UR à 40°C	VERMELHA	-	12,5	11,2	13,4	30,5	47,0
		VERDE-CLARA	-	15,8	10,0	12,6	28,0	30,5
6	90%UR à 40°C	VERMELHA	-	13,3	12,0	10,6	33,5	47,3
		VERDE-CLARA	-	15,5	8,8	13,4	25,5	41,0
3	90%UR à 90°C	VERMELHA	-	7,0	12,0	6,0	33,0	9,8
		VERDE-CLARA	-	8,8	6,4	10,2	21,0	16,3
6	90%UR à 90°C	VERMELHA	-	7,5	17,6	4,0	28,5	8,3
		VERDE-CLARA	-	10,5	9,2	6,4	21,0	16,0

Tabela 4.47 - Teores de carbonatos e bicarbonatos determinados após diálise durante sete dias e cura em câmara climatizada.

verso. Com o aumento da temperatura de 40°C para 90°C os teores de bicarbonatos tenderam em diminuir em todos os casos.

Os resultados obtidos pelo quarto processo comparados com o terceiro processo de cura (Tabela 4.47 e 4.46) apresentam à 90%UR e 40°C e à 90%UR e 90°C valores diferentes de carbonatos e bicarbonatos. Quando a diálise foi feita após a cura os teores de bicarbonatos foram inferiores e a 100 meq/100g e 150 meq/100g observou-se ausência de carbonatos. Quando comparados com o segundo processo de cura (Tabela 4.47 e 4.45) apresentaram à 90%UR e 40°C e à 90%UR e 90°C valores diferentes de carbonatos e bicarbonatos. Nas amostras que não foram dialisadas (Tabela 4.45) os teores de carbonatos obtidos foram superiores quando tratadas com 50 meq/100g, 100 meq/100g e 150 meq/100g à 90%UR e 40°C e inferiores quando tratadas à 100 meq/100g à 90%UR e 90°C.

4.2.6 - Análise Estatística

Os valores dos coeficientes de correlação obtidos com os valores médios de carbonatos mais bicarbonatos com os valores médios da viscosidade aparente, viscosidade plástica e com o volume do filtrado, calculados pelo método dos mínimos quadrados, para as duas amostras submetidas a cura à 90%UR e 40°C e 90°C e tratadas com 50 meq/100g, 100 meq/100g e 150 meq/100g de carbonato de sódio pelo segundo, terceiro e quarto processo estão apresentados nas Tabelas 4.48, 4.49, 4.50, 4.51, 4.52, 4.53, 4.54, 4.55, 4.56, 4.57, 4.58 e 4.59.

Os coeficientes de correlação maiores ou iguais a 0,5 (valor arbitrário) mostram a existência de interdependência entre as variáveis em estudo.

Na Tabela 4.60 estão apresentados todos estes resultados associados com o nº de correlações significativas, isto é, valores maiores ou iguais a 0,5, e com o nº de correlações não significativas, ou seja valores inferiores a 0,5.

Através de uma análise global das correlações obtidas observamos que para as amostras de cor vermelha submetidas a cura à 90%UR e 40°C e 90°C (Tabelas 4.56 e 4.57) o número de correlações significativas foi nove mostrando que há uma elevada in

terdependência entre os teores dos carbonatos mais bicarbonatos com as viscosidades aparente e plástica e com volume do filtrado. Para a amostra de cor vermelha submetida a cura à 90%UR e 40°C (Tabela 4.52) o número de correlações significativas foi oito, havendo unicamente uma correlação não significativa entre os teores dos bicarbonatos com a viscosidade plástica. Para a amostra verde-clara, submetida a cura à 90%UR e 40°C (Tabela 4.50) o número de correlações significativas entre os teores dos carbonatos com as viscosidades aparente e plástica e com o volume do filtrado foi oito, havendo unicamente uma correlação não significativa. Para a amostra verde-clara submetida a cura à 90%UR e 90°C (Tabela 4.59) o número de correlações significativas foi oito, havendo unicamente uma correlação não significativa entre os teores dos carbonatos mais bicarbonatos com a viscosidade plástica. As restantes das correlações apresentaram número de correlações não significativas elevado, indicando a não existência de dependência entre as variáveis.

Observamos também que os maiores número de correlações significativas são para as condições de cura de 90%UR e 40°C, com excessão das vermelhas (Tabela 4.57) e nessa condição de cura foram determinadas faixas de valores de carbonatos e bicarbonatos nas quais as viscosidades aparente e plástica e volume do filtrado apresentam valores dentro das especificações (8).

A faixa de valores dos carbonatos para as amostras vermelhas foi de no mínimo 2,1 meq/l e no máximo 33,0 meq/l (Tabela 4.48) e para as amostras de cor verde-clara de no mínimo 2,4 meq/l e no máximo 9,4 meq/l (Tabela 4.50).

A faixa de valores dos bicarbonatos para as amostras vermelha foi de no mínimo 12,0 meq/l e no máximo 47,2 meq/l (Tabela 4.52) e para as amostras de cor verde-clara de no mínimo 7,6 meq/l e máximo 15,6 meq/l (Tabela 4.54).

Na condição de cura à 90%UR e 90°C não foi possível de determinar faixas de valores de carbonatos e bicarbonatos porque nem todas as propriedades reológicas estavam dentro das especificações (8).

No Apêndice II, estão apresentados todos os parâmetros A e B das equações ($Y = Ax + B$) bem como os respectivos coeficientes de correlação.

CONCENTRAÇÃO DO Na ₂ CO ₃ (meq/100g)	PROCESSOS DE CURA	CARBONATO (meq/l)	VA (cP)	R	VP (cP)	R	VF (ml)	R
50	2º	2,1	16,9		6,9		15,3	
	3º	zero	8,8	0,4908	6,5	-0,1890	15,7	-0,8030
	4º	zero	17,0		7,7		16,3	
100	2º	12,3	18,2		6,4		14,5	
	3º	zero	9,7	0,9994	6,8	-0,9816	17,0	-0,9366
	4º	11,6	17,4		6,5		15,5	
150	2º	33,0	19,1		6,0		14,0	
	3º	zero	8,8	1,0000	6,5	-0,5229	17,0	-0,7731
	4º	32,0	18,8		6,5		16,0	

Tabela 4.48 - Coeficiente de correlação entre o teor de carbonato e a VA, VP e VF da amostra vermelha, após cura à 90%UR e 40°C.

CONCENTRAÇÃO DO Na ₂ CO ₃ (meq/100g)	PROCESSOS DE CURA	CARBONATO (meq/l)	VA (cP)	R	VP (cP)	R	VF (ml)	R
50	2º	zero	6,8		5,6		17,0	
	3º	zero	10,0	NF	7,7	NF	16,7	NF
	4º	zero	5,4		4,3		20,5	
100	2º	8,0	5,3		4,5		20,5	
	3º	zero	6,7	-0,9352	5,5	-0,9897	19,7	0,9392
	4º	14,8	5,1		4,0		23,2	
150	2º	41,3	4,7		4,0		24,5	
	3º	4,7	6,1	-0,9974	4,7	-0,9864	20,3	0,7933
	4º	31,0	5,0		4,3		27,0	

Tabela 4.49 - Coeficiente de correlação entre o teor de carbonato e a VA, VP e VF da amostra vermelha, após cura à 90%UR e 90°C.

NF - Não foi possível correlação.

CONCENTRAÇÃO DO Na ₂ CO ₃ (meq/100g)	PROCESSOS DE CURA	CARBONATO (meq/l)	VA (cP)	R	VP (cP)	R	VF (ml)	R
50	2º	2,4	26,3		6,5		15,0	
	3º	zero	13,9	0,4583	8,8	-0,9395	15,7	-0,8109
	4º	zero	27,0		8,0		16,7	
100	2º	14,5	48,5		0,7		14,5	
	3º	zero	35,8	0,8211	9,8	-0,9471	16,7	0,8633
	4º	9,4	37,0		6,5		14,0	
150	2º	27,5	42,5		0,7		13,7	
	3º	zero	30,2	0,8792	7,8	-0,9678	15,0	-0,5192
	4º	26,8	36,4		2,7		15,0	

Tabela 4.50 - Coeficiente de correlação entre o teor de carbonato com a VA, VP e VF da amostra verde-clara, após cura à 90%UR e 40°C.

CONCENTRAÇÃO DO Na ₂ CO ₃ (meq/100g)	PROCESSOS DE CURA	CO ₃ +HCO ₃ (meq/l)	VA (cP)	R	VP (cP)	R	VF (ml)	R
50	2º	0,4	9,9		7,2		18,5	
	3º	zero	11,9	0,1596	8,7	0,0000	16,5	0,7680
	4º	zero	6,7		5,7		17,8	
100	2º	4,7	8,0		6,3		17,5	
	3º	zero	8,2	-0,9931	6,5	-0,1176	18,3	0,0722
	4º	7,8	7,8		6,5		18,5	
150	2º	29,6	8,0		6,2		16,3	
	3º	2,9	8,2	-0,7934	6,7	-0,9914	17,7	-0,4593
	4º	21,0	7,9		6,3		18,5	

Tabela 4.51 - Coeficiente de correlação entre o teor de carbonato e a VA, VP e VF da amostra verde-clara após cura à 90%UR e 90°C.

CONCENTRAÇÃO DO Na ₂ CO ₃ (meq/100g)	PROCESSOS DE CURA	BICARBONATO (meq/l)	VA (cP)	R	VP (cP)	R	VF (ml)	R
50	2º	7,0	16,9		6,9		15,3	
	3º	3,5	8,8	0,8498	6,5	0,9990	15,7	0,7068
	4º	12,9	17,0		7,7		16,3	
100	2º	22,9	18,2		6,4		14,5	
	3º	8,5	9,7	0,7474	6,8	-0,8422	17,0	-0,9197
	4º	12,0	17,4		6,5		15,5	
150	2º	46,8	19,1		6,0		14,0	
	3º	11,9	8,8	0,9994	6,5	-0,4914	17,0	-0,7494
	4º	47,2	18,8		6,5		16,0	

Tabela 4.52 - Coeficiente de correlação entre o teor de bicarbonato e a VA, VP e VF da amostra vermelha, após cura à 90%UR e 40°C.

CONCENTRAÇÃO DO Na ₂ CO ₃ (meq/100g)	PROCESSOS DE CURA	BICARBONATO (meq/l)	VA (cP)	R	VP (cP)	R	VF (ml)	R
50	2º	4,7	6,8		5,6		17,0	
	3º	4,5	10,0	-0,7765	7,7	-0,8284	16,7	1,0000
	4º	7,3	5,4		4,3		20,5	
100	2º	14,7	5,3		4,5		20,5	
	3º	5,4	6,7	-0,3637	5,5	-0,1531	19,7	-0,3336
	4º	5,0	5,1		4,0		23,2	
150	2º	3,5	4,7		4,0		24,5	
	3º	12,3	6,1	0,8894	4,7	0,9717	20,3	-0,4907
	4º	9,1	5,0		4,3		27,0	

Tabela 4.53 - Coeficiente de correlação entre o teor de bicarbonato e a VA, VP e VF da amostra vermelha após cura à 90%UR e 90°C.

CONCENTRAÇÃO DO Na ₂ CO ₃ (meq/100g)	PROCESSOS DE CURA	BICARBONATO (meq/l)	VA (cP)	R	VP (cP)	R	VF (ml)	R
50	2º	7,6	26,3		6,5		15,0	
	3º	5,1	13,9	0,7181	8,8	-0,0560	15,7	0,7949
	4º	15,6	27,0		8,0		16,7	
100	2º	24,9	48,5		0,7		14,5	
	3º	10,4	35,8	0,9965	9,8	-0,9806	16,7	-0,4948
	4º	13,0	37,0		6,5		14,0	
150	2º	45,6	42,5		0,7		13,7	
	3º	14,9	30,2	0,9798	7,8	-0,9992	15,0	-0,7456
	4º	35,8	36,4		2,7		15,0	

Tabela 4.54 - Coeficiente de correlação entre o teor de bicarbonato com a VA, VR e VF da amostra verde-clara, após cura à 90%UR e 40°C.

CONCENTRAÇÃO DO Na ₂ CO ₃ (meq/100g)	PROCESSOS DE CURA	BICARBONATO (meq/l)	VA (cP)	R	VP (cP)	R	VF (ml)	R
50	2º	5,2	9,9		7,2		18,5	
	3º	4,1	11,9	-0,9791	8,7	-0,9437	16,5	0,3584
	4º	9,7	6,7		5,7		17,8	
100	2º	16,4	8,0		6,3		17,5	
	3º	7,5	8,2	-0,0812	6,5	-0,9967	18,3	-0,9634
	4º	8,3	7,8		6,5		18,5	
150	2º	10,4	8,0		6,2		16,3	
	3º	11,2	8,2	-0,6665	6,7	-0,2044	17,7	0,8514
	4º	16,2	7,9		6,3		18,5	

Tabela 4.55 - Coeficiente de correlação entre o teor de bicarbonato e a VA, VP e VF da amostra verde-clara após cura à 90%UR e 90°C.

CONCENTRAÇÃO DO Na ₂ CO ₃ (meq/100g)	PROCESSOS DE CURA	CO ₃ +HCO ₃ (meq/l)	VA (cP)	R	VP (cP)	R	VF (ml)	R
50	2º	9,1	16,9		6,9		15,3	
	3º	3,5	8,8	0,9199	6,5	0,9553	15,7	0,5042
	4º	12,9	17,0		7,7		16,3	
100	2º	35,2	18,2		6,4		14,5	
	3º	8,5	9,7	0,9349	6,8	-0,9790	17,0	-0,9992
	4º	23,6	17,4		6,5		15,5	
150	2º	79,8	19,1		6,0		14,0	
	3º	11,9	8,8	0,9948	6,5	-0,5066	17,0	-0,7609
	4º	79,2	18,8		6,5		16,0	

Tabela 4.56 - Coeficiente de correlação entre o teor de carbonato mais bicarbonato com a VA, VP e VF da amostra vermelha, após cura à 90%UR e 40°C.

CONCENTRAÇÃO DO Na_2CO_3 (meq/100g)	PROCESSOS DE CURA	CO_3+HCO_3 (meq/l)	VA (cP)	R	VP (cP)	R	VF (ml)	R
50	2º	4,7	6,8		5,6		17,0	
	3º	4,5	10,0	-0,7765	7,7	-0,8284	16,7	1,0000
	4º	7,3	5,4		4,3		20,5	
100	2º	22,7	5,3		4,5		20,5	
	3º	5,4	6,7	-0,9632	5,5	-0,8820	19,7	0,5533
	4º	19,8	5,1		4,0		23,2	
150	2º	44,8	4,7		4,0		24,5	
	3º	17,0	6,1	-0,9989	4,7	-0,9603	20,3	0,8594
	4º	40,1	5,0		4,3		27,0	

Tabela 4.57 - Coeficiente de correlação entre o teor de carbonato mais o teor de bicarbonato com a VA, VP e VF da amostra vermelha, após cura à 90%UR e 90°C.

CONCENTRAÇÃO DO Na ₂ CO ₃ (meq/100g)	PROCESSOS DE CURA	CO ₃ +HCO ₃ (meq/l)	VA (cP)	R	VP (cP)	R	VF (ml)	R
50	2º	5,6	9,9		7,2		18,5	
	3º	4,1	11,9	-0,8958	8,7	-0,9659	16,5	0,4198
	4º	9,7	6,7		5,7		17,8	
100	2º	21,1	8,0		6,3		17,5	
	3º	7,5	8,2	-0,6251	6,5	-0,7805	18,3	-0,6484
	4º	16,1	7,8		6,5		18,5	
150	2º	40,0	8,0		6,2		16,3	
	3º	14,1	8,2	-0,9081	6,7	-0,9958	17,7	-0,2525
	4º	37,2	7,9		6,3		18,5	

Tabela 4.58 - Coeficiente de correlação entre o teor de carbonato mais bicarbonato e a VA, VP e VF da amostra verde-clara, após cura à 90%UR e 90°C.

CONCENTRAÇÃO DO Na ₂ CO ₃ (meq/100g)	PROCESSOS DE CURA	CO ₃ +HCO ₃ (meq/l)	VA (cP)	R	VP (cP)	R	VF (ml)	R
50	2º	10,0	26,3		6,5		15,0	
	3º	5,1	13,9	0,8705	8,8	-0,3062	15,7	0,6160
	4º	15,6	27,0		8,0		16,7	
100	2º	39,4	48,5		0,7		14,5	
	3º	10,4	35,8	0,9432	9,8	-0,9983	16,7	-0,6983
	4º	22,4	37,0		6,5		14,0	
150	2º	73,4	42,5		0,7		13,7	
	3º	14,9	30,2	0,9412	7,8	-0,9948	15,0	-0,6424
	4º	62,6	36,4		2,7		15,0	

Tabela 4.59 - Coeficiente de correlação entre o teor de carbonato mais o teor de bicarbonato da amostra verde-clara, após cura à 90%UR e 40°C.

TABELAS	AMOSTRA	CONDIÇÃO DE CURA	VARIÁVEL (x)	Nº DE CORRELAÇÃO SIGNIFICATIVA	Nº DE CORRELAÇÃO NÃO SIGNIFICATIVA
4.48	VERMELHA	90%UR à 40°C	CO ₃	7	2
4.49	VERMELHA	90%UR à 90°C	CO ₃	6	3
4.50	VERDE-CLARA	90%UR à 40°C	CO ₃	8	1
4.51	VERDE-CLARA	90%UR à 90°C	CO ₃	4	5
4.52	VERMELHA	90%UR à 40°C	HCO ₃	8	1
4.53	VERMELHA	90%UR à 90°C	HCO ₃	5	4
4.54	VERDE-CLARA	90%UR à 40°C	HCO ₃	7	2
4.55	VERDE-CLARA	90%UR à 90°C	HCO ₃	6	3
4.56	VERMELHA	90%UR à 40°C	CO ₃ + HCO ₃	9	0
4.57	VERMELHA	90%UR à 90°C	CO ₃ + HCO ₃	9	0
4.58	VERDE-CLARA	90%UR à 40°C	CO ₃ + HCO ₃	7	2
4.59	VERDE-CLARA	90%UR à 90°C	CO ₃ + HCO ₃	8	1

Tabela 4.60 - Número de correlação significativas e não significativas obtidas nas correlações pelo método dos mínimos quadrados.

Obs: As outras variáveis consideradas foram VA, VP e VF.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

Visando contribuir na otimização do processo de beneficiamento das argilas esmectíticas através do estudo dos efeitos de tratamento de cura em algumas propriedades reológicas de duas argilas esmectíticas de Boa Vista, para uso como fluido tixotrópico para perfuração de poços de petróleo, podemos concluir que:

- 5.1 - a amostra vermelha é constituída mineralogicamente por montmorilonita, do tipo nontronita ou nontronita-beidelita, caulinita, illita e quartzo. A capacidade de troca de cátions é de 70,4 meq/100g e os cátions trocáveis, em valor decrescente são o magnésio, cálcio, sódio e potássio e a área específica de 499,2 m²/g;
- 5.2 - a amostra verde-clara é constituída mineralogicamente por montmorilonita, do tipo nontronita ou nontronita-beidelita, caulinita, illita e quartzo. A capacidade de troca de cátions é de 88,4 meq/100g, e os cátions trocáveis, em valor decrescente são o magnésio, cálcio, sódio e potássio e a área específica de 532,4 m²/g;
- 5.3 - para o tratamento de cura a 100%UR e temperatura ambiente (primeiro processo) recomenda-se que as argilas de cor ver

melha sejam tratadas com 50 meq/100g de carbonato de sódio após 6h de cura e com 100 meq/100g de carbonato de sódio após 3h de cura e as de cor verde-clara sejam tratadas com 50 meq/100g de carbonato de sódio e cura durante 12h, 15h ou 24h, para uso como fluído tixotrópico na perfuração de poços de petróleo;

5.4 - para tratamento de cura pelo segundo processo, recomenda-se que as argilas de cor vermelha sejam submetidas a cura à 90%UR e 40°C durante 3h a 6h quando tratadas com 50 meq/100g ou 100 meq/100g ou 150 meq/100g de carbonato de sódio, à 90%UR e 50°C durante 3h quando tratadas com 50 meq/100g ou 100 meq/100g de carbonato de sódio e à 70%UR e 50°C durante 3h de cura quando tratadas com 50 meq/100g de carbonato de sódio. Para as argilas de cor verde-clara recomenda-se que sejam submetidas a cura à 90%UR e 40°C ou 50°C ou 70°C durante 24h, ou 70%UR e 50°C durante 24h, ou 50%UR e 70°C ou 90°C e à 70%UR e 70°C ou 90°C durante 3h a 6h quando tratadas com 50 meq/100g de carbonato de sódio, 90%UR e 70°C durante 9h quando tratadas com 100 meq/100g, 90%UR e 50°C durante 15h a 24h, ou 50%UR e 90°C durante 3h a 6h, ou 70%UR e 90°C ou 70°C durante 3h a 6h quando tratadas com 100 meq/100g ou 150 meq/100g de carbonato de sódio, 50%UR e 70°C durante 9h e 24h ou 70%UR e 50°C durante 12h a 24h quando tratadas com 150 meq/100g de carbonato de sódio;

5.5 - o tratamento de cura seguido de diálise (terceiro processo) recomenda-se somente para as argilas de cor verde-clara. O tratamento de cura recomendado é a 90%UR e 40°C durante 24h tratadas com 50 meq/100g ou 100 meq/100g ou 150 meq/100g de carbonato de sódio, para a utilização como fluídos tixotrópicos na perfuração de poços de petróleo;

5.6 - para o tratamento de cura antecedido de diálise (quarto processo) recomenda-se que as argilas de cor vermelha sejam tratadas com carbonato de sódio na proporção de 50 meq/100g ou 100 meq/100g ou 150 meq/100g de carbonato de sódio e cura à 90%UR e 40°C durante 3h à 6h e as argilas de cor verde-clara sejam tratadas com 50 meq/100g ou 100

meq/100g de carbonato de sódio e cura de 3h a 24h à 90%UR e 40°C, para uso como fluido tixotrópico na perfuração de poços de petróleo;

- 5.7 - dentre os quatro processos estudados neste trabalho o primeiro e o segundo se mostram mais adequados para as argilas vermelhas nas condições de 90%UR e 40°C e 90%UR e 50°C, tratadas com 50 meq/100g ou com 100 meq/100g de carbonato de sódio, para as argilas de cor verde-clara o primeiro e o segundo processo se mostraram mais adequados, nas condições de 50 meq/100g de carbonato de sódio à 90%UR e 40°C ou 50°C e 70°C ou 70%UR e 50°C.
- 5.8 - existe uma elevada tendência para interdependência entre os teores dos carbonatos mais bicarbonatos com as viscosidades aparente e plástica e com o volume do filtrado nas amostras de cor vermelha submetidas a cura à 90%UR e 40°C e 90°C assim como para as amostras de cor verde-clara submetidas a cura à 90%UR e 90°C. As amostras vermelhas e verde-clara submetidas a cura à 90%UR e 40°C apresentaram também uma elevada tendência para interdependência entre os teores de carbonatos e os teores de bicarbonatos com as viscosidades aparente e plástica e com o volume do filtrado;
- 5.9 - para que as viscosidades aparente e plástica e volume do filtrado apresentam valores dentro das especificações (8) quando submetidas ao segundo, terceiro e quarto processo à 90%UR e 40°C, a faixa de teores dos carbonatos e bicarbonatos nas amostras vermelhas é de 2,1 meq/l a 33,0 meq/l e de 12,0 meq/l à 47,2 meq/l respectivamente e nas amostras verde-clara é de 2,4 meq/l à 9,4 meq/l e 7,6 meq/l à 15,6 meq/l respectivamente.

Em resumo podemos concluir que, as propriedades reológicas adequadas para uso na perfuração de poços de petróleo podem ser atingidas nas amostra vermelha e verde-clara quando o tratamento de cura for realizado sempre em ambiente úmido superior a 70%UR e temperatura inferior a 50°C e que as argilas verde-cla

ra atendem as especificações (8) quando tratadas adequadamente.

CAPÍTULO VI

SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Tendo em vista os resultados obtidos nesta pesquisa, su
gere-se:

- 6.1 - prosseguir os estudos nas amostras de cor verde-clara tra
tadas com carbonato de sódio nas proporções de 30 meq/100g,
50 meq/100g e 70 meq/100g de argila seca e cura à 100%UR e
temperatura ambiente e à 90%UR e 40°C, 50°C e 70°C durante
24h;
- 6.2 - prosseguir os estudos nas amostras de cor vermelha em pe
ríodos de cura inferiores a 6h com intervalos de 1h a
100%UR e temperatura ambiente e à 90%UR e 40°C e 50°C, tra
tadas com 50 meq/100g e 100 meq/100g de carbonato de sô
dio;
- 6.3 - a extensão destes estudos com as argilas esmectíticas de
cores chocolate, sortida e bofe;
- 6.4 - a extensão destes estudos a outras ocorrências existentes
no Distrito de Boa Vista, tais como Juá e Lajes;
- 6.5 - a determinação dos teores de carbonato e dos bicarbonatos

durante 24h com intervalos de 3h, nas amostras submetidas a cura a 90%UR e 40°C e à 90%UR e 90°C;

- 6.6 - prosseguir os estudos em auto-clave e determinar os teores de carbonatos e bicarbonatos;
- 6.7 - estudar o efeito do CO₂ nas amostras de cor vermelha e verde clara.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. PEREIRA DE LIRA SOBRINHO, A.C. - Bentonita Balanço Mineral Brasileiro. Deptº Nacional da Produção Mineral. Vol II (1980).
02. Bentonita - Anuário Mineral Brasileiro (1980).
03. SOLANO, L. e ZANDONADI, A.R. - Propriedades Reológicas de Esmectitas Sódicas Obtidas a Partir da Esmectita Policatiónica de Cor Verde Escura (Verde-Lôdo), do Distrito de Boa Vista, Município de Campina Grande, Paraíba. Efeito da Temperatura (1ª Parte) - Cerâmica 26 (122), 44 (1980).
04. SOLANO, L. e ZANDONADI, A.R. - Propriedades Reológicas de Esmectitas Sódicas Obtidas a Partir da Esmectita Policatiónica de Cor Verde Escura (Verde-Lôdo), do Distrito de Boa Vista, Município de Campina Grande, PB: Efeito da Temperatura (2ª Parte). Cerâmica 26 (124), 73 (1980).
05. KIMINAMI, R.H.G.A. e FERREIRA, H.C. - Estudos Preliminares em Câmara Climatizada, Visando a Otimização das Propriedades Reológicas de Argilas Montmoriloníticas a Esmectíticas do Distrito de Boa Vista, Campina Grande, Paraíba - Cerâmica 27 (133), 21 (1981).
06. KIMINAMI, R.H.G.A. e FERREIRA, H.C. - Propriedades Reológicas das Argilas Montmoriloníticas do Distrito de Boa Vista, Campina Grande, Paraíba, Após Tratamento com Carbonato de Sódio e Cura em Câmara Climatizada, Visando sua Aplicação em Fluidos de Perfuração de Poços de Petróleo Cerâmica 26 (131), 307 (1980).
07. KIMINAMI, R.H.G.A. e FERREIRA, H.C. - Propriedades Reológicas das Argilas Montmoriloníticas ou Esmectíticas do Distrito de Boa Vista, Município de Campina Grande, Paraíba, Após Tratamento com Carbonato de Sódio e Cura (até 24 h)

- em Câmara Climatizada, Visando sua Aplicação como Fluidos Tixotrópicos para Perfuração de Poços de Petróleo - Cerâmica 27 (138), 225 (1981).
08. PETROBRÁS, Argila Ativada para Água Doce, EE-78, Abril (1968).
 09. STEFAN, P. - Métodos de Ensaio de Argilas e Bentonitas para Fluidos de Perfuração - Cerâmica 12 (47/48), 266 (1966).
 10. GRIM, R.E., GUVEN, N. - Bentonites Geology, Mineralogy, Properties and Uses - Elsevier Scientific Publishing Company (1968).
 11. GRIM, R.E. - Applied Clay Mineralogy - McGraw-Hill Book Company, Inc. (1962).
 12. SHAW, D.J. - Estabilidade de Coloides - Introdução à Química dos Coloides e de Superfícies. Ed. da Universidade de São Paulo - (1975).
 13. SANSON, K.G. and WHITE, D. - Agregation and Dispersion in Clays With Particular Reference to the Montmorillonites - Trans J. Brit Cerm. Soc. 70 (5) 163-165 (1971).
 14. LAHAV, N. and BRESLER, E. - Exchangeable Cation - Structural Parameter Relation - Ships in Montmorillonite - Clay and Clay Minerals 21, 249-255 (1973).
 15. ROLLINS, M.B. and POOL, D.L. - Measurement of Exchangeable Cations in Bentonites - Clay and Clay Minerals - 16, 165-172 (1968).
 16. GABRYSH, W.F; EYRING, H.; LIN-SEN, P. and GABRYSH, A.F. - Reological Factors for Bentonite Suspensions - Journal of the American Ceramica Society 46 (11), 523 (1963).
 17. OKAZAKI, R.; SMITH, H.W. and MOODIE, C.D. - Development of a Cation - Exchange Capacity Procedure With Few Inhevent Errors - Soil Science, 93 (196), 343 (1961).

18. LEONARD, J.T. and HAZLETT, R.N. - Rheology of Tixotropic Suspensions of Magnesium Montmorillonite - Ind. Eng. Chem. Fundamentals 5 (2), 233 (1968).
19. SOUZA SANTOS, P. - Tecnologia de Argilas - Editora Edgar Blucher Ltda e Editora da USP, São Paulo. Vol. I e II (1975).
20. SOUZA SANTOS, P. - Estudo Tecnológico de Argilas Montmoriloníticas do Distrito de Boa Vista, Município de Campina Grande, Paraíba - Tese para Concurso à Cátedra de Química Industrial, Deptº de Eng. Química, Escola Politécnica, São Paulo (1968).
21. SOUZA SANTOS, P. e SANTINI, P. - Ocorrências de Argilas Montmoriloníticas no Brasil - Cerâmica 11 (44), 36 (1965).
22. ZANDONADI, A.R. - Estudos Preliminares sobre as Argilas Verdes de Sacramento como Agentes Tixotrópicos para Flúidos de Perfuração de Poços - Cerâmica 12 (47/48), 43 (1966).
23. VAN OLPHEN, H. - An Introduction to Clay Colloid Chemistry, 2nd Ed. A. Wiley-Interscience Publication, 1975.
24. EBERL, D. - Reaction Series For Dioctahedral Smectites - Clay and Clay Minerals 46 (5), 327-340 (1978).
25. ORMSBY, W.C. and DIAMOND, S. - Effect of Ca(OH)_2 on the Flow Properties of Montmorillonite - Water Systems - Trans. J. Brit Ceramic Soc. 65 (9), 535-56 (1966).
26. WORRALL, W.E. - Clay and Ceramic Raw Materials - Chapter 5. Applied Science Publishers Ltd London, 1975.
27. BLADEL, R.V. and LAUDELOUT, H. - Apparent Irreversibility of Ion Exchange Reactions in Clay Suspensions - Soil Science 104 (2), 134-137 (1967).
28. ROLLINS, M.B. and POOL, D.L. - Measurement of Exchangeable Cations in Bentonites - Clay and Clay Minerals 16, 165-172

(1968).

29. TETTENHORST, R. - Cation Migration in Montmorillonites - The American Mineralogist 47, 769-773 (1962).
30. FORMOSO, M.L.L. - Alguns Aspectos Geológicos e Tecnológicos das Principais Ocorrências de Argilas no Rio Grande do Sul - Cerâmica 12 (47/48), 132 (1966).
31. BERG, E.A.T. e SOUZA SANTOS, P. - Ocorrências de Argilas Montmoriloníticas no Estado do Paraná - Miner. Metal. 48 (283), 25 (1968).
32. SOUZA SANTOS, H. - Microscopia Eletrônica de Argilas Brasileiras Utilizadas na Indústria Cerâmica de São Paulo - Cerâmica 12 (47/48), 173 (1966).
33. CALDASSO, A.L.S. - Geologia da Jazida de Boa Vista (Paraíba) Série Especial nº 2, SUDENE, Divisão de Geologia, Recife, (1965).
34. CALDASSO, A.L.S. - Jazida de Argila de Boa Vista, Paraíba - Bol. Soc. Bras. Geol. 16 (1), 5 (1967).
35. MORO, S.L. e SANTIONI, P. - A Análise Química e Outros Ensaio Químicos Utilizados para o Estudo das Argilas - Cerâmica 12 (47/48), 203 (1966).
36. ZANDONADI, A.R. - Estudo Tecnológico de Argilas Montmoriloníticas Brasileiras - Tese de Doutorado, Inst. de Química, Universidade de São Paulo, S.P. (1972).
37. ZANDONADI, A.R. - Estudos Recentes de Argilas Montmoriloníticas Realizados no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo S/A - IPT - Cerâmica 20 (77), 77 (1974).
38. ZANDONADI, A.R.; SOUZA SANTOS, P. e LOURENÇO, O.B. - Ensaio Preliminares de Laboratório de Argilas Montmoriloníticas Visando a Utilização Industrial. Cerâmica 16 (64), 263-303

(1970).

39. CAVAZZONI, J.C.Z. - Estudo da Capacidade de Troca de Cátions Totais em Argilas Montmoriloníticas por Meio de Traçadores Radiativos - Cerâmica 20 (80), 333 (1974).
40. CAMPOS, L.M.C. e SOUZA SANTOS, P. - A Troca por Sais de Sódio de uma Montmorilonita de Boa Vista, Campina Grande - Paraíba, com Diferentes Compostos de Sódio - Cerâmica 23 (96), 249 (1977).
41. RODRIGUES, S. e SOUZA SANTOS, P. - O Sistema Argila-Água. Cerâmica 24 (101) 253 (1978).
42. FORSTER, M.D. - The Relation Between Composition and Swelling in Clays-Proceeding of Third National Conference on Clays and Clays Minerals 395, 205-220 (1975).
43. FORSTER, M.D. - The Importance of Exchangeable Magnesium and Cation-Exchange Capacity in the Study of Montmorillonitic Clays - Amer. Miner. 36 (717), 730 (1951).
44. FORSTER, M.D. - The Relation Between Illite, Beidellite and Montmorillonite Proceeding of 3rd. Conf. on Clay and Clays Minerals - NAS Publ. 395, 205 (1951).
45. FORSTER, M.D. - Geochemical Studies of Clay Minerals: II. Relation Between Ionic Substitution and Swelling in Montmorillonites - American Mineralogy 38, 994-1006 (1953).
46. ASSUNÇÃO, L.M.C. e FERREIRA, H.C. - Influência da Concentração, Velocidade e Tempo de Agitação nas Propriedades Reológicas de Dispersões de Montmorilonitas Industrializadas no Estado da Paraíba - Cerâmica 25 (114), 165 (1979).
47. PRADO, L.; ZANDONADI, A.R.; SOUZA SANTOS, P. - Efeito do Tratamento Térmico (Secagem) Antes e Depois da Troca com Carbonato de Sódio Sobre as Viscosidades de Suspensão Aquosas da Argila Esmectítica (Montmorilonítica) de Cor Ver

de-Lôdo de Boa Vista, Campina Grande, PB - Mineração e Me
talurgia. 43 (418), 8 (1980).

48. SOUZA SANTOS, H. e CAMPOS, T.W. - Microscopia Eletrônica de Transmissão dos Argilominerais Presentes nas Argilas Es
mectíticas de Boa Vista. Campina Grande, Paraíba - Cerâmi
ca 25 (112), 87 (1979).
49. DEMATTE, C.L. - Bentonita: Beneficiamento e Uso no Brasil - Cerâmica 26 (138), 353 (1980).
50. GRIM, R.E. and KULBICKI, G. - Montmorillonite: High Temperature Reactions and Classification - The American Mineralogist 46, 1329-1369 (1961).
51. SOUZA SANTOS, H.; KIYOHARA, P.K.; ZANDONADI, A.R. e SOUZA SANTOS, P. - Estudos de Propriedades de Argilas Esmectíti
cas (Montmoriloníticas) de Campina Grande, Paraíba I. Ar
gilas de Diferentes Cores da Localidade de Bravo - Cerâ
mica 26 (131), 337 (1980).
52. SOUZA SANTOS, H.; CAMPOS, T.W.; BARAUNA, O.S.; PÁDUA R. ARAUJO, A. e SOUZA SANTOS, P. - Estudos de Propriedades de Argilas Esmectíticas de Campina Grande, Paraíba II - Mor
fologia de Esmectitas de Diversas Cores das Localidades de Bravo, Lages e Juã. Cerâmica 27 (134), 81 (1981).
53. GREENE-KELLY, R. - The Identification of Montmorillonoides in Clays - Journal of Soil Science 4 (2), (1953).
54. GREENE-KELLY, R. - Irreversible Dehydration in Montmorillonite - Clay Min Bull 1, 221-227 (1952).
55. GREENE-KELLY, R. - A Test for Montmorillonite, Nature 170 (27), 1130 (1952).
56. GREENE-KELLY, R. - Irreversible Dehydrat^{ion} in Montmorillonite - Clay Min Bull 2, 52-62 (1963).

57. PÁDUA R. ARAÚJO, A.; ALMEIDA, M.M.; SOUZA SANTOS, P. - Estudo de Propriedades de Argilas Esmeclíticas de Campina Grande, Paraíba. III. O Ensaio Greene Kelly em Esmeclíticas de Diversas Cores das Localidades de Bravo, Lages e Juá - Cerâmica 27 (137), 197 (1981)..
58. MAC EWAN, D.M.C. - Montmorilonite Minerals - "The X-Ray, Identification and Cristal Structures of Clay Minerals" 2.^a Ed; p.143. The Mineralogical Society London.
59. SCHULTZ, L.G. - Lithium and Potassium Absorption, Dehydroxylation Temperature and Structural Water Content of Aluminous Smectites - Clay and Clay Minerals 17, 115-149 (1969).
60. ZANDONADI, A.R. e SOUZA SANTOS, P. - Propriedades Reológicas de Montmorilonitas ou Esmeclíticas Brasileiras - Cerâmica 24 (106), 355 (1978).
61. ZANDONADI, A.R. e SOUZA SANTOS, P. - Prpriedades Reológicas de Montmorilonitas ou Esmeclíticas Brasileiras, Cerâmica 24 (106), 355 (1978).
62. KEREN, R. and SHAINBERG - Water Vapor Isotherms and Heat of Immersion of Na and Ca - Montmorilonite Systems - III Thermodynamics - Clay and Clay Minerals 28 (3), 204-210 (1980).
63. GUVEN, N. - Eletron - Optical Investigations on Montmorillonites - I Cheto, Campberteaux and Wyoming Montmorillonites - Clay and Clay Minerals 22, 155-165 (1974).
64. GRIM SHAW, R.W. - The Chemistry and Physics of Clay - Ernest Benn Limited, (1975).
65. VIVALDI, J.L.M. and GALLEGÓ, M.R. - Some Problems in the Identification of Clay Minerals in Mixtures by X-Ray Diffraction II. Chlorite, Swelling Chlorite and Montmorillonite - Clay Min Bull 4 (288), 293-298 (1961).
66. CALVET, R. and PROST, R. - Cation Migration Into Empty Octa

dedral Sites and Surface Properties of Clays - Clay and Clay Minerals 19, 175-186 (1971).

67. DAVIDTZ, J.C. and LOW, P.F. - Relation Between Crystal - Lattice Configuration and Swelling of Montmorillonites - Clay and Clay Minerals 18, 325-332 (1970).
68. INQUE, A. and MINATO, H. - Exchange Reaction and Interstratification in Montmorillonite - Clay and Clay Minerals 27 (8) - 393-401 (1979).
69. KERNS, R.L. Jr. and MANKIN, C.H.J. - Structural Charge Site Influence on the Interlayer Hydration of Expandable Three Sheet Clay Minerals - Clay and Clay Minerals 16, 73 - 81 (1968).
70. EMBRAPA - SNLCS Manual de Métodos de Análise de Solo, Parte 2 - Análises Químicas, Métodos 2.38 e 2.39.

A P E N D I C E S

APÊNDICE I

MÉTODOS VOLUMÉTRICOS COM TITULAÇÃO PELO ÁCIDO
SULFÓRICO PARA A DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE CAR
BONATOS E BICARBONATOS EM SOLOS (70)

CARBONATOS NO EXTRATO DE SATURAÇÃO

Método volumétrico com titulação pelo ácido sulfúrico:

- pipetar alíquota de 10 a 25 ml do extrato de saturação e colocar em erlenmeyer de 125 ml;
- adicionar 3 gotas de fenolftaleína e titular com solução de H_2SO_4 0,025 N, preferivelmente contida em microbureta de 10 ml;
- anotar o número de ml gastos; caso a extração não a presente coloração vermelha com a fenolftaleína, o valor de CO_3^{2-} é nulo;
- calcular o teor de CO_3^{2-} no extrato pela seguinte expressão:

ml de ácido gastos x 50/ml da alíquota = meq de CO_3^{2-} por litro de extrato.

OBS: a titulação deve ser feita em local bem iluminado (luz fluorescente), sendo o erlenmeyer colocado sobre azulejo branco; uma mesma quantidade de água deve ser colocada em um erlenmeyer, assim como o mesmo número de gotas do indicador, para comparação com a amostra; esta mesma alíquota é usada para determinação dos bicarbonatos (método 2.39).

Preparo de soluções:

- solução de fenolftaleína a 1%: dissolver 1 g de fenolftaleína em 100 ml de álcool etílico a 60%;
- ácido sulfúrico 0,025 N: preparar a partir de solução normal ou decinormal de H_2SO_4 .

BICARBONATOS NO EXTRATO DE SATURAÇÃO

Método volumétrico com titulação pelo ácido sulfúrico:

- após a titulação dos carbonatos, adicionar 3 gotas do indicador metil-orange e continuar a adição do ácido sulfúrico 0,25 N contido na bureta, até viragem da cor rósea para alaranjada;
- utilizar uma prova em branco, ou seja, o total usado com a fenolftaleína e com o metil-orange;
- calcular o teor de CO_3H^- no extrato, pela seguinte expressão:

$$\frac{(\text{ml total gastos} - \text{ml gastos com fenolftaleína} \times 2) \times 50}{\text{ml da alíquota de extrato}} = \text{meq de } \text{CO}_3\text{H}^- \text{ por litro no extrato.}$$

OBS: esta mesma alíquota pode ser usada para determinação dos cloretos.

Prepara de soluções:

- indicador metil-orange 0,01%: pesar 0,01g do indicador, dissolver em água destilada e completar o volume para 100 ml;
- solução de H_2SO_4 0,025 N: preparada a partir de solução normal ou decinormal do ácido.

APÊNDICE II

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO E PARÂMETROS "A" E "B"

$$Y = Ax + B$$

AMOSTRA	CONCENTRAÇÃO (meq/100g)	X (meq/l)	Y (cP)	A	B	R
VERDE-CLARA	50	CO ₃	VA	2,44	20,45	0,4583
	100	CO ₃	VA	0,78	34,19	0,8211
	150	CO ₃	VA	0,34	30,12	0,8792
VERMELHA	50	CO ₃	VA	1,90	12,90	0,4908
	100	CO ₃	VA	0,68	9,69	0,9994
	150	CO ₃	VA	0,31	8,80	1,0000
VERDE-CLARA	50	CO ₃	VP	-0,79	8,40	-0,9395
	100	CO ₃	VP	-0,59	10,39	-0,9471
	150	CO ₃	VP	-0,22	7,82	-0,9678
VERMELHA	50	CO ₃	VP	-0,09	7,10	-0,1890
	100	CO ₃	VP	-0,03	6,80	-0,9816
	150	CO ₃	VP	-0,008	6,51	-0,5229

Tabela 1 - Cura em câmara climatizada à 9%UR e 40°C

$$Y = Ax + B$$

AMOSTRA	CONCENTRAÇÃO (meq/100g)	X (meq/l)	Y (cP)	A	B	R
VERDE-CLARA	50	CO ₃	VA	2,44	20,45	0,4583
	100	CO ₃	VA	0,78	34,20	0,8211
	150	CO ₃	VA	0,34	30,12	0,8792
VERMELHA	50	CO ₃ *	VA	NF	NF	NF
	100	CO ₃	VA	-0,11	6,54*	-0,9352
	150	CO ₃	VA	-0,04	6,26	-0,9974
VERDE-CLARA	50	CO ₃	VP	-0,79	8,40	-0,9395
	100	CO ₃	VP	-0,59	10,39	-0,9471
	150	CO ₃	VP	-0,22	7,82	-0,9678
VERMELHA	50	CO ₃	VP	NF	NF	NF
	100	CO ₃	VP	-0,10	5,44	-0,9897
	150	CO ₃	VP	-0,02	4,80	-0,9864

Tabela 2 - Cura em câmara climatizada à 90%UR e 90°C.

$$Y = Ax + B$$

CONDIÇÃO DE CURA	AMOSTRA	CONCENTRAÇÃO (meq/100g)	X (meq/l)	Y (cP)	A	B	R
90%UR à 40°C	VERDE-CLARA	50	CO ₃	VF	-0,50	16,20	-0,8109
		100	CO ₃	VF	-0,17	16,41	-0,8633
		150	CO ₃	VF	-0,02	15,01	-0,5192
	VERMELHA	50	CO ₃	VF	-0,33	16,00	-0,8030
		100	CO ₃	VF	-0,17	17,02	-0,7731
		150	CO ₃	VF	-0,06	17,03	-0,7731
90%UR à 90°C	VERDE-CLARA	50	CO ₃	VF	3,37	17,15	0,7680
		100	CO ₃	VF	0,01	18,06	0,0722
		150	CO ₃	VF	-0,03	18,17	-0,4593
	VERMELHA	50	CO ₃	VF	NF	NF	NF
		100	CO ₃	VF	0,23	19,36	0,9392
		150	CO ₃	VF	0,14	20,28	0,7933

Tabela 3 - Cura em câmara climatizada.

$$Y = Ax + B$$

AMOSTRA	CONCENTRAÇÃO (meq/100g)	X (meq/l)	Y (cP)	A	B	R
VERDE-CLARA	50	HCO ₃	VA	0,96	13,29	0,7181
	100	HCO ₃	VA	0,90	25,88	0,9965
	150	HCO ₃	VA	0,38	24,03	0,9798
VERMELHA	50	HCO ₃	VA	0,96	3,41	0,8498
	100	HCO ₃	VA	0,46	8,34	0,7474
	150	HCO ₃	VA	0,29	5,36	0,9994
VERDE-CLARA	50	HCO ₃	VP	-0,01	7,88	-0,0560
	100	HCO ₃	VP	-0,58	15,07	-0,9806
	150	HCO ₃	VP	-0,23	11,22	-0,9992
VERMELHA	50	HCO ₃	VP	0,13	6,03	0,9990
	100	HCO ₃	VP	-0,02	6,90	-0,8420
	150	HCO ₃	VP	-0,007	6,58	-0,4914

Tabela 4 - Cura em câmara climatizada à 90%UR e 40°C.

$$Y = Ax + B$$

AMOSTRA	CONCENTRAÇÃO (meq/100g)	X (meq/l)	Y (cP)	A	B	R
VERDE-CLARA	50	HCO ₃	VA	-0,86	14,98	-0,9791
	100	HCO ₃	VA	-0,003	8,03	-0,6665
	150	HCO ₃	VA	-0,03	8,44	-0,6665
VERMELHA	50	HCO ₃	VA	-1,17	13,85	-0,7765
	100	HCO ₃	VA	-0,05	6,18	-0,3637
	150	HCO ₃	VA	0,15	4,04	0,8894
VERDE-CLARA	50	HCO ₃	VP	-0,47	10,22	-0,9437
	100	HCO ₃	VP	-0,02	6,68	-0,9967
	150	HCO ₃	VP	-0,02	6,62	-0,2044
VERMELHA	50	HCO ₃	VP	-0,91	10,87	-0,8284
	100	HCO ₃	VP	-0,02	4,84	-0,1531
	150	HCO ₃	VP	0,07	3,69	0,9717

Tabela 5 - Cura em câmara climatizada à 90%UR e 90°C.

$$Y = Ax + B$$

CONDIÇÃO DE CURA	AMOSTRA	CONCENTRAÇÃO (meq/100g)	X (meq/l)	Y (cP)	A	B	R
90%UR à 40°C	VERDE-CLARA	50	HCO ₃	VF	0,12	14,63	0,7949
		100	HCO ₃	VF	-0,09	16,54	-0,4948
		150	HCO ₃	VF	-0,03	15,71	-0,7456
	VERMELHA	50	HCO ₃	VF	0,07	15,18	0,7068
		100	HCO ₃	VF	-0,15	17,89	-0,9197
		150	HCO ₃	VF	-0,05	17,66	-0,7494
90%UR à 90°C	VERDE-CLARA	50	HCO ₃	VF	0,12	16,84	0,3504
		100	HCO ₃	VF	-0,10	19,21	-0,9634
		150	HCO ₃	VF	0,30	13,69	0,8514
	VERMELHA	50	HCO ₃	VF	1,35	10,63	1,0000
		100	HCO ₃	VF	-0,11	22,06	-0,3336
		150	HCO ₃	VF	-0,37	27,03	-0,4907

Tabela 6 - Cura em câmara climatizada.

$$Y = Ax + B$$

AMOSTRA	CONCENTRAÇÃO (meq/100g)	X (meq/l)	Y (cP)	A	B	R
VERDE-CLARA	50	CO ₃ +HCO ₃	VA	1,22	9,90	0,8705
	100	CO ₃ +HCO ₃	VA	0,45	29,50	0,9435
	150	CO ₃ +HCO ₃	VA	0,18	27,01	0,9412
VERMELHA	50	CO ₃ +HCO ₃	VA	0,92	6,45	0,9199
	100	CO ₃ +HCO ₃	VA	0,33	7,74	0,9349
	150	CO ₃ +HCO ₃	VA	0,15	7,01	0,9998
VERDE-CLARA	50	CO ₃ +HCO ₃	VP	-0,07	8,46	
	100	CO ₃ +HCO ₃	VP	-0,31	13,26	-0,9983
	150	CO ₃ +HCO ₃	VP	-0,11	9,62	-0,9948
VERMELHA	50	CO ₃ +HCO ₃	VP	0,12	5,98	0,9553
	100	CO ₃ +HCO ₃	VP	-0,01	6,91	0,9790
	150	CO ₃ +HCO ₃	VP	-0,004	6,55	0,5066

Tabela 7 - Cura em câmara climatizada à 90%UR e 40°C.

$$Y = Ax + B$$

AMOSTRA	CONCENTRAÇÃO (meq/100g)	X (meq/l)	Y (cP)	A	B	R
VERDE-CLARA	50	CO ₃ +HCO ₃	VA	-0,87	15,05	-0,9948
	100	CO ₃ +HCO ₃	VA	-0,02	8,27	-0,6251
	150	CO ₃ +HCO ₃	VA	-0,01	8,33	-0,9081
VERMELHA	50	CO ₃ +HCO ₃	VA	-1,17	13,85	-0,7765
	100	CO ₃ +HCO ₃	VA	-0,09	7,15	-0,9632
	150	CO ₃ +HCO ₃	VA	-0,05	6,95	-0,9989
VERDE-CLARA	50	CO ₃ +HCO ₃	VP	-0,50	10,43	-0,9659
	100	CO ₃ +HCO ₃	VP	-0,01	6,63	-0,7805
	150	CO ₃ +HCO ₃	VP	-0,02	6,96	-0,9958
VERMELHA	50	CO ₃ +HCO ₃	VP	-0,91	10,87	-0,8284
	100	CO ₃ +HCO ₃	VP	-0,07	5,83	-0,8820
	150	CO ₃ +HCO ₃	VP	-0,02	5,10	-0,9603

Tabela 8 - Cura em câmara climatizada à 90%UR e 90°C.

$$Y = Ax + B$$

CONDIÇÃO DE CURA	AMOSTRA	CONCENTRAÇÃO (meq/100g)	X (meq/l)	Y (cP)	A	B	R
90%UR à 40°C	VERDE-CLARA	50	CO ₃ +HCO ₃	VF	0,10	14,77	0,6160
		100	CO ₃ +HCO ₃	VF	-0,07	16,72	-0,6983
		150	CO ₃ +HCO ₃	VF	-0,01	15,35	-0,6424
	VERMELHA	50	CO ₃ +HCO ₃	VF	0,05	15,31	0,5042
		100	CO ₃ +HCO ₃	VF	-0,09	17,77	-0,9992
		150	CO ₃ +HCO ₃	VF	-0,03	17,36	-0,7609
90%UR à 90°C	VERDE-CLARA	50	CO ₃ +HCO ₃	VF	0,15	16,64	0,4198
		100	CO ₃ +HCO ₃	VF	-0,05	18,84	-0,6484
		150	CO ₃ +HCO ₃	VF	-0,02	18,10	-0,2521
	VERMELHA	50	CO ₃ +HCO ₃	VF	1,35	10,63	1,0000
		100	CO ₃ +HCO ₃	VF	0,11	19,38	0,5533
		150	CO ₃ +HCO ₃	VF	0,19	17,29	0,8594

Tabela 9 - Cura em câmara climatizada.